



Université d'Oran 2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

THESE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences
En Sciences de la Terre et de l'Univers
Filière : Géographie et Aménagement du Territoire
Option : Aménagement urbain et Régional

**Evaluation et gestion des déchets solides et liquides,
Apport des SIG et la Télédétection
Cas de: Ain Témouchent, Tlemcen, Oran et Sidi Bel Abbas**

Présentée et soutenue publiquement par :
Mme BENTEKHICI Nadjla

Devant le jury composé de :

SOUIAH Sid-Ahmed	Maitre de Conférences (A)	Université d'Oran 2	Président
BELLAL Sid-Ahmed	Professeur	Université d'Oran 2	Directeur de Thèse
GHODBANI Tarik	Professeur	Université d'Oran 2	Examineur
BOUANANI Abderrazak	Professeur	Université de Tlemcen	Examineur
BOUDJEMLINE Djamel	Maitre de Conférences (A)	Université d'Oran USTO	Examineur
HADDOUCHE Driss	Professeur	Université de Tlemcen	Examineur

Année 2017 / 2018

« Evaluation et gestion des déchets solides et liquides, Apport des SIG et la Télédétection

Cas de: Ain Témouchent, Tlemcen, Oran et Sidi Bel Abbes »

Résumé

La gestion de l'environnement dans un esprit du développement durable est un besoin vital de notre société. Sa mise en œuvre exige une approche pluridisciplinaire et interdisciplinaire, ainsi que d'une base de données exhaustive. Dans ce cadre, il est indispensable d'acquérir des informations détaillées, fiables sur l'état de l'environnement et du territoire.

C'est dans cet objectif, que nous comptons à réaliser cette étude, qui servira à élaborer une approche optimale de gestion de l'environnement, afin d'avoir une idée sur le milieu physique des sites pollués par les déchets solides et liquides d'une part, et l'impact direct du risque de la pollution sur l'environnement d'autre part. Elle permet la spatialisation des différents facteurs techniques, environnementaux, sociaux et économiques tout en mettant en œuvre des outils modernes d'analyse.

Le cœur de cette thèse est l'élaboration des données numériques spatiales et temporelles, contenant l'ensemble des informations ayant un rapport avec la gestion environnementale et l'aménagement du territoire dans la région Nord-ouest d'Algérie, en wilayas de : Oran, Sidi Bel Abbes, Ain Témouchent et Tlemcen.

La gestion, l'évaluation des déchets solides et liquides constituent un aspect prioritaire sur la zone suscitée. Pour ce faire, nous avons mis en place une méthodologie, qui s'articule autour de différents types de données : géoscientifiques (géologiques, hydrogéologiques, climatiques, hydrauliques), topographiques, statistiques et de télédétection.

La combinaison des systèmes d'information géographique et la télédétection représentent un apport original et incontestable dans le traitement de ces données. Ce système d'information met à la disposition de nos gestionnaires des outils d'analyse et d'aide à la décision pour la gestion et l'aménagement de l'environnement.

De façon opérationnelle, nous avons réalisé une évaluation et analyse des décharges et centres d'enfouissement techniques et des milieux récepteurs des eaux usées, suivi de l'analyse de leur influence spatiale. Ensuite, nous avons confronté cette situation à la perception des risques environnementaux, ce qui a permis d'opérer certaines propositions et recommandations.

La méthodologie développée et les résultats auxquels l'étude a abouti, ont conduit à la formulation de recommandations, en vue d'une meilleure gestion des déchets solides et liquides. Les dynamiques lancées par l'étude contribuent déjà à la mise en réseau des différents intervenants dans la gestion de l'environnement autour de la géo-information.

En conséquence, un effort particulier est fourni en termes d'interprétation graphique des plans d'information et des résultats, et ce, afin de réaliser des documents de base permettant d'identifier l'impact de la pollution d'origine urbaine et industrielle ainsi que de proposer des actions et des plans d'aménagement.

Mots clés : Gestion, Déchet solides, Eaux usées, SIG, Télédétection, Aménagement

« Evaluation and management of solid and liquid waste, Contribution of GIS and remote sensing

Case of: Ain Témouchent, Tlemcen, Oran and Sidi Bel Abbes »

Abstract:

Environmental management in a spirit of sustainable development is a vital need of our society. Its implementation requires a multidisciplinary and interdisciplinary approach, based on an appropriate concept, as well as a comprehensive database. In this context, it is essential to acquire detailed, reliable and well-organized information on the state of the environment and the territory.

It is for this purpose, that we intend to carry out this study, which will be used to develop an optimal approach of environmental management, in order to have an idea on the physical environment of the sites polluted by the solid and liquid wastes of on the one hand, and the direct impact of the risk of pollution on the environment on the other. It allows the spatialization of various technical, environmental, social and economic factors while implementing modern tools of analysis.

The core of this thesis is the development of spatial and temporal digital data, containing all the information related to environmental management and land use planning in the North-West region of Algeria, particularly in the wilayas of: Oran, Sidi Bel Abbes, Ain Témouchent and Tlemcen.

Management, evaluation and solid and liquid wastes are a priority in the area. To do this, we have implemented a methodology, which revolves around different types of data: geo-scientific (geological, hydrogeological, climatic, and hydraulic), topographical, statistical and remote sensing. The combination of geographic information systems (GIS) and remote sensing is an original and indisputable contribution to the processing of these data. This information system provides our managers with tools for analysis and decision support for environmental management and management.

Operationally, we performed an assessment and analysis of landfills and technical landfills and wastewater receiving environments, followed by analysis of their spatial influence. Then, we confronted this situation with the perception of the environmental risks, which made it possible to make certain proposals and recommendations.

The methodology developed and the results that resulted from the study led to the formulation of proposals and recommendations for better management of solid and liquid waste. The dynamics launched by the study are already contributing to the networking of the various stakeholders in the management of the environment around geo-information.

As a result, a special effort is made in terms of the graphic interpretation of information plans and results, in order to produce basic documents to identify the impact of urban and industrial pollution as well as to propose actions and management plans.

Key words: *Management, Solid Waste, Wastewater, GIS, Remote Sensing, Landscaping*

" تقييم و إدارة النفايات الصلبة و السائلة ، مساهمة نظم المعلومات الجغرافية و الاستشعار عن بعد حالة : عين تموشنت ، تلمسان ، وهران و سيدي بلعباس "

المخلص :

إن تسيير البيئة في مجال التنمية المستدامة أصبح عبارة عن ضرورة حتمية في مجتمعنا، إن تنفيذه يتطلب نهج متعددة التخصصات و ذات مفهوم مناسب، أيضا قاعدة معلوماتية شاملة، في هذا السياق من الضروري الحصول على معلومات مفصلة ، موثوق بها و منظمة تنظيما جيدا ا عن الحالة البيئية للمنطقة.

من اجل هذا الهدف ، نعتزم إجراء هذه الدراسة ، التي تعمل على نهج مثلى لتسيير البيئة ،من اجل الحصول على معلومات حول مواقع المناطق التي لوثتها النفايات السائلة و الصلبة من جهة و تأثيرها المباشر على خطر التلوث البيئي، من جهة أخرى ،من جهة أخرى، هذه الدراسة تسمح بمعرفة مختلف العوامل التقنية ، البيئية ، الاجتماعية و الاقتصادية ، ذلك بالاعتماد على أدوات تحليل و نمذجة حديثة.

نواة هذه الرسالة تكمن في تطوير معطيات رقمية مكانية و زمنية ، تحتوي على جميع المعلومات ذات الصلة بتسيير البيئة و التهيئة العمرانية في الشمال الغربي للجزائر خاصة كل من الولايات : وهران ،سيدي بلعباس ، عين تموشنت و تلمسان.

تسيير، تقييم النفايات الصلبة و السائلة هي من أهم الأولويات في المنطقة . للقيام بذلك ، وضعنا منهجية تعتمد على أنواع مختلفة من المعطيات منها : علوم الأرض (جيولوجية ، هيدروجيولوجية، مناخية ، و هيدرولوجية) ، الطبوغرافية ، إحصائية و الاستشعار عن بعد.

الجمع بين نظم المعلومات الجغرافية و الاستشعار عن بعد دو مفعول لا يمكن إنكاره في معالجة و تحليل المعطيات. هذا النظام يوفر للمسيرين أدوات تحليل و دعم على اتخاذ القرارات في التسيير العمراني و البيئي. على الصعيد التنفيذي ، قمنا بانجاز تقييم و تحليل المواقع التي لوثتها النفايات السائلة و الصلبة ، تليها تحديد مدى تأثيرها المكاني ، بعد ذلك قمنا بمقارنة هذه الوضعية على تصور المخاطر البيئية ، مما سهل لنا استنتاج بعض المقترحات و التوصيات.

المنهجية المتبعة و النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة أدت إلى اقتراح بعض المقترحات و التوصيات من اجل تحسين تسيير النفايات و المواقع الملوثة . الديناميكية المقترحة في هذه الدراسة تساهم في وضع شبكة وصل بين مختلف الجهات المعنية في التسيير البيئي حول المعلومات الجغرافية.

تبعاً لذلك ، تم بدل جهود خاصة من حيث التحليل الكارتوغرافي للمخططات المعلومات و النتائج من اجل تقديم الوثائق الأساسية التي تحدد أثر التلوث دو مصدر حضري و صناعي مع التفكير في خطط تنمية ناجعة.

كلمات مفتاحية: التسيير، النفايات الصلبة، مياه الصرف الصحي، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، التهيئة

Remerciement

Au terme de ce travail, il me tient particulièrement à cœur de remercier mon Directeur de thèse, le Professeur **Bellal Sidi Ahmed**, pour toute l'attention qu'il m'a accordé durant ces années de recherches, pour l'encadrement, les conseils et la disponibilité et la patience dont j'ai bénéficié pour mener à bien ce travail qui représente le préalable et la base même de toute gestion de l'environnement.

Je remercie vivement mon ancien directeur de thèse Professeur **Tidjane Bachir** pour les années qu'il m'a suivie et je lui souhaite la santé et la longue vie.

J'adresse également ma profonde reconnaissance au professeur **SOUJAH sid Ahmed** d'accepter d'être président. Ses conseils précieux, ses connaissances de la région m'ont été d'une grande importance.

Je tiens à remercier vivement professeur **GHODBANI T.** d'accepté d'être examinateur ainsi qu'à l'aide qu'il m'a offrir.

Nous présentons nos remerciements, ainsi qu'aux Professeur **BOUANNANI**, professeur **HADDOUCHE**, Maitre de Conférences (A) **BOUDJEMLINE** d'accepter d'être examinateurs.

Je tiens également à remercier toute l'équipe de chercheurs du Centre des Techniques Spatiales (CTS) pour leurs encouragements. Merci à tous les collègues du département observation de la terre, et à tous ceux qui ont facilité le déroulement de nos enquêtes et la collecte des données sur le terrain.

J'adresse également mes vifs remerciements au directeur du CTS M^{er} **MAHI** et au responsable de département observation de la terre pour leur soutien tout au long de ces années. Je les remercie particulièrement pour leurs encouragements.

J'exprime mon profond respect à mes professeurs de département de Géographie et Aménagement du Territoire à l'Université d'Oran, pour la formation qu'ils m'ont donnée.

Un grand merci à mes parents mes beaux-parents, mes sœurs, mes belles-sœurs, mes beaux-frères, au reste de ma famille, mes amis et vivement à mon époux **Zemmouri Kadda**, qui m'a toujours aidé, encouragé et soutenu durant toutes ces années de recherches. Ils ont fait preuve de patience et de sérénité. Qu'ils soient assurés de mes vives reconnaissances.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce présent travail veuillent bien m'excuser de ne pas pouvoir les citer et qu'ils sachent que je leur dois ma sincère gratitude.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- ✚ Mes très chères parents, Habib et Fatima, qui m'ont aidé et soutenu durant toute ma vie.*
- ✚ À mes très chers beaux parents, Bencumar et Fatma.*
- ✚ À mon époux Kadda qui m'a beaucoup aidé et encouragé pour élaborer cette recherche durant toutes ces années.*
- ✚ À mes petites fleurs qui allument ma vie, ma fille Roumaïssa Douaa et ma fille Fatma Malek et mon petit fils Islam*
- ✚ À mes très chères sœurs : Fatiha et Fouzia et ses époux.*
- ✚ À mes très chères belles sœurs : Msouka, Houria, Fatiha, Mokhtaria et Sara.*
- ✚ À mes beaux frères : Ben tabat et Lina edine.*
- ✚ À toute ma famille et tous mes amis sans exception.*

Introduction générale

En raison d'une forte croissance démographique et d'une évolution des modes de consommation, on se retrouve face à une augmentation rapide des volumes des déchets solides et liquides, qui engendrent des risques sur l'environnement et par conséquent sur la santé des populations. Les risques sur l'environnement sont présentés par les différents types de pollution, depuis plus de cinquante ans, la pollution est l'un des plus graves problèmes auxquels est confronté notre monde moderne. On entend par pollution, la présence dans l'environnement des grandes quantités de produits chimiques dangereux, généralement créés par l'homme, dont les effets nuisibles peuvent se faire durant de longues périodes sur toute la planète. Cette pollution peut affecter l'eau, l'air et la terre (EL MORHIT, 2009).

L'écosystème naturel et aquatique est de plus en plus menacé par différentes sources de pollution, qui risquent de diminuer ses potentialités économiques et d'avoir des répercussions néfastes sur la santé humaine. Plus que jamais, en cette fin de millénaire, la lutte contre la pollution des eaux et des sols est au centre des discussions et des débats à l'échelle mondiale.

La gestion des décharges et des eaux usées en Algérie, constitue l'un des enjeux majeurs de notre société. Les décharges ou les centres de stockage des déchets constituent le maillon de la chaîne de gestion des déchets. Les déchets ainsi déversés ne sont que très rarement totalement inertes et de nombreuses réactions physico-chimiques et biologiques interviennent à la fois entre le déchet et le milieu dans lequel il se trouve (roches, sol, nappes, eaux de percolation), mais également au sein même des déchets d'origines diverses (JUPSIN et al., 2002).

Les eaux usées sont déversées en plein milieu naturel (cours d'eau, lac, sebkha), en majorité sans aucun traitement, menaçant qualitativement le milieu aquatique. L'eau ne peut pas être considérée comme un simple produit commercial, elle doit être classée comme un patrimoine universel qui doit être protégée, défendue et traitée comme tel. Elle est une ressource vitale pour l'homme, elle est le réceptacle universel de tout type de pollution.

L'Algérie est confrontée à ces problèmes environnementaux, parfois assez sérieux. Cette situation est due à une forte croissance démographique, une urbanisation galopante et une gestion insuffisamment prévoyante des ressources pour satisfaire les besoins générés par le développement économique. Devant l'acuité du problème des déchets et l'importance de son enjeu politique, social, culturel et environnemental, la communauté internationale, y compris l'Algérie, ont pris plus amplement conscience des problématiques des déchets.

Au niveau international, les travaux menés dans le cadre de la gestion des déchets solides et liquides sont nombreux et très diversifiés, nous citons les études de l'institut de l'énergie et de l'environnement de l'organisation internationale de la francophonie (IEPF), avec l'appui financier de la région Wallonne de Belgique et le partenariat technique du centre wallon de biologie industrielle (CWBI), qui ont réalisés une étude sur les déchets ménagers (composition et quantité, mode de gestion, législation, problèmes), avec une typologie des décharges existant dans les pays

francophones d'Afrique et de la Caraïbe. Les recherches de JEAN GOUHIER sur l'analyse de l'interface entre les systèmes sociaux et les déchets (nature, production), ainsi que les implications de cette interface dans l'espace. TAUVERON A. a montré l'enjeu et les problèmes de la gestion des déchets d'une manière assez novatrice (EMMANUELLE LE DORLOT. 2004).

Les travaux réalisés, ces dernières années, dans le domaine de la gestion des déchets traduisent la nécessité d'une nouvelle dynamique et une volonté politique de mettre en place une stratégie globale de gestion des déchets dans le monde.

En pays maghrébins, les recherches menées interprètent la gestion actuelle des déchets comme anarchique et elle se caractérise par : une mauvaise collecte qui pose des problèmes de salubrité publique et entraîne à des risques sanitaires importants, une collecte insuffisante qui nuit à l'assainissement liquide de la ville en bouchant les égouts, des décharges sauvages qui polluent les nappes d'eau souterraine et les cours d'eau mitoyens. Les recherches de BEN AMMAR (2006), sur les enjeux de la caractérisation des déchets pour le traitement en Tunisie. EL MORJANI (2002), a établi une conception d'un système d'information à référence spatiale pour la gestion environnementale et la sélection des sites de décharge.

En Algérie, de fortes pressions sur l'environnement ont été enregistrées, notamment dans le domaine du service de déchets. Cette situation se caractérise par une dégradation de plus en plus d'hygiène et de salubrité publique, malgré la volonté et les grands efforts déployés par l'Etat. Par ailleurs, l'Algérie vise à travers le schéma national d'aménagement du territoire (SNAT) pour 2025, en matière de la politique de la ville à atteindre des objectifs en matière de sécurité et de qualité des services publics : eau, déchets, éducation, santé... (MATE, 2007).

L'état de l'environnement actuel en Algérie est marqué par cinq facteurs, le problème de la salubrité publique, l'insuffisance des moyens humains et matériels, la saturation des décharges, l'augmentation des coûts d'élimination, l'augmentation de la production totale et le ratio par habitant (BRAHIM, 2012). Malgré tous ces problèmes posés par la gestion des déchets solides et liquides et les risques d'environnement qui les engendrent, nous constatons que les recherches menées dans ce domaine ne sont pas assez nombreuses, quelques chercheurs ont traité cette problématique, comme SEFOUHI L. 2010, DAHMANE S. 2012, BRAHIM D. 2012, ce dernier a traité la gestion des déchets municipaux en Algérie, REDJAL O. 2005, CHENITI H. 2014, MEZOUARI F. 2011.

Dans le cadre de la gestion des déchets solides et liquides en Algérie, une contribution intéressante nous a paru envisageable, par l'étude de l'évaluation et la gestion des déchets à partir de l'utilisation d'un système d'information géographique et la télédétection, comme outils d'aide à la décision, afin d'analyser la situation de dégradation des ressources naturelles et protéger l'environnement contre les impacts des déchets et des eaux usées.

La situation actuelle en matière de gestion des déchets solides et liquides en Algérie présente un dysfonctionnement et engendre des problèmes environnementaux graves, ce phénomène est lié en grande partie, selon nos hypothèses aux :

- croissance démographique effrénée ;
- urbanisation anarchique et incontrôlée ;
- liée au développement industriel et au manque d'application de la réglementation ;
- augmentation très sensible du volume de déchets générés par les ménages ;
- implantation des décharges et centres d'enfouissements techniques dans des sites défavorables et présentent des impacts énormes sur l'environnement et la santé publique ;
- augmentation des volumes de rejets liquides ;
- rejets des eaux usées sans aucun traitement en plain milieu naturel ;
- manque d'une base de données à référence spatiales comme documents de base pour tous prise de décision ;
- manque de plans d'aménagement et de protection.

L'analyse de ces hypothèses qui structure la recherche permet d'éclairer des problématiques et des questionnements qui se posent en termes de situation des sites de mise en décharge et d'enfouissement, mais aussi en termes de menace environnementale ainsi que le degré des impacts engendrés par les eaux usées sur les milieux récepteurs.

L'étude menée est un éclaircissement des questionnements posés :

- La situation actuelle en matière d'élimination des déchets (décharges et centres d'enfouissements techniques) pose de sérieux problème de dégradation de l'environnement ?
- La gestion des eaux usées présente une menace pour l'écosystème aquatique ?
- Quelle est l'apport des nouveaux techniques de SIG et de télédétection dans l'analyse et l'évaluation de la gestion des déchets ?
- Quels sont les plans d'aménagement nécessaires pour remédier aux problèmes de dégradation de l'environnement sous l'effet de la mauvaise gestion des déchets ?

Afin de répondre à ses différents questionnements, nous avons trouvé utile d'établir et de traiter une base de données à référence spatiale à l'aide des outils systèmes d'informations géographiques et télédétection, afin de faciliter la gestion optimale et l'évaluation de cette dernière.

Dans ce contexte, que nous avons entrepris l'étude de la région Nord-ouest Algérienne à proximité de la frontière Algéro-marocaine, entre -2° Ouest et 0° Est de longitude et 35° Nord et 33° Sud de latitude, en prenons les wilayas **d'Oran, Ain Témouchent, Sidi Bel Abbes et Tlemcen** (carte 1). Du point de vue zone naturelle, cette zone est découpée en zone littorale et zone des bassins intérieurs. Elle est d'une superficie de 23 150 km². Elle souffre de multiples problèmes liés à la destruction progressive de l'environnement, aux déchets et d'autres sortes de pollutions et de nuisances qui ne cessent de s'accroître. Cet état de fait nous incite à réfléchir d'une manière intense afin de proposer des stratégies qui permettent de préserver l'environnement et les ressources naturelles.

La zone d'étude abrite une population de 3 379 196 habitants, selon le recensement de 2008, un taux de population génère un excès de problèmes, dont celui des déchets ménagers, estimés en

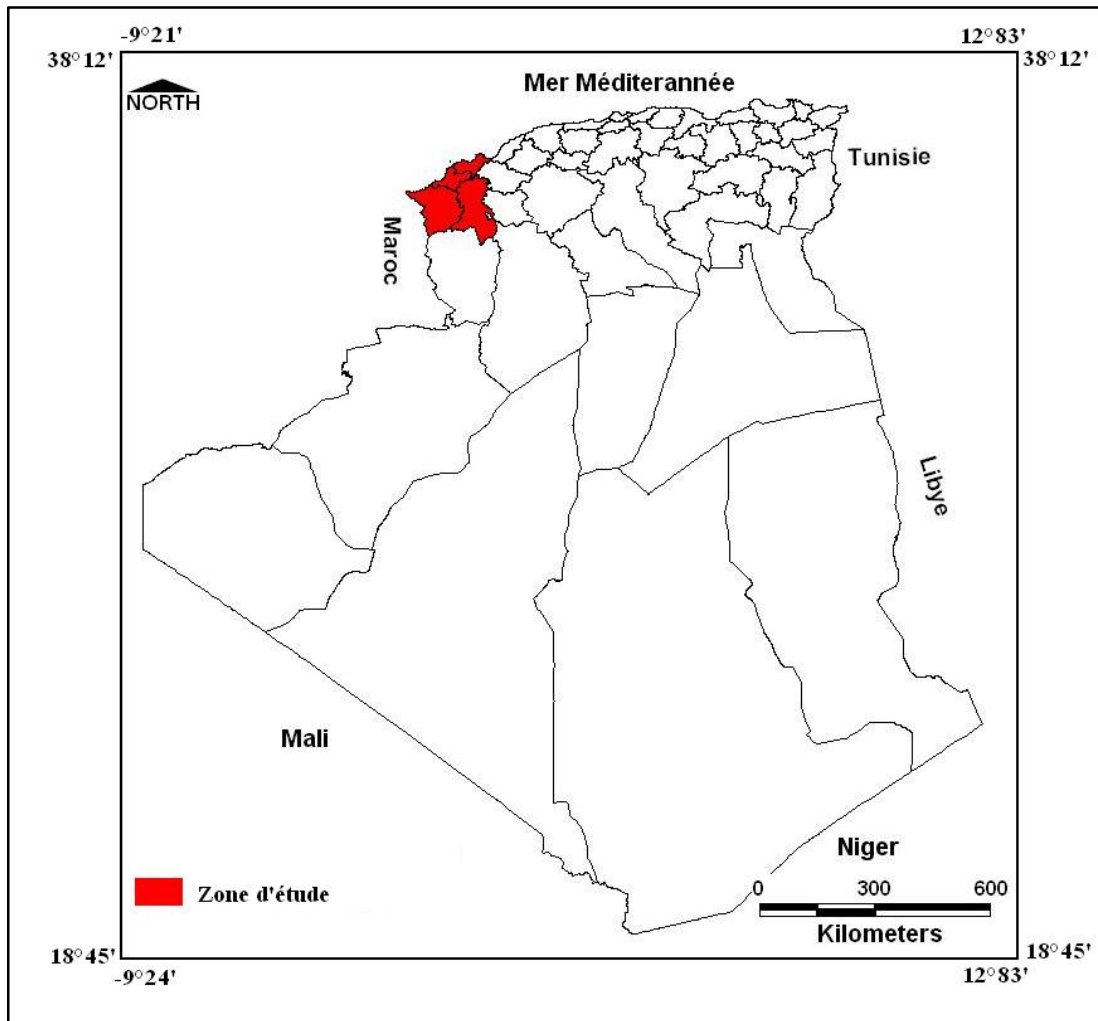
2008 par un rejet moyen de 2 365.43 T/j de déchets urbains solides, avec un ratio de 0.7 kg/j/hab. Un rejet des eaux usées en moyen de 675 839.2 m³/j avec un ratio de 200 l/j/hab.

L'augmentation des quantités de déchets solides et liquides produites par la population de la zone d'étude est une source de nuisances importante, sur la santé publique, l'hygiène et qualité de vie. Le rejet d'un volume important de déchets vers les décharges et les cours d'eau constitue un sérieux risque de dégradation de l'écosystème. La gestion actuelle des déchets dans la zone d'étude est perturbée par la quantité progressive et les différents types de déchets solides et liquides, toujours plus difficiles à éliminer. Les décharges contrôlées et les centres d'enfouissements techniques sont mal gérées et mal entretenues, n'arrivent plus à absorber cette quantité, et de plus en plus, des décharges sauvages et anarchiques apparaissent. Ceci favorise la pollution des sols, des nappes, de l'air avoisinant, et finalement à la destruction de notre environnement. Nous citons ainsi, le rejet des eaux usées important en pleins milieux naturels, sans aucun traitement, conduit à une forte dégradation de l'écosystème aquatique.

Des grands problèmes d'insalubrité sont remarqués dans ces zones, comme les décharges publiques d'El Kerma, le CET de Sidi Bel Abbès, de Tlemcen et d'Ain Témouchent. Ces dernières présentent un danger réel pour l'environnement, car le site est une vraie source de pollution, notamment que les sites posent des grands problèmes de dégradation du cadre de vie et de ressources naturelles. Ces zones sont marquées par une forte pollution des cours d'eau, liée aux rejets des eaux usées vers oued Tafna, oued El Mekerra, oued El Malah, sebkha d'Oran et le littoral.

Devant cet état, nous avons conduit à orienter notre réflexion dans cette recherche vers l'aspect de gestion et d'évaluation des déchets solides et liquides, du point de vue études des décharges publiques et centres d'enfouissements techniques (CET d'Ain Témouchent, décharge d'El Kerma, CET de Sidi Bel Abbès et de Tlemcen), ainsi qu'analyser les milieux récepteurs des eaux usées et leurs impacts sur l'environnement.

Carte 1. Localisation de la zone d'étude (Carte topographique d'Algérie 1/ 2 000 000)



L'objectif principal est de proposer une méthodologie d'évaluation de la gestion actuelle des déchets, en matière de rejet des eaux usées et mise en décharge des déchets solides, à partir de traitement d'une base de données multi sources sous un SIG. Nous souhaiterions apporter un éclairage et une aide aux décideurs politiques et responsables locaux sur la gestion des déchets (mise en décharge) et rejet des eaux usées et mettre en œuvre les menaces de la situation actuelle sur l'environnement. Cette évaluation permet de donner des solutions efficaces pour la protection de l'environnement, afin d'atteindre le développement durable.

En effet, il est attendu d'atteindre des objectifs sur le plan social, économique et spatial :

Sur le **plan social** : identifier les composantes sociales, comme des facteurs de la gestion des déchets. Analyser la relation population, volumes des déchets solides et liquides, contraintes pour la gestion des déchets. Impacts de dysfonctionnement de la gestion des déchets solides et rejet des eaux usées sur le plan humain.

Sur le **plan économique** : décrire les composantes économiques et leurs relations avec les menaces des rejets des déchets solides et liquides. Analyser les conséquences des difficultés de la gestion des déchets, par la mauvaise mise en décharge et le rejet des eaux usées. La dégradation des ressources est un recul économique local, régional et national.

Et enfin, sur le **plan spatial** : décrire les délimitations géographiques et les composantes naturelles de la zone d'étude et identifier leurs rapports avec la gestion des déchets. Réaliser une base de données à référence spatiale, à partir des données exogènes et de télédétection nécessaires pour la gestion et l'évaluation de l'état actuelle des déchets. Décrire l'apport des SIG et la télédétection dans la conception de la base de données. Établir une synthèse sur l'état et l'impact des sites de mise en décharge dans les grandes villes de la zone d'étude, ainsi qu'évaluer l'état et l'impact des milieux récepteurs des eaux usées. Donner un diagnostic sur les conséquences des sites inadéquates pour la mise en décharge et le non-traitement des eaux usées sur l'environnement et l'écosystème aquatique. La situation actuelle en matière de gestion des déchets nécessite la mise en place des plans d'aménagement et de protection, et ce qui sera le dernier objectif souhaité.

Pour aboutir à des réponses tenables et objectives aux questions posées, la démarche méthodologique de ce travail est la suivante :

Il est nécessaire, comme première étape, d'établir une recherche bibliographique englobe toutes les composantes naturelles et socioéconomiques de la zone d'étude. Ces composantes sont considérées comme des facteurs qui facilitent et augmentent le degré de la pollution, sous l'effet des rejets de déchets.

Dans le but d'étudier et d'analyser la gestion des déchets en matière de mise en décharge et des milieux récepteurs des eaux usées, la réalisation d'une base de données à référence spatiale multi sources de télédétection et exogènes, qui sera établie en deuxième étape.

La démarche appliquée, dans cette étape nécessite, une compilation des données géographiques relatives à plusieurs disciplines, comme la géographie, la topographie, la géologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, la climatologie, la télédétection et la démographie. Dans chacune des disciplines, nous avons utilisé des techniques variées de spatialisation. Ces techniques ont permis la création de documents spatiaux de base, en format raster ou vecteur (les cartes des pentes, l'occupation du sol, la carte lithologique et ses dérivés, la carte des sols, la carte de population, le volume de déchets, la carte pluviométrique et la carte piézométrique) (COLLET, 1992).

La réalisation des données pour l'analyse des décharges et les milieux récepteurs des eaux usées ainsi que les documents de base utiles à l'aménagement et à la protection de l'environnement, ont été faciles par le développement de nouvelles techniques (satellites et micro-informatiques), capables de répondre aux besoins de collecte, de saisie, d'analyse, de gestion et de représentation cartographique (DIEYE, 2005). Grâce à ces progrès, les systèmes d'informations géographiques (SIG) et la télédétection (TLD) sont devenus des outils incontournables d'aide à la décision, pour la compréhension et le suivi des phénomènes d'aménagement et de planification.

À partir de la base de données, nous allons procéder à une étude et une analyse environnementale des sites de décharges et centres d'enfouissements techniques et leurs impacts, qui permettront à évaluer l'état actuel de la gestion des déchets en terme mise en décharge. L'étape qui suit, c'est l'analyse des risques engendrés par le rejet des eaux usées et l'évaluation de la situation actuelle en matière de ces rejets.

Après avoir mis en lumière tous les problèmes causés par la mauvaise gestion des déchets (mise en décharge) et la gestion incohérente des déchets liquides (rejet des eaux usées), il est nécessaire de réaliser des plans d'aménagement pour préserver l'environnement et la santé des populations. Nous avons trouvé que les meilleurs plans de protection des ressources en eaux souterraines sont la cartographie de la vulnérabilité de la nappe à la pollution. Nous avons pris la nappe d'El Kerma, la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes et la nappe alluviale d'Hennaya. Nous proposons des solutions pour protéger les eaux de surfaces contre les pollutions. La meilleure gestion des déchets passe par l'amélioration de la gestion actuelle des déchets solides ainsi que le choix des nouveaux sites de décharge adéquats au stockage des déchets par l'apport des SIG.

Pour mener à bien notre réflexion, atteindre les objectifs et réaliser la démarche méthodologique, notre travail de recherche est structuré autour de cinq chapitres depuis la recherche bibliographique jusqu'à les plans d'aménagement en passant par toute une analyse consacrée pour traiter la problématique de la thèse.

Dans cette optique, notre travail est partagé en 5 chapitres, le **premier chapitre** permettra de présenter les composantes naturelles et socio-économiques de la zone d'étude. Nous cherchons dans ce chapitre de mettre la relation entre ces composantes et la gestion des déchets.

Le second chapitre vise à collecter, traiter et réaliser les couches d'informations extrais des données spatiales et exogènes à partir des outils SIG et Télédétection. Ces couches sont nécessaires pour l'évaluation des sites de décharges et centres d'enfouissements techniques, ainsi que la gestion de l'évacuation des eaux usées. C'est une étape de justification des méthodes et des modèles utilisés, ainsi que l'apport de chaque information spatiale dans la présente étude.

En troisième chapitre de la thèse, nous avons consacré une étape d'évaluation des sites de décharges et centres d'enfouissements techniques et voir l'impact des sites sur l'environnement et l'homme, cette étape permettra l'analyse de la gestion des déchets solides en terme d'élimination.

Le quatrième chapitre concerne l'analyse de la gestion des rejets des eaux usées, évacuation en milieu récepteur, épuration et impacts des rejets.

Une fois, cette analyse de la problématique des déchets solides et liquides est présentée, nous nous attacherons, dans **le cinquième chapitre**, aux propositions des plans d'aménagement et de protections, afin d'atteindre le développement durable dans le cadre social, économique et naturel, ainsi que protéger les ressources naturelles. Nous proposons dans ce chapitre, la réalisation des cartes de vulnérabilité des nappes à la pollution comme plan de protection des eaux souterraines, des meilleures solutions pour protéger les eaux de surface et une gestion efficace des déchets solides.

Chapitre 1

Cadre physique et socioéconomique de la zone d'étude

Introduction

En Algérie, la gestion et l'élimination des déchets ont toujours posé des problèmes auxquels, l'opinion publique devient sensible et donc une prise en compte de la part des organismes responsables est sérieuse et réfléchie dans le processus global de développement du pays. Dans le cadre de cette nouvelle orientation, nous espérons apporter une contribution utile face à l'étude de la gestion et l'évaluation des déchets solides et liquides, apport de la télédétection et les SIG.

La gestion des déchets urbains solides ou liquides est l'une des questions environnementales les plus préoccupantes pour toutes les villes du monde. Néanmoins, elle est plus complexe pour les villes des PED. Cette gestion est très liée aux caractéristiques naturelles et socio-économiques des zones.

Les caractéristiques naturelles topographiques, géologiques, hydrologiques climatiques, hydrogéologiques influent directement sur la gestion des déchets solides et les eaux usées. La mise en décharges correcte nécessite des caractéristiques naturelles qui n'engendrent aucun impact sur l'environnement et sur les ressources. Les eaux usées sont évacuées dans le milieu naturel (cours d'eau, oueds, lac, littoral, fosses sceptiques) conduites à des graves conséquences sur l'environnement. L'analyse du circuit et l'impact des eaux usées sont en relation directe avec les caractéristiques naturelles de la zone. L'homme et son activité sont les producteurs des déchets, décrire tous les caractéristiques socio-économiques est une nécessité pour permettre d'évaluer la gestion de déchets.

Le présent chapitre expose, de manière synthétique, le contexte géographique de notre espace de recherche (Ain Témouchent, Oran, Sidi Bel Abbes et Tlemcen). Après la description des paramètres naturels, une attention particulière sera consacrée à l'aspect socio-économique des secteurs d'études. De ce fait, on s'efforcera de montrer, dans ce chapitre, les caractéristiques et l'importance relative de chacun des éléments naturels et anthropiques envisagés comme suite :

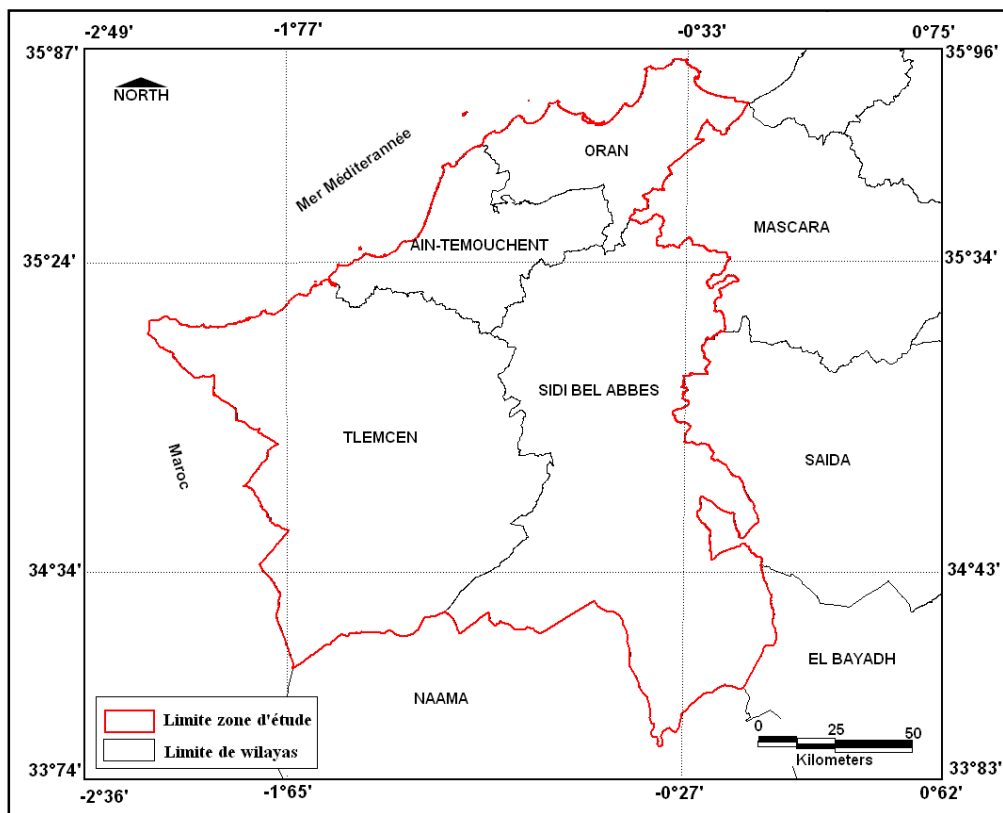
- a) L'étude des caractéristiques topographiques permettra de situer le cadre de réception des eaux et l'organisation du drainage.
 - b) Les caractéristiques géologiques, nous essayerons ici d'en préciser les caractères lithologiques en vue de déterminer les possibilités de l'écoulement et d'infiltration.
 - c) Le comportement hydrologique de la zone d'étude est le résultat de l'interaction des paramètres naturels analysés précédemment. La détermination des ressources en eaux et leurs disponibilités potentielles sont étroitement liées à ce comportement au régime hydrologique de la zone d'étude. Une évaluation précise des ressources en eaux et de leur variabilité passe donc par la prise en compte de l'écoulement superficiel.
- Débits moyens annuels et saisonniers hydrologiques ;
 - Régimes fluviaux et variations saisonnières des débits ;

- Intensité des extrêmes et leur fréquence.
- d) Les facteurs climatiques, phénomènes aléatoires les plus déterminants du comportement hydrologiques et de l'alimentation des nappes seraient analysés. Ils interviennent dans le bilan de l'écoulement essentiellement par les précipitations et par les températures.
- e) Les ressources en eaux souterraines sont beaucoup plus difficiles à appréhender que celles des eaux de surface en raison de la complexité des systèmes hydrogéologiques et notamment de l'ensemble géologique que constituent les nappes de la région d'étude. Nous tenterons de présenter, d'après l'étude existante, les caractères essentiels de ces ressources (nappes et sources).
- f) L'étude des caractéristiques socio-économiques permettra de compléter notre vision sur la production des déchets qui dépend des activités humaines dans la région d'étude.

I. Situation géographique de la région d'étude

La région d'étude se situe dans le Nord-ouest de l'Algérie, elle comporte les wilayas d'Ain Témouchent, d'Oran, de Sidi Bel Abbes et de Tlemcen. Elle est limitée en Nord par la mer Méditerranée, au Sud par les wilayas de : Saida, El-Bayadh et Naama, à l'Est par les wilayas de Saida, Mascara, Mostaganem, et à l'Ouest par le Maroc. Couvrant une superficie totale de 23 150 km² représentant ainsi 0.96 % du territoire algérien (carte 2).

Carte 2. Situation administrative de la zone d'étude



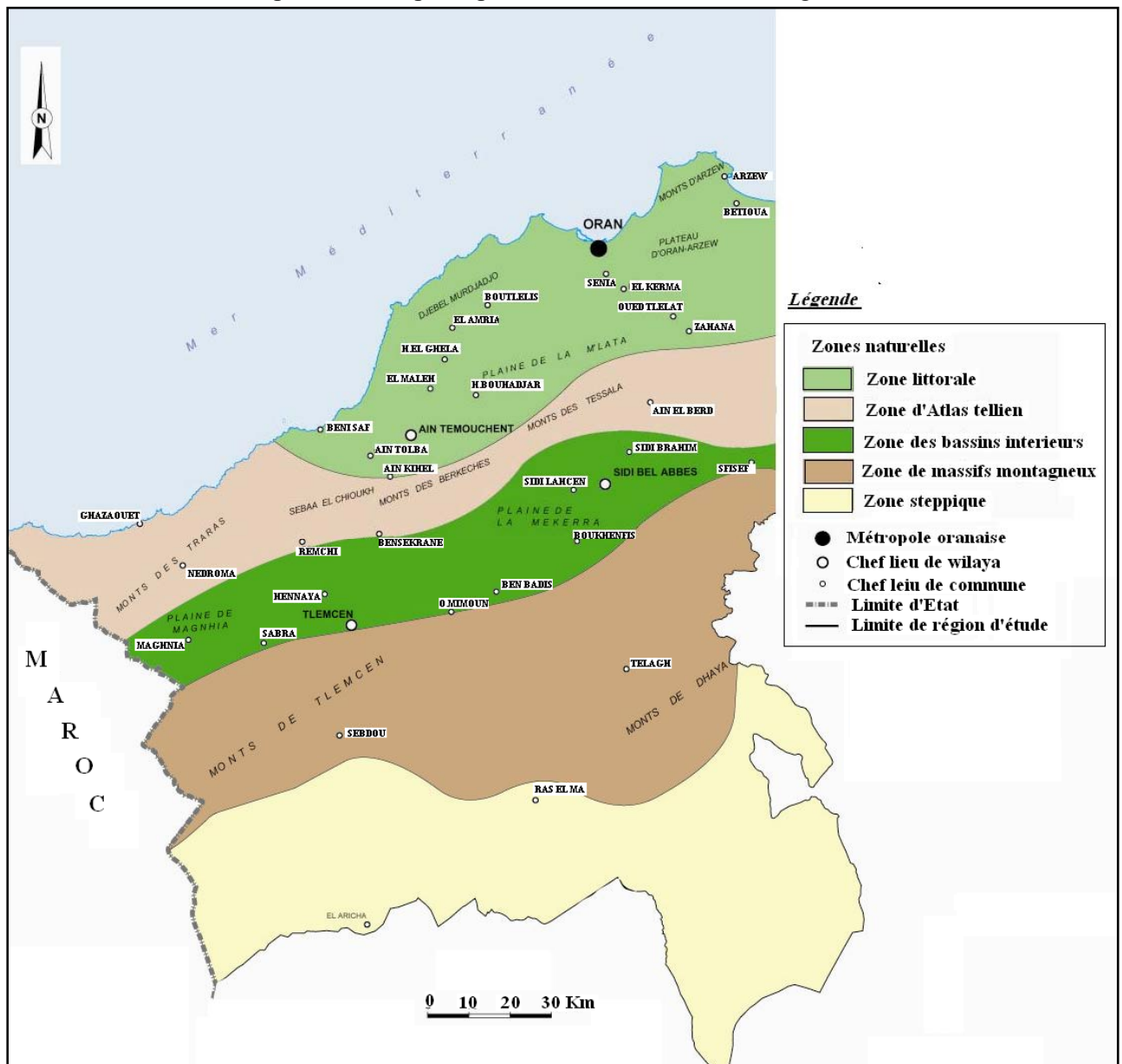
Source : cartes topographiques 1/200 000

II. Les caractéristiques topographiques : une région présente trois grands ensembles naturels

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation.

La région Nord-ouest Algérienne en fonction de la géologie, de la lithologie et de la topographie, s'organise en trois grands ensembles naturels qui peuvent être identifiés comme suite : la zone littorale, les espaces intérieurs et les espaces sub steppiques.

Carte 3. Répartition des principales zones naturelles de la région d'étude



Source : ANAT, 2005

1. La zone littorale : une succession de massifs montagneux, sublittoraux et de plaines

C'est un ensemble constitué par une succession de massifs montagneux, côtiers et sublittoraux, et de plaines, la zone littorale présente une bordure côtière environ 340 km qui soit 28 % du cordon littoral de l'Algérie.

1.1. Les massifs montagneux

Nous trouverons des chaînes montagneuses importantes comme les monts des Trara, les monts de Sbaa Chioukh, la chaîne montagneuse de Tassala, les monts de Murdjadjo et la Dahra Ouest.

Les monts de Trara : ce massif formé d'une chaîne côtière où le relief est plus ou moins accidenté présente une disposition SO- NE chevauchant entre les wilayas de Tlemcen et Ain Temouchent, d'une altitude moyenne variante de 500 à 1000 m, le point culminant de ce massif est le Dj. Fillaoucène, 1136 m, près de Nédroma, il apparaît comme un arc montagneux amygdaloïde ceinturé de dépressions périphériques et encastré entre la Méditerranée par sa partie concave, la Vallée de Kiss à l'Ouest, la vallée de la Tafna à l'Est et celle de son affluent Oued Mouillah au Sud par sa partie convexe (THINTHOIN, 1960).

Les monts de Sebâa Chioukh ont une altitude moyenne comprise entre 600 et 800 m. La série de collines des Sebâa Chioukh est considérée comme la terminaison occidentale de la chaîne des Tessala. Son orientation WSW-ENE est identique. Le relief s'infléchit assez nettement dans la partie orientale. Vers le Nord, les Sebâa Chioukh dominant la vallée du Feid-El-Ateuch et vers le Sud une zone d'altitude moyenne qui vient buter sur les monts de Tlemcen.

Les monts de Tessala sont une des chaînes importantes de l'atlas tellien d'Algérie, au Sud et au Sud-ouest d'Oran, ils se dressent au-dessus des collines d'Ain Témouchent et de la plaine de la Sebkhâ d'Oran, ils donnent de relief assez modeste 500 à 1 000 m d'altitudes où les formes de moles et aplanies de la plupart des sommets, c'est à l'Est du Dj. Tessala le plus culminant 1 061 m que la chaîne présente l'aspect le plus montagneux. Ils sont orientés WSW- ENE, deux grandes unités morphologiques séparées par le Dj. Tessala, le Tessala occidental et le Tessala oriental. Les monts de Beni Chougranne dont l'altitude moyenne est de 700 m et culmine à 932 m dans les environs de l'agglomération d'El Bordj, située entre les plaines de Habra-Sig au Nord et la plaine de Ghriss au Sud.

Les monts de Murdjadjo avec une altitude moyenne de 500 m, le plus haut point du Djebel est à 584 m, sa couverture végétale relativement importante confère à ce relief un certain équilibre.

Dahra Ouest présente une faible altitude de l'ordre de 500 m. Il constitue un anticlinal, ce massif est très exposé aux phénomènes d'érosion.

1.2. Les plaines littorales et sublittorales

La zone côtière renferme de l'Ouest à l'Est les plaines dites littorales d'El Malah, d'Ain Türk, d'Oran Est, la basse plaine littorale, présentent des altitudes ordinairement inférieures à 9 m. Ces plaines sont confrontées aux problèmes de drainage et de salinité des sols, ainsi que les pentes faibles dans ces plaines facilitent l'infiltration des polluants dans le sol et dans la nappe.

Les plaines sublittorales (M'leta) subissent les effets de l'érosion des massifs montagneux (les monts des Tessala), ces plaines sont très soumises aux problèmes de pollution par l'existence de différentes sources de pollution ainsi que la pente faible qui favorise l'infiltration par rapport au ruissellement.

2. Les bassins intérieurs : un ensemble important par son étendue

Les unités physiques composant cet ensemble d'Ouest en Est sont : les Monts de Tlemcen et de Daya, les plaines de Maghnia, Hennaya et Sidi Bel Abbès.

Les Monts de Tlemcen : sont situés dans la partie occidentale de la chaîne tellienne dont ils présentent les altitudes les plus élevées avec une moyenne de 900 à 1 000 m, culminant à 1 843 m au Dj. Tenouchfi situé au Sud-ouest des monts. Ce massif fait partie de l'Atlas tabulaire selon THINTHOIN (1948). Il est limité au Nord par les hautes plaines telliennes et au Sud par les hautes plaines steppiques. Les limites Ouest et Est sont respectivement représentées par la frontière Algéro-Marocaine et l'Ouest par le Mekkerà. Les monts présentent des versants assez pentus et dissymétriques, les pentes dépassant parfois les 30 %, ils constituent une barrière entre les hautes plaines steppiques et les hautes plaines telliennes.

Les monts de Daya correspondent dans leur grande majorité au massif forestier de Telagh et constituent l'axe anticlinal du bourrelet atlasique septentrional situé entre les monts de Tlemcen et les monts de Saïda. Ils sont orientés SW-NE. Néanmoins, ils présentent une orographie moins accidentée que les zones montagneuses de la zone côtière. Les altitudes varient entre 1 300 et 1400 m et culminent à 1455 m au niveau du Dj. Mezioud.

La plaine de Maghnia dessine un édifice régulier formé essentiellement de terrains mésozoïques et cénozoïques, présentée par des pentes plus douces (entre 0 et 10 %), limitée au Nord par les piémonts Sud des Traras, au Sud par les piémonts Nord des monts de Tlemcen et à l'Ouest par la plaine Angad.

La plaine d'Hennaya limitée au Sud par les piémonts Nord des monts de Tlemcen et au Nord par le plateau de Zenata, les altitudes varient entre 200 et 500 m.

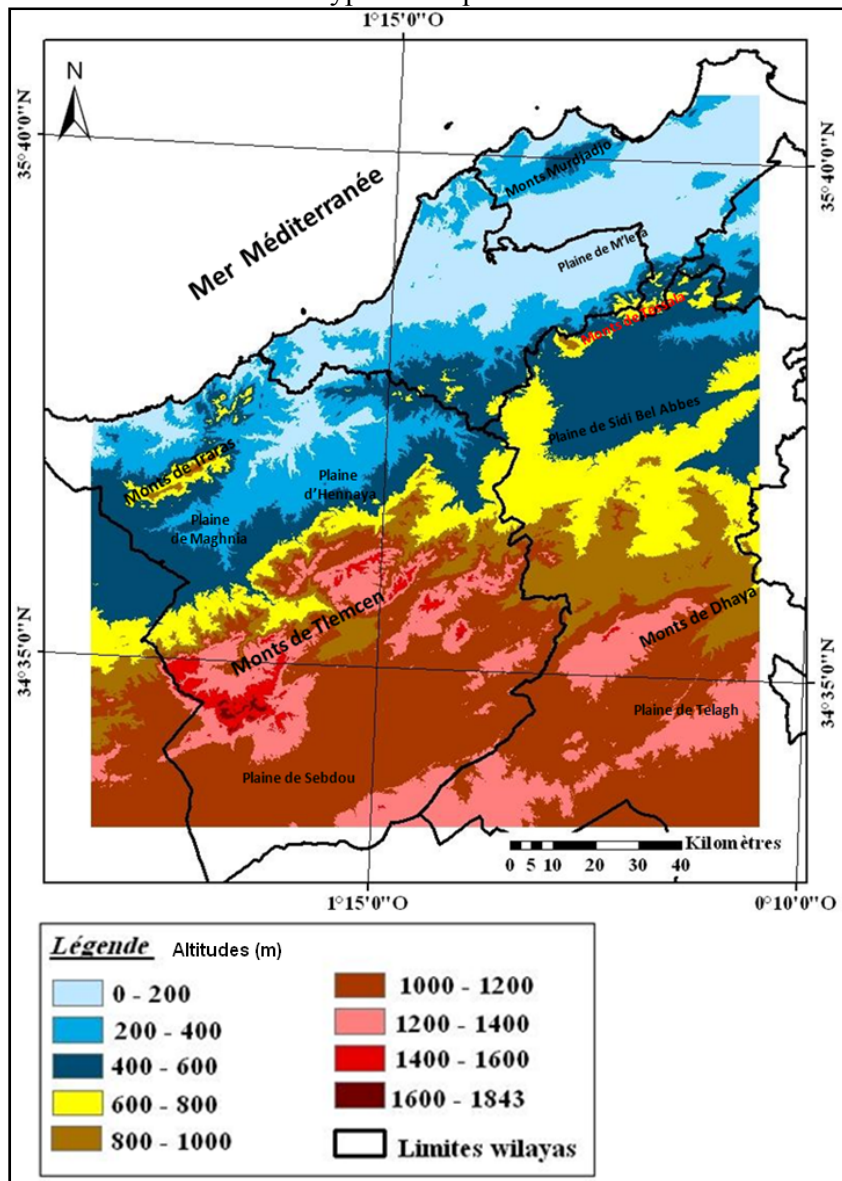
La plaine de Sidi Bel Abbès par sa position géographique, s'intègre au tell méridional, elle correspond à l'étendue comprise entre la cluse de Sidi Ali Benyoub, l'espace Ali Boussidi et Ben Badis, qui présente une topographie relativement plane encadrée par les reliefs suivants : au Nord par les monts de Tessala, segment occidental de l'Atlas tellien, Au Sud par l'ensemble montagneux d'Oued Mimoun, Sidi Ali Benyoub, formant la bordure septentrionale des hauts plateaux, à l'Ouest par la vallée de l'Oued Isser, à l'Est par les reliefs des Beni Chougrane et Bou Hanifia qui forment la limite orientale. Elle occupe une superficie de 1 121 km² et un périmètre de 212 km. L'altitude minimale est de 450 m, l'altitude maximale est de 1 050 m. C'est une zone de structure en cuvette.

3. Les espaces sub-steppiques

Les espaces sub-steppiques sont les hautes plaines de Sidi Bel Abbès et de Tlemcen, localisées dans la partie occidentale des espaces steppiques algériens, immédiatement en contrebas du versant Sud de l'Atlas tellien Oranais. Ces espaces offrent un relief légèrement ondulé dont les altitudes s'abaissent progressivement vers le Sud, passant de 1 400 m au pied de l'Atlas tellien à 1 000 m près de la vaste dépression du chott Chergui qui borde la partie méridionale de la région.

La plaine de Sebdou est limitée au Nord par le plateau de Titmokhen, au Sud, par Dj. Lato, Si Abdellah, Maiter, Zninia, Toumiet et Koudiat el Harcha, à l'Est par Dj. Mazoudjène, Dj. El Ahmer, et Dj. El Arbi, à l'Ouest par le plateau des Azaïls. C'est un fossé d'effondrement.

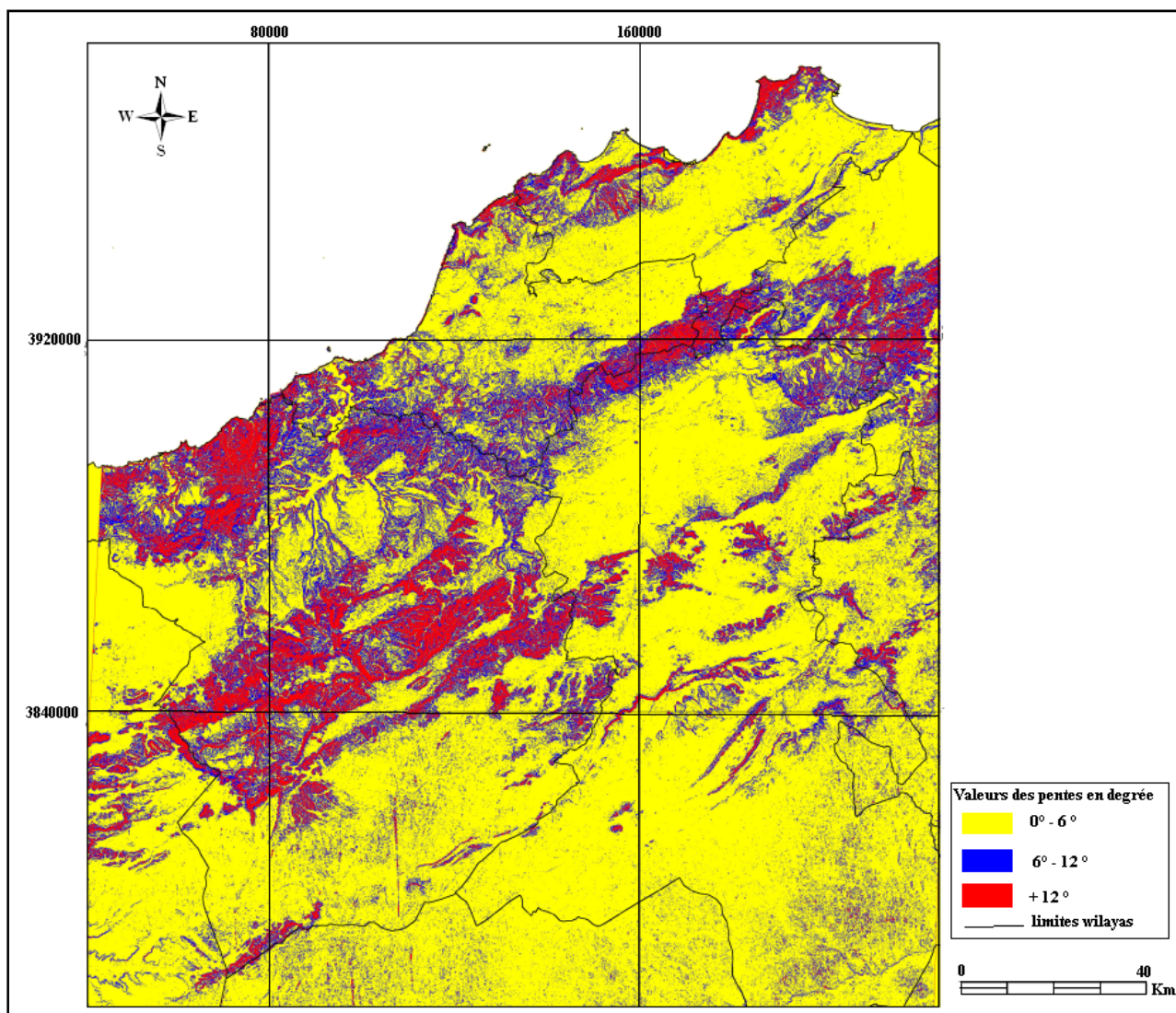
Carte 4. Carte hypsométrique de la zone d'étude



Source : MNT Aster, 2002

Généralement, la région Nord-ouest d'Algérie présente une diversité de reliefs, c'est un relief accidenté notamment au niveau des espaces montagneux avec des pentes fortes dépassant les 6° (carte 5) favorisant le ruissellement des eaux pluviales, présentant, de ce fait, des couloirs (vallées, bassins, etc.), l'existence de plusieurs plaines avec de grandes potentialités agropédologiques, ces plaines littorales et d'intérieurs, dont la pente est faible, présente un siège d'alimentation des eaux souterraines. Ces principaux éléments topographiques constituent le système hydrologique de ces ensembles naturels.

Carte 5. Carte des pentes de la zone d'étude



Source : MNT Aster, 2002

III. Le contexte géologique influe sur le régime d'écoulement des eaux : les caractères lithologiques et capacités de rétention souterraine

Les données géologiques représentent actuellement des documents importants pour la gestion des ressources naturelles. Elles donnent des informations sur la variation spatiale des propriétés physiques des roches (la lithologie et la structure). Les formations géologiques influent sur la répartition des écoulements superficiels et souterrains.

L'objectif principal d'une étude géologique d'une zone, c'est la détermination de la perméabilité des formations lithologiques notamment que ces derniers sont le facteur principal de ruissellement et d'infiltration des eaux pluviales. Une formation imperméable donne la capacité d'écoulement des eaux qu'une formation perméable, qu'a un taux d'infiltration important et donc une alimentation des nappes et un risque de dégradation des eaux souterraines en cas de source de pollution. C'est dans ce contexte que nous avons présenté le contexte géologique de chaque zone naturelle et physique.

Plusieurs auteurs ont réalisé des recherches géologiques du tell Algérien, tels que : DALLONI (1952), LUCAS (1952), GOURINARD (1954), GUARDIA (1954), SOURISSEAU (1973), GUARDIA (1975), FENET (1975), GUARDIA (1980), THOMAS (1985), HASSANI (1986), etc.

1. Géologie de la zone littorale : fait partie au domaine tello-rifain

La zone littorale est composée des massifs montagneux et des plaines littorales et sublittorales, chaque espace possède des caractéristiques géologiques différentes. Elle fait partie du domaine tello-rifain, portion de la chaîne alpine qui se raccorde à l'Ouest au niveau de l'arc de Gibraltar.

1.1. Massifs montagneux : des formations carbonatées, volcaniques fissurées et quaternaires

Les Monts de Traras représentent la bande maritime la plus récente. Ils sont marqués par sa complexité particulièrement accusée. Ils se manifestent sur le terrain par des affleurements et des contacts anormaux, qui sont dus au charriage d'éléments rocheux transportés sur de longues distances du Nord vers le Sud. AIME (1991) a regroupé les différents substrats géologiques des monts de Traras en quatre principales formations à savoir :

- Les formations carbonatées : ils sont des formations compactes (calcaires, grès et dolomies), elles occupent la zone comprise entre le Cap Tarsa et Honaine. Ils s'agissent de calcaire jurassique de l'unité de Tedjra. Quelques formations de grès calcaires (miocène ou pliocène) se rencontrent également dans la zone de Marsa Ben Mhidi ainsi que sur quelques zones dolomitiques de la frange littorale. Sont aussi des formations tendres (argiles et marbres), constitués par des formations néogènes au Sud de Cap Noé (marnes plus ou moins sableuses). Entre Honaine et El Mokrane, ils sont constitués principalement par des marnes de l'unité d'El Mokrane.

- Les formations non carbonatées : les terrains non-calcaires sont limités et ne se rencontrent que dans la partie Est de Honaine et Beni Ouarsous. Ils s'agissent d'un massif schisteux primaire entrecoupé de passer conglomératiques.
- Les formations volcaniques : ces formations sont représentées par deux types de substrats selon le type d'éruption qui leur donne naissance. Les éruptions effusives ont surtout donné des roches basiques poreuses (basaltes) au Sud de Ghazaouet, entre Tounane et Tient (AIME, 1991). Pour ce qui est des formations volcano-sédimentaires, elles ne se rencontrent qu'en petits lambeaux, dans les environs de Honaine.
- Les formations quaternaires : les terrains quaternaires fournissent des substrats diversifiés selon leur origine et leur dynamique. Ils s'agissent de deux grands types, les formations d'origine éoliennes et les formations alluviales. Les formations alluviales sont représentées par des terrasses étagées ou non, et se rencontrent le long de l'oued Kiss et la vallée de la Tafna.

Les monts de Sbâa Chioukh : forment une zone anticlinale à cœur crétacé (LASSOUANI, 2008). C'est une zone affectée de grandes cassures et largement injectée de trias. Les principaux sommets des Sebâa Chioukh sont chapotés de barres calcaires.

Les monts de Tessala : sont essentiellement constitués de roche des argiles, des marnes et des calcaires marneux du trias, du crétacé et de l'éocène (BENYAHIA et al., 2001). Les terrains triasiques, qui forment les semelles de la nappe de charriage du complexe crétacé-oligocène (DELLAOUI, 1952 ; KIEKKEN, 1962), sont fréquemment gypseux. C'est un anticlinal composé de formations crétacées (marnes, calcaires lagunaires)

Les monts de Murdjadjo : ils font partie de la zone de horsts du littoral Oranais. Ces horsts résultent de mouvements tectoniques verticaux datés de la période néogène (GOURINARD, 1958). Ces reliefs sont constitués d'un ensemble rigide composé de terrains schisteux avec des écaillés calcaires dolomitiques et des niveaux de quartzites. L'ensemble, tectonisé, métamorphisé et entrecoupé par endroits d'intrusion de roches vertes d'âge jurassico crétacé. Ces reliefs sont qualifiés de massifs à schistosité (FENET, 1975), considérés, dans l'ensemble, comme étant relativement imperméables. Ils jouent le rôle de substratum pour la série sédimentaire miocène sus-jacente où l'on y relève vers le sommet une importante couche aquifère connu sous l'appellation de « calcaire miocène du Murdjadjo ». Cette série est formée de calcaire construit biogène à algue du genre *lithothamnium*. Ces calcaires fissurés et karstiques plongent sous les alluvions quaternaires de la sebkha.

1.2. Plaines littorales et sublittorales : formations quaternaires alluvionnaires perméables et volcanismes d'Ain Témouchent

La plaine de M'leta est une vaste dépression remplie de formations surtout détritiques, constituées par des formations quaternaires. Ils s'agissent de dépôts holocènes, alluvions récentes et lunettes éoliennes.

- Les holocènes sont des dépôts non rubéfiés, on peut distinguer des dépôts d'origine alluviale et des dépôts d'origine éolienne.
- Les lunettes éoliennes sont présentées sous forme de bourrelets en bordure de bas-fonds salés, la plus spectaculaire, par son ampleur est celle qui longe la bordure Sud de la grande sebkha d'Oran. Édifiés dans des matériaux argilo-sableux ou argileux, sous forme de collines de formes diverses dans le paysage. Ces dépôts résulteraient des produits de la déflation éolienne à l'origine du creusement de la dépression. Ces lunettes sont de formes anciennes, fixées et cultivées.
- L'alluvion récente s'agit de dépôts, largement répandus, représentés par des terrasses, des limons d'inondation et de cône de déjection. Ils occupent le pourtour de la sebkha et garnissent la plaine de la M'leta. Dans les terrasses fluviales, essentiellement limoneuses avec des passées sableuses existe des horizons noirs à plusieurs niveaux correspondant à des sols hydromorphes, développés en fin de séquences sédimentaires, puis fossilisées par des apports de sédiments alluviaux postérieurs, ces formations sont très perméables.

Entre les massifs montagneux, on retrouve des dépressions, ces derniers peuvent être des plaines actuelles ou fossiles (plaine d'Ain Temouchent - El Melah), constituées par des formations sédimentaires d'âge trias, lias, néocomien, miocène, pliocène post nappe et le quaternaire.

Le trias affleure au Sud du massif de D'har El Mendjel. Il est représenté, généralement, par des argiles bariolées rougeâtres, associées à des gypses et à des sels. Ces affleurements sont recouverts par des alluvions caillouteuses et poudingues tertiaires, qui forment la plus grande partie du sol de la plaine d'Ain Temouchent. Le lias est représenté, généralement, par des calcaires, ils forment les deux principaux pointements du Dj. Touita et de D'har El Mendjel. Il s'agit de calcaire qui affleure en grands bancs gris ou bleu grisâtre très fissurés. Les calcaires passent plus haut à des dolomies du même âge, plus compactes et plus marmorisées (LOUNI-HACINI et al., 1995 ; COULON et al., 2002). Le néocomien correspond à des schistes et des quartzites, des schistes argileux avec des intercalations de lentilles de quartzites.

Le volcanisme d'Ain Temouchent couvre une superficie de 350 Km². Les produits émis ont atteint les alentours de Chaâbet El Ham au Nord, le Douar Chentouf à l'Est, Ain Tolba et Ain Kihal au Sud et les environs de Sidi Safi à l'Ouest. Ce volcanisme se caractérise par son jeune âge, car il s'est manifesté pendant le quaternaire (LOUNI-HACINI et al., 1995 ; COULON et al., 2002). Les émissions volcaniques varient entre des laves associées le plus souvent à des brèches volcaniques et des volcano-sédimentaires. Les coulées émises reposent sur un substratum représenté par des sédiments néogènes du deuxième cycle post-nappes. Aux environs du Dj. Dzioua, de Koudiat Berbous et de Sidi Ben Adda, les produits éruptifs recouvrent des récifs coralliens d'âge messinien (MOISSETTE, 1988). Les gisements volcaniques les plus méridionaux reposent sur des formations marno-gréseuses d'âge miocène. Ce vaste massif contient des près de 22 appareils volcaniques.

Le miocène post-nappe est discordant sur le miocène synchro-nappe, il affleure au niveau de l'agglomération Emir Abdelkader. Le pliocène discordant post-nappes est discordant sur le

miocène post-nappe constitué de grès jaunâtre mollassique (BOUCIF, 2006). Le quaternaire est représenté par le limon qui se dépose dans les courbes à fond plat.

2. Géologie des bassins intérieurs : formations favorisant la constitution des châteaux d'eau

La zone des bassins intérieurs présente une importante étendue. Les monts de Tlemcen, de Daya et de Beni Chougrane donnent à cette zone la constitution des châteaux d'eau les plus importants de l'Ouest Algérien. Chaque zone naturelle possède des formations géologiques différentes, karstiques et alluviales.

Les monts de Tlemcen : BENEST (1985) a décrit les formations géologiques d'âge jurassique supérieur qui représente l'affleurement le plus répandu dans les monts de Tlemcen, ils présentent des calcaires tarifait (kimméridgien supérieur), se sont des calcaires bleu à géodes déterminées (DOUMERGUE, 1910). Des grès de Boumediene (oxfordien supérieur, kimméridgien supérieur), se sont des grès ferrugineux à ciment calcaire représentés par une formation argilo-gréseux. Des dolomies de Tlemcen (kimméridgien terminal) caractérisent les grands escarpements, dominant Tlemcen et notamment les falaises d'El Ourit. Des dolomies de Terni (tithonien inférieur), sont des dolomies massives (50 m environs), bien exposées sur le plateau de Terni (DOUMERGUE, 1910) qui couvrent de larges superficies dans les environs de Terni où elles forment l'entablement terminal des plus hauts reliefs (Dj. Nador 1579 m). Des marno-calcaires de Raourai (tithonien basal). Des calcaires de Lato parfois dolomitiques, riches en favreina et dasycladacées. Des marno-calcaires de Hariga (tithonien supérieur), c'est une alternance de calcaire, de la micrite et des marnes à 165 m de Hariga et El-Gor. Des grès de Merchich composés d'une alternance d'argile rouge, de grès fins et de calcaire avec manchettes d'huîtres.

Généralement, les monts de Tlemcen sont constitués par des terrains mésozoïques et cénozoïques. Ces terrains sont fissurés, ce qui leur confère une grande perméabilité et une importance hydrogéologique par la circulation d'eau souterraine (COLLIGNON, 1987).

Les monts de Beni Chougrane : c'est un anticlinal faillé composé de formations du créacé supérieur moyen. Cet ensemble émerge dans un complexe miocène marin et continental (calcaire, argile, grès, marne). Ces monts sont allongés en arc de cercle en direction Sud-sud, Ouest et Nord-nord, Est, très plissés, à ossature créacé et recouvrement tertiaire très épais (OUIS, 2012).

Les monts de Dhaya : composés de formations jurassiques et créacés, ils constituent des anticlinaux rigides, peu plissés, mais très fracturés, surtout en bordure des dépressions.

La plaine de Maghnia : en raison de sa position géographique comprise entre le littoral au Nord et les monts de Tlemcen au Sud, hébergeant ainsi le grand cours d'eau de la Tafna. La coupe lithostratigraphique de cet affluent permet l'identification du jurassique supérieur autochtone présentant des conglomérats de bases, des marnes bleues, souvent gypseuses, ainsi que des alluvions et des conglomérats continentaux. Selon leur origine et leurs dynamiques, ces terrains quaternaires fournissent des substrats diversifiés : formations sableuses plus ou moins fixées sur le

littoral, quelques formations de grès calcaires (miocène ou pliocène) se rencontrent dans les monts de Tlemcen et sur le flanc Est des Traras (AIME, 1991).

La plaine d'Hennaya est constituée, dans son ensemble, de formations quaternaires et miocènes. Le miocène est représenté par les marnes et grès helvétiques, ainsi que les grès tortoniens qui sont fissurés jaunes à couches épaisses par endroits s'étagent au-dessus des marnes et grès helvétiques. Ils affleurent au Sud de la plaine d'Hennaya et sont en grande partie couverts d'alluvions. Les formations quaternaires de l'œuvre d'oued d'Hennaya ont un degré moins important que celui des oueds Sikkak et Khalouf. Les sédiments quaternaires sont variés (conglomérats, graviers, graviers argileux, argiles calcaires, croûtes calcaires et travertins).

La plaine de Sidi Bel Abbes par sa position géographique, donne un aspect d'une dépression remblayée par des formations quaternaires et plio-quaternaires, limitée au Nord et à l'Est par des terrains post-crétacés et au Sud par des terrains jurassiques et crétacés. Le centre de la plaine est une large cuvette à substratums uniformes argilo-marneux, datés du miocène ou du pliocène. Le remplissage argilo-sableux plio-quaternaire contient une nappe exploitable dont le débit des eaux est proportionnel aux pourcentages d'éléments sableux et argileux présents. Les chenaux conglomératiques situés le long des oueds Tissef et Mekerra constituent la zone la plus importante de la nappe aquifère. L'épaisseur des conglomérats peut atteindre 38 m dans l'axe des chenaux (SOURISSEAU, 1973).

3. Zone sub-steppique marquée par des substrats du quaternaires sous forme de vaste étendue tabulaire

Au niveau de l'espace sub-steppique, il forme une zone tabulaire, des sols peu profonds, avec une assise de couches calcaires (encroûtement calcaire). Le substrat du quaternaire est de trois types : un continental, l'autre marin littoral et sableux, le dernier lagunaire riche en évaporites (CHAABANE, 1993). Le quaternaire constitue la vaste étendue tabulaire est représenté par deux formations : les alluvions quaternaires anciennes et le quaternaire récent.

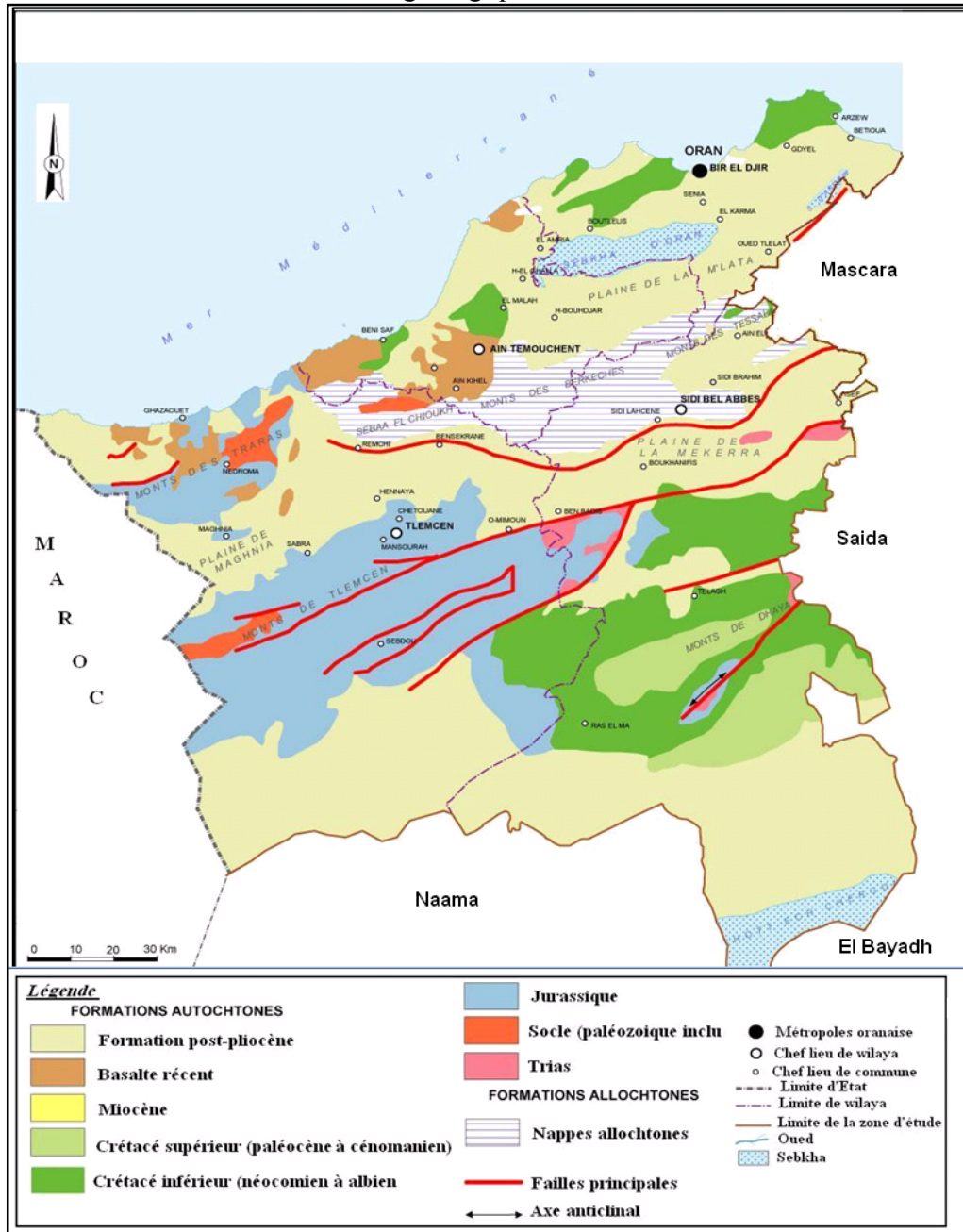
Généralement, selon le contexte géologique de la zone d'étude, on peut dire que les formations géologiques de cette zone influent sur la répartition des écoulements superficiels et l'infiltration des eaux. En effet, une zone de matériaux très perméables assurant une meilleure infiltration des eaux pluviales, par contre une zone d'imperméabilité, mais meuble et érodable, comme les marnes et les argiles avec une végétation moyenne, favorise le ruissellement des eaux.

Les zones de plaines sont constituées essentiellement de formations perméables à semi-perméables représentent un siège important d'alimentation des nappes alluviales. Les alluvions plio-quaternaires et quaternaires surmontant les marnes et grès miocènes au niveau de la plaine de Maghnia donnant à cette plaine l'aspect d'infiltration et de risque de la pollution de la nappe. Les grès tortoniens, les grès de Boumediene et les alluvions au niveau de la zone de Tlemcen sont perméables. Les alluvions quaternaires et les poudingues calcaires lacustes du pliocène continental de la plaine de M'leta et de la plaine d'El Maleh ont une perméabilité importante, facilitent l'infiltration et la recharge de la nappe.

Les limons, marne, argile, sableuses, croûtes calcaires, conglomérats des terrasses des oueds du quaternaire ainsi que les dépôts caillouteux et limoneux à intercalations de lentilles sableux ou conglomératiques du plio-quaternaire récent au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbas présentent une texture perméable, ces deux formations recouvrent un complexe argileux sableux contenant la nappe alluviale de la plaine, ce sont les meilleures zones d'exploitation d'eau.

Cette diversité topographique, lithologique et les mouvements tectoniques sont les causes principales de la mise en place d'un réseau hydrographique développé.

Carte 6. Carte géologique de la zone d'étude



Source : ANAT, 2005

IV. L'hydrographie : la genèse du relief est la cause principale de la mise en place d'un réseau hydrographique

La diversité de relief dans la zone d'étude, des massifs montagneux et plaines littorales et d'intérieurs, ainsi que la nature des formations lithologiques meubles et consolidées, donnent naissance à un réseau hydrographique diversifié et très développé, divisé aux trois grands bassins versants : le bassin de la Tafna, les bassins côtiers Oranais et le bassin de la Mekerra. Nous allons présenter les caractéristiques des bassins-versants, ceci est nécessaire afin de délimiter l'aire de drainage des rejets des eaux usées.

1. Le bassin de la Tafna : un réseau à écoulement permanent et une surface importante favorise des ressources en surface importantes

Le bassin-versant de la Tafna s'étend sur la totalité de la wilaya de Tlemcen, sur une superficie de 7 245 km². Selon la nouvelle structuration des unités hydrologiques en Algérie, le bassin-versant de la Tafna appartient à l'ensemble de l'Oranie–Chott Cherguie. Globalement, ce bassin peut être subdivisé en trois grandes parties, la partie orientale avec ses principaux affluents l'oued Isser et l'oued Sikkak, la partie occidentale comprenant la haute Tafna (oued Sebdou et oued Khemis) et l'oued Mouillah et la partie septentrionale qui débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rachgoune, embouchure de la Tafna sur la mer. Les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun sont les principaux affluents de cette partie.

Les plaines du bassin de la Tafna s'étendent aux pieds des monts de Tlemcen en avant des massifs de Traras et du Tessala, elles sont entourées de massifs aux reliefs élevés dessinant un édifice régulier. Les monts des Traras au Nord-ouest dressent une barrière entre le bassin et la mer. L'oued Tafna est un cours d'eau de 170 Km de long, il prend sa source dans les monts de Tlemcen. Le cours d'eau de cet oued peut se subdiviser en trois parties : la haute Tafna, la moyenne Tafna et la basse Tafna.

La haute Tafna : il prend naissance dans les Ouled Ouriach et s'affirme après la jonction d'un grand nombre de ramifications creusées dans les terrains jurassiques et descend de crêtes atteignant 1 500 m. Ces ramifications se réunissent aux environs de Sebdou à une altitude d'environ 900 m. À partir de cet endroit et jusqu'à Sidi Medjahed, l'oued suit un cours dans une vallée encaissée creusée dans les terrains jurassiques. Dans cette région montagneuse, l'oued Tafna reçoit l'oued Khemis (rive droite) et l'oued Sebdou (rive gauche) (BOUANNANI, 2004).

La moyenne Tafna : à partir de Sidi Medjahed, l'oued pénètre dans le bassin tertiaire et coule dans une vallée peu profonde dans des terrains plus ou moins argileux, cette partie du bassin tertiaire est sillonnée par de nombreux affluents parmi lesquels certains sont importants :

- Sur la rive gauche : les affluents sont moins importants que sur la rive droite, seul l'oued Mouillah qui prend naissance au Maroc est remarquable par son parcours et son débit. L'oued Boukiou, moins important, prend naissance dans les monts des Traras pour rejoindre le cours de la Tafna dans la plaine du Ghossel.

- Sur la rive droite : la Tafna reçoit l'oued Boumessaoud, l'oued Zitoun et enfin l'oued Isser, le plus important affluent par son long parcours que par son fort débit. L'oued Isser prend naissance dans les terrains jurassiques, des monts de Tlemcen et s'étend ainsi vers l'Est de la région de la haute Tafna. À son entrée dans le bassin tertiaire, il est grossi au Nord d'Ouled Mimoun par l'oued Lakhdar (Ex : Chouly) (rive gauche) et l'oued Aïn Tellout (rive droite). Au Nord de la plaine d'Ouled Mimoun, il traverse la petite plaine d'El Fehoul. À l'extrémité occidentale de cette plaine, il reçoit sur la gauche un cours d'eau assez important : l'oued Sikkak, descendu du plateau de Terny.

La basse Tafna : le cours inférieur de la Tafna s'étend depuis les gorges de Tahouaret vers le village de Pierre Chat jusqu'à la plage de Rachgoune en mer Méditerranée, sur une distance de 20 km. Les sous-bassins de la Tafna présentent, dans l'ensemble, une forme assez ramassée, favorisant, à priori, le temps de concentration des eaux de ruissellement.

Les bassins d'oued Sebdou et d'oued Khemis présentent des densités de drainage élevées, indiquent que ces bassins sont bien drainés.

Les bassins d'oued Isser et d'oued Sikkak présentent des densités de drainage moyennes, par contre les bassins d'oued Mouillah et d'oued Chouly ont des densités de drainage faibles, indiquent la perméabilité des formations. L'importance du drainage est due, principalement, à la nature des formations qui forme les bassins, ainsi qu'aux pentes assez fortes des versants.

Les valeurs de la densité de drainage sont faibles dans la zone de plaines : en raison de pentes faibles auxquelles la perméabilité est non-négligeable des formations lithologiques. Par contre, la valeur de la densité de drainage est élevée dans le bassin de Khemis (3.22 km/km²) où se conjuguent un très fort relief et une faible perméabilité des affleurements carbonatés, gréseuses, schisteuses.

2. Les bassins côtiers Oranais : constitués par quatre sous-bassins versants

Ils sont limités au Nord par la Méditerranée, à l'Ouest par les bassins du côtier occidental et la Tafna, à l'Est par les bassins du côtier oriental et la Macta, au Sud par le bassin hydrographique du Chott Chergui. Le bassin-versant du côtier Oranais central est constitué de quatre principaux sous-bassins versants, le bassin du côtier d'Ain Témouchent, le bassin du côtier les Andalouses, le bassin de la sebkha d'Oran et le bassin d'Arzew. Ils sont présentés en tableau 1.

Tableau 1. Les bassins versants du côtiers Oranais

Code BV/SBV	Nom bassin versant et sous bassins versants	Superficie (km ²)
0402	Côtier d'Ain Témouchent	1203
0403	Côtier les Andalouses	395
0404	Sebkha d'Oran	801
0405	Sebkha d'Arzew	2211

Source : ANRH, 2015

Du point de vue morphologique, le bassin versant du côtiers Oranais central a une superficie de 4610 km², un périmètre de 462.4 km, son altitude maximale est 1 061 m et l'altitude minimale est de 50 m, caractérisé par une forme allongée d'après l'indice de compacité (Kc égal à 1.9), et un relief très faible un dénivelé spécifique Ds de 5.56 m. Le réseau hydrographique est caractérisé par une faible densité de drainage (Dd égal à 0.73 km/km²), à cause des faibles cours d'eau existant dans le bassin et par un temps de concentration long Tc égal à 19.19 h.

Le bassin du côtier d'Ain Témouchent est très varié, nous pouvons distinguer le bassin d'Oued Sassel, d'Oued Bouzedjar, d'Oued El Hallouh et dont le plus important est celui d'Oued El Maleh. Le bassin-versant d'Oued Sassel est une vallée en gorge, il s'étend sur une superficie de 92 km² d'une direction Est vers l'Ouest, leur embouchure donne à la plage de Sassel. Le bassin-versant d'Oued El Hallouf s'étend sur une superficie de 220 km², il présente la direction Sud vers le Nord, l'amont du bassin est d'une altitude de 593 m, leur embouchure donne à la plage de Chat El Hillal. Le bassin-versant d'Oued Bouzedjar s'étend sur une superficie de 27 km², il présente une forme circulaire, il se caractérise par des pentes fortes en amont et des faibles pentes en aval du bassin (BENTEKHICI, 2005). Oued El Maleh s'étend sur une superficie de 787 km² et d'un périmètre de 151 km, il prend sa naissance des monts de Tessala, il présente une forme allongée, ce qui traduit des faibles débits de pointe de crue. L'Oued El Maleh a un cours d'eau de 54.18 km de long, l'amont du bassin est caractérisé par une rupture de pente entre les altitudes 350 et 400 m, reflétant ainsi une structure particulière du sol, suivie vers l'aval par une pente douce. La densité de drainage au niveau d'Oued El Maleh est de 1.79 km/km², ce qui détermine la présence des formations géologiques perméables, donc un ruissellement peu limité et une infiltration augmentée, l'embouchure de l'Oued El Maleh donne à la plage de Terga (BENTEKHICI, 2008).

Le bassin du côtier les Andalouses : la liane septentrionale du sahel d'Oran est creusée de petites vallées au fond desquelles coulent des oueds comme : l'oued Hammadi formé de tout un réseau de ravins creusés dans les marnes tertiaires, dont quelques-uns prennent naissance dans le massif ancien, qui forme la crête du sahel d'Oran. La vallée des Andalouses s'étale, avant son embouchure, en une plaine qui se prolonge dans l'Est jusqu'au Cap Falcon et au Dj. Santon.

Le bassin de la sebkha d'Oran : il est limité au Nord par les monts de Murdjadjo et au Sud par les monts de Tessala, il s'étend sur une superficie de 1610 km². L'écoulement des eaux provient des massifs de Murdjadjo, où on retrouve de nombreux oueds tels qu'oued Mesregline, oued El Dalia, oued Sidi Mediou. Le réseau qui provient des monts de Tessala est constitué par les oueds Tlélât, Tafraoui, Tamazoura, El Besbes et El Ghassoul. Le bassin de la sebkha est divisé en deux parties, l'une représente le bassin des monts de Tessala d'une direction Ouest-sud et Est-nord, s'étend sur une superficie de 599.6 km², et l'autre partie du bassin présente le bassin méridional du Murdjadjo au Nord de la sebkha d'Oran, entaillé de série de vallées calcaires ayant l'allure de canons profonds jusqu'à 100 m (BELHALOUI, 1999).

3. Le bassin de la Mekerra : fait partie du grand bassin de la Macta, subdivisé en trois grandes sections

Le bassin-versant de l'oued Mekerra, fait partie du grand bassin de la Macta répertorié (11) par l'ANRH. Il est limité au Nord par la chaîne du Tessala (segment occidental de l'Atlas tellien), au Sud par le massif tabulaire de Tlemcen et Saida (bordure septentrionale des hauts plateaux). Il se raccorde à l'Est à la plaine de Mascara et à l'Ouest au bassin de l'oued Isser.

L'Oued Mekerra (axe de drainage) avec une longueur de 126 km (de Ras El Ma jusqu'à la ville de Sid Bel Abbas) reçoit de nombreux affluents représentés principalement par les oueds: Tissaf, Tedjmout, Faid El Taga, Tuifza et Mzi, qui s'écoulent sur le versant Ouest du bassin, et ceux de l'Oued Skhouna, Oued Smar, Faretelzit et Elkhatoua qui drainent la partie Est du bassin. Ce bassin est d'un périmètre de 280 km. La forme du bassin influe sur l'écoulement et sur l'allure de l'hydrogramme de crue à l'exutoire du bassin-versant. L'indice de compacité de Gravellius Kc égal à 1.43, ce qui traduit la forme allongée du bassin. La densité de drainage est de 1.3 km/km² pour l'ensemble du bassin, cela traduit un chevelu peu dense et des formations perméables.

Le réseau hydrographique de la Mekerra est représenté, fréquemment, par des cours d'eau temporaires. Les oueds sont alimentés par des précipitations et par des sources, dont la plus importante est localisée à Sidi Ali Benyoub. Tous ces oueds rejoignent l'oued Mekerra, il traverse la ville de Sidi Bel Abbas en aval, où il conflue avec oued Sarno et devient oued Mebtouh, rejoint le barrage de Cheurfa. Dans son système fluvial, le bassin-versant de l'oued Mekerra est subdivisé en trois grandes sections, en fonction de leur rôle, la zone de réception ou de production des crues, la zone de transfert de Mouley Slissen à Boukhanifis et enfin la zone d'expansion des crues de Boukhanifis à Sidi Bel Abbas.

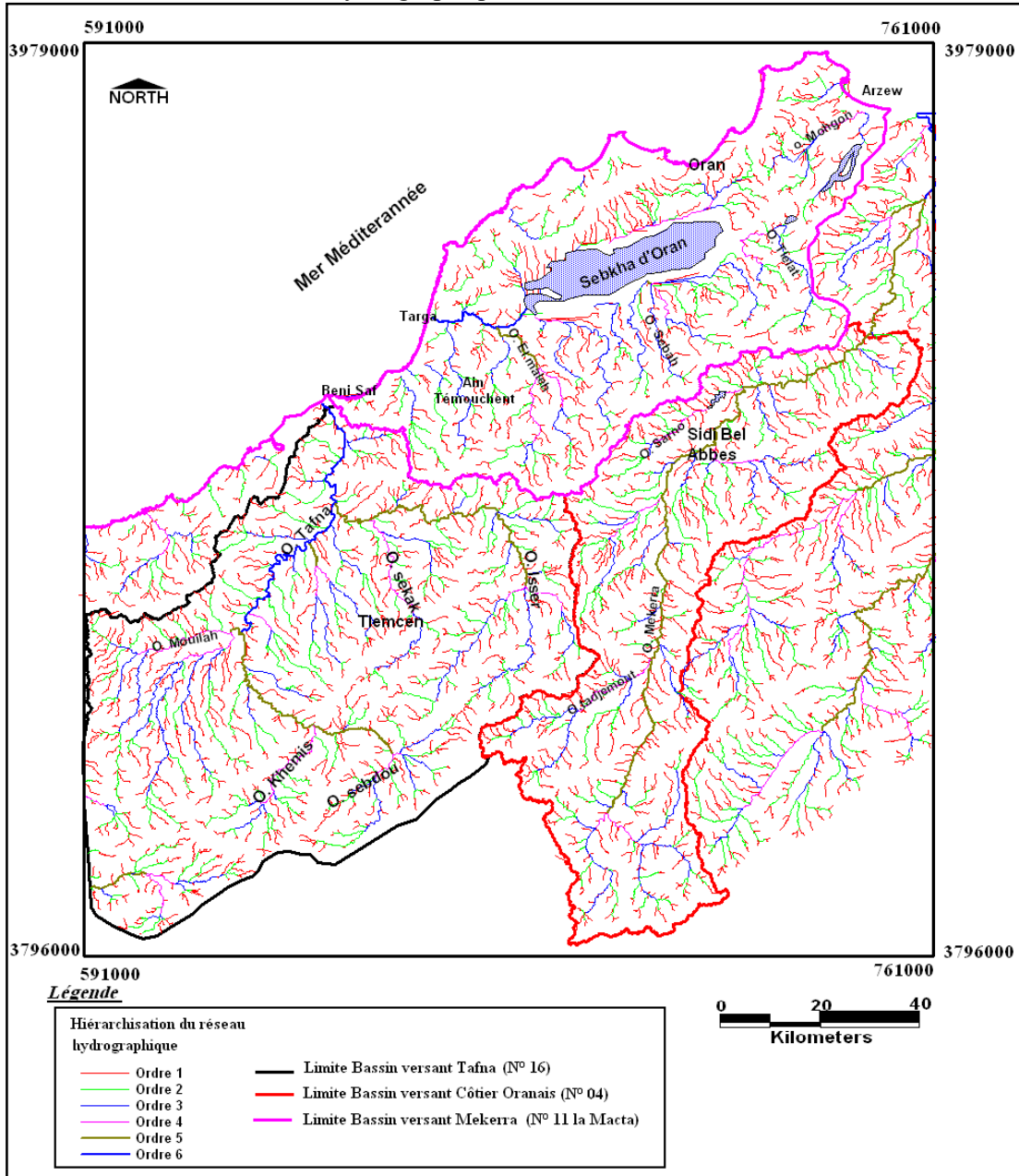
*« **La zone de réception** est comprise entre la source de l'oued Ras El Ma et l'agglomération Mouley Slissen, et correspond à la partie supérieure montagneuse du bassin-versant où se forment généralement les crues en réponse à des précipitations intenses. De forme allongée Sud-nord en fonction de l'organisation du réseau hydrographique. Celui-ci est particulièrement dense et composé d'oueds intermittents et de ravins drainant des vallons encaissés, qui confluent vers la vallée principale plus large » (BENYAHIA, 2011).*

*« **La zone de transfert** : le bassin de réception est relayé par une section de gorges, qui assure le transfert des débits liquides et solides vers l'aval du bassin-versant. Sur ce tronçon, les différents lits s'individualisent et l'oued principal présente un chenal unique qui méandre au fond de la vallée au sein d'une petite plaine alluviale étroite et encaissée, d'environ 3m, dominée par les versants rocheux. Au niveau de Sidi Ali Benyoub, l'oued quitte les massifs montagneux et poursuit son cheminement jusqu'à Boukhanifis, qui fait partie de la zone de transfert et la vallée conserve ainsi son profil en gorge » (BENYAHIA, 2011).*

*« **Zone d'expansion des crues** : ce secteur est situé à l'aval de Boukhanifis, où la vallée change brutalement de forme, la vallée, encaissée et étroite, s'ouvre très rapidement d'une dizaine de mètres, tandis que l'encaissement général se réduit. C'est à partir de la localité de Boukhanifis que commence la vraie plaine alluviale de la Mekerra, qui constitue un vaste champ d'épandage*

de crues. Elle s'étend jusqu'à Sidi Bel Abbès ville, où elle est fermée par des collines de marnes et de grès miocène (au lieu-dit le Rocher). Dans cette plaine, la dynamique des écoulements est liée aux faibles pentes transversales, qui divergent à partir du lit mineur, celui-ci est perché au-dessus du lit majeur, dans une configuration de lit en "toit". La faiblesse de la pente favorise le développement de chenaux multiples et l'accumulation des sédiments, d'où un exhaussement progressif du plancher alluvial » (BENYAHIA, 2011).

Carte 7. Carte du réseau hydrographique et des bassins versants de la zone d'étude



Généralement, cette mosaïque des bassins-versants offre des potentialités hydrauliques appréciables, qu'il s'agit de valoriser durablement, mais malheureusement, ces cours d'eau sont devenus des collecteurs de différents déchets solides et liquides, conduisant à la dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines.

L'écoulement de ces cours d'eau est caractérisé par de fortes irrégularités inter mensuelles et inter annuelles et par des crues à forts débits instantanés. En période sèche, ces cours d'eau sont alimentés par les rejets des eaux usées urbaines, à cet effet, la dégradation de la qualité des ressources en eau est assez importante. L'étude climatique permettra de mieux comprendre l'importance relative de chacun de facteurs de l'écoulement et des contraintes naturelles.

V. Une région à climat méditerranée semi-aride

La variabilité et les changements climatiques ont un effet sur les niveaux d'eau des aquifères et des plans d'eau de surface, puisque les eaux souterraines constituent un élément important du cycle hydrologique, on peut donc prévoir qu'elles seront touchées par tous les changements climatiques sur les plans suivants : nature du processus d'alimentation, type d'interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface et changements dans l'utilisation de l'eau (l'irrigation par exemple).

Les variations de la température et des précipitations modifient l'alimentation des aquifères, ceci traduit par une fluctuation des niveaux dans les aquifères libres (CHANGNON et al., 1988). La réduction de l'alimentation des nappes souterraines n'influera pas seulement sur l'approvisionnement en eau, mais probablement aussi sur la qualité de l'eau. De plus, en raison de la variation du débit de base des cours d'eau, des effets environnementaux nuisibles apparaîtront. Ainsi, qu'une réduction du volume d'eau emmagasinée dans les aquifères, accompagnée d'une possibilité d'affaissement accru des terrains.

D'un point de vue régional, la compréhension des effets de la variabilité et des changements climatiques sur les eaux souterraines, en termes de la disponibilité, la vulnérabilité et la durabilité de l'eau douce, sont importantes. Il est nécessaire d'analyser les variations annuelles et mensuelles des paramètres précipitations et températures, ainsi que calculer le bilan hydrique.

Les changements spatio-temporels de la température et des précipitations peuvent modifier les conditions hydrauliques limites à la surface d'un aquifère et, en bout de ligne, le bilan hydrique de ce dernier. Ainsi, les variations du volume des précipitations, leurs rythmes et le type des précipitations sont tous des facteurs clés qui déterminent le volume et le rythme d'alimentation des aquifères.

La baisse des niveaux d'eau que les sécheresses entraînent n'est pas seulement attribuable à une pluviosité réduite, mais aussi à une évaporation accrue et à une infiltration moindre, qui peut se manifester à cause de l'assèchement de terres arables. Des précipitations extrêmes (fortes pluies et tempêtes) peuvent se traduire par une alimentation réduite des nappes d'eau souterraine, car les eaux de précipitations seront en grande partie perdues par ruissellement. Les variations de la

température et des précipitations, ainsi que d'autres facteurs comme la vitesse du vent, ont un effet sur l'évapotranspiration et sur l'infiltration.

Le climat de la région Nord-ouest Algérienne appartient au climat méditerranéen, selon les études de HOUEROU (1976 et 1979). Des pluies concentrées pendant la saison fraîche, entre le mois d'octobre à avril, elle croit avec l'altitude selon un gradient de l'ordre de 20 à 25 mm pour 100 m entre les isohyètes 100 mm à 400 mm. Les températures dépendent de la latitude, de la dénivellation et de la continentalité. Le climat de cette zone a fait l'objet de nombreuses études analytiques et synthétiques, par BAGNOULS et al., (1953) ; EMBERGER (1955); BOTTNER (1981). Les travaux récents sont d'AIME (1991) ; KASBADJI MERZOUK (1994); MAHBOUBI (1995) ; BENABADJI et BOUAZZA (2000). Ces études ont pour objectif de connaître l'intégration de ce climat au climat méditerranéen, caractérisé par une saison sèche et chaude coïncidant avec la saison estivale et une saison froide et pluvieuse en coïncidence avec la saison hivernale.

Dans le cadre de notre analyse climatique de la région Nord-ouest de l'Algérie, nous nous intéressons à étudier les paramètres précipitations, températures et le vent. Ces derniers influencent grandement sur le degré et le risque de la pollution dans la zone. Le ruissellement et l'infiltration dépendent des pluviométries, la décomposition des polluants est liée à la température et le transport des déchets solides et les biogazs se font par les vents. Pour la réalisation de cette étude, nous avons choisi quatre stations météorologiques, d'une série de données des précipitations et des températures entre 1987 et 2012. Deux stations sont localisées au niveau de la zone littorale et les autres sont localisées dans la zone des bassins intérieurs, dans le but de voir les changements du climat entre les deux zones naturelles. Stations d'Es Senia et de Beni Saf au niveau de la zone littorale, d'une altitude faible, et les stations de Zenata (Tlemcen) et de Sidi Bel Abbas dans la zone des bassins intérieurs, d'une altitude élevée (tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques des stations météorologiques étudiées

Stations	Longitudes	Latitudes	Altitudes
Es Senia	00°36'	35°38'	90
Beni Saf	-1°21'	35°18'	70
Zenata (Tlemcen)	-1°27'	35°01'	810
Sidi Bel Abbas	00°37'	35°12'	475

Source : ONM, 2015

1. Les variations inters annuelles des précipitations : la répartition spatiale dépend de l'altitude, de l'éloignement de la mer et augmente de l'Est à l'Ouest

La pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs, GAUSSEN (1918-1947) ; MEDINGER (1913-1953) ; CHAUMONT et PAQUIN (1913-1963). Le but de cette étude pluviométrique annuelle est d'analyser la répartition spatiale des précipitations dans la zone d'étude et voir les zones de fortes précipitations. Pour ce faire, nous avons utilisé les données des précipitations moyennes annuelles de 44 stations réparties dans la zone d'étude.

La connaissance de la moyenne annuelle pluviométrique demeure nécessaire pour aborder l'étude de l'écoulement des eaux et l'infiltration, qui ont un grand rapport avec le degré et le type de la pollution. Elle permet également de cerner la variabilité des pluies sur une longue période. Les résultats de cette analyse sont résumés en tableau 3 et présentés en carte 8.

Tableau 3. Précipitations moyennes annuelles des stations météorologiques

Stations météorologiques	Precipitations moyennes mm/an	Période d'observation
MEFROUCHE	660	1950 - 2010
LALA SETI	595	1950 - 2010
BENI BAHDEL	480	1950 - 2010
H. BOUGHRARA	270	1950 - 2010
SEBDOU	377	1950 - 2010
BENI OUASSINE	285	1950 - 2010
HENNAYA	420	1950 - 2010
CHOULY	470	1950 - 2010
SEBRA	400	1950 - 2010
BENSEKRANNE	424	1950 - 2010
O. MIMOUN	396	1950 - 2010
KHEMIS	460	1950 - 2010
REMCHI	370	1950 - 2010
ZENATA	322	1950 - 2010
MAGHNIA	300	1950 - 2010
SIDI MEDJAHED	337	1950 - 2010
EL ARICHA	207.8	1987 - 2004
GHAZAQUET	335.7	1980 - 2011
BOUSFER	305.44	1986 - 2006
ES SENIA	316.35	1986 - 2006
BOUTELLILIS NORD	305.63	1986 - 2006
MESREGHINE	303.47	1986 - 2006
ORAN ANRH	334.77	1986 - 2006
BOUFATIS	280.18	1986 - 2006
GDEYEL	256.66	1986 - 2006
ARZEW	330.6	1981 - 2010
TAFRAOUI	270.9	1980 - 2010
EL AMRIA	257.9	1979 - 2010
HAMMAM BOU HADJAR	370	1977 - 2004
AIN TEMOUCHENT	360	1970 - 2007
BENI SAF	368	1981 - 2008
SIDI BEL ABBES	331.61	1968 - 2005
SIDI ALI BEN YOUB	328.19	1968 - 2005
RAS EL MA	275.66	1968 - 2005
HACAIBA	289.08	1968 - 2005
LAMTAR	341.43	1968 - 2005
AIN TRID	397.38	1968 - 2005
SIDI LAHCEN	270.49	1968 - 2005
TABIA	347.93	1968 - 2005
TELAGH	232.13	1968 - 2005
CHETOUANE	319.14	1968 - 2005
TESSALA	309.3	1964 - 2010
BEN BADIS	318.1	1980 - 2010
SFISEF	390	1974 - 2004

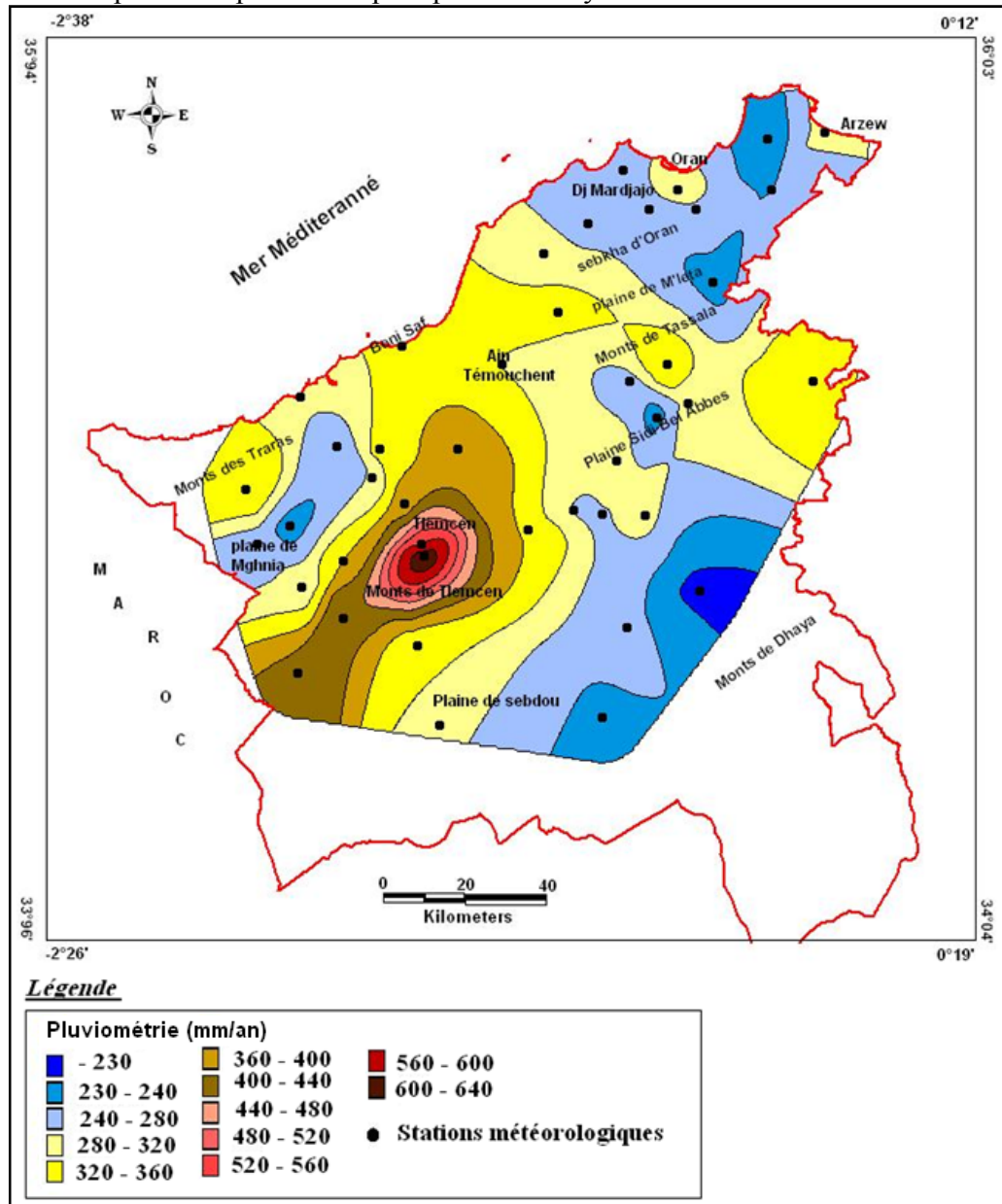
Source : ONM, 2015

Tous les auteurs qui ont étudié la pluviométrie en Algérie montrent que la répartition de la pluie subit quatre influences, celle de l'altitude, les conditions topographiques, la longitude et enfin l'éloignement à la mer. Ainsi, SELTZER (1946) a montré que cette répartition obéit aux trois lois suivantes :

- La hauteur de pluie augmente avec l'altitude, mais elle est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides que sur les versants sous le vent comme le cas des monts de Tlemcen, où nous trouverons des précipitations dépassent 600 mm/an.
- Elle augmente de l'Est à l'Ouest.
- Elle diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral, comme le cas des plaines sub-steppiques où les précipitations sont moins de 230 mm/an.

La carte de la répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles (carte 8) présente clairement que les pluies sont faibles au niveau des plaines de Maghnia, Sidi Bel Abbes et Gdeyel. Une région de fortes précipitations au niveau des zones où les altitudes sont élevées (monts de Tlemcen et monts de Tessala). Ces zones présentent une zone d'alimentation importante de la nappe, par contre les faibles précipitations conduites à un bassement des eaux, qui nécessite une grande surveillance de la qualité des eaux, notamment au niveau de la plaine de Maghnia, de Sidi Bel Abbes et de M'leta.

Carte 8. Répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles dans la zone d'étude



Source : ONM et traitement personnel, 2015

2. Les variations mensuelles et régimes saisonniers des précipitations : saison sèche du juin à août, saison humide avec une succession des mois humides et secs le reste de l'année

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionnent, en relation avec les facteurs thermiques, l'écoulement saisonnier, et par là même le régime des cours d'eau ainsi que l'infiltration (BOUANNANI, 2004). À cet effet, nous trouverons utile d'étudier les variations mensuelles de la précipitation, pour l'analyse de cette variation, nous avons utilisé les données climatiques de 4 stations météorologiques de la période 1987 et 2012 (tableau 2).

Le régime pluviométrique saisonnier est considéré comme un élément caractéristique du climat. Pour BELGAT (2001) l'intensité des pluies et leurs fréquences jouent un rôle prépondérant sur :

- La stabilité ou l'instabilité des sols, combinée aux facteurs physiques du sol, elle peut favoriser ou défavoriser la stabilité structurale du sol.
- Elles agitent sur la solubilité et la migration des nutriments dans le sol, en conséquence, elles participent à la répartition spatiale des espèces.
- Elles accélèrent ou elles bloquent l'évolution des matériaux organiques et minéraux, elles interviennent dans la formation des sols. Elles favorisent l'infiltration des polluants.

Les valeurs moyennes mensuelles pluviométriques relatives à la période (1987 - 2012) traduisent clairement les variations mensuelles et saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle. Ainsi, on peut distinguer deux périodes distinctes :

- Une période sèche qui correspond à la saison d'été (juin, juillet, août), caractérisée par un déficit pluviométrique bien marqué.
- Une période humide qui correspond au reste de l'année, cependant, il faut souligner que cette période est marquée par une succession de mois humides et de mois relativement secs.

Le mois le plus pluvieux diffère d'une station à une autre, le mois de février pour la station de Zenata, le mois de novembre pour la station de Beni Saf, de Sidi Bel Abbas et d'Es Senia. En outre, l'organisation des saisons n'est pas homogène dans la zone, elle dépend du régime pluviométrique propre à chaque secteur géographique. Pour les régions de (figure 1) :

- Tlemcen et Sidi Bel Abbas (bassin intérieur) : la saison pluvieuse s'étale d'octobre à avril.
- Oran et Beni Saf (zone littorale) : la saison pluvieuse s'étale de novembre à février.

Le maximum principal est centré sur le mois de novembre et février et atteint en moyenne 78 mm. Les minimas de juin, juillet et août ne dépassent pas 10 mm.

En termes impacts et conséquences des déchets solides et liquides, le régime saisonnier joue un rôle important dans le risque de la pollution. Durant la saison pluvieuse, nous remarquons une importante infiltration des lixiviats produits par les déchets solides et un ruissellement et un transfert important des eaux usées vers les plans d'eau et le littoral.

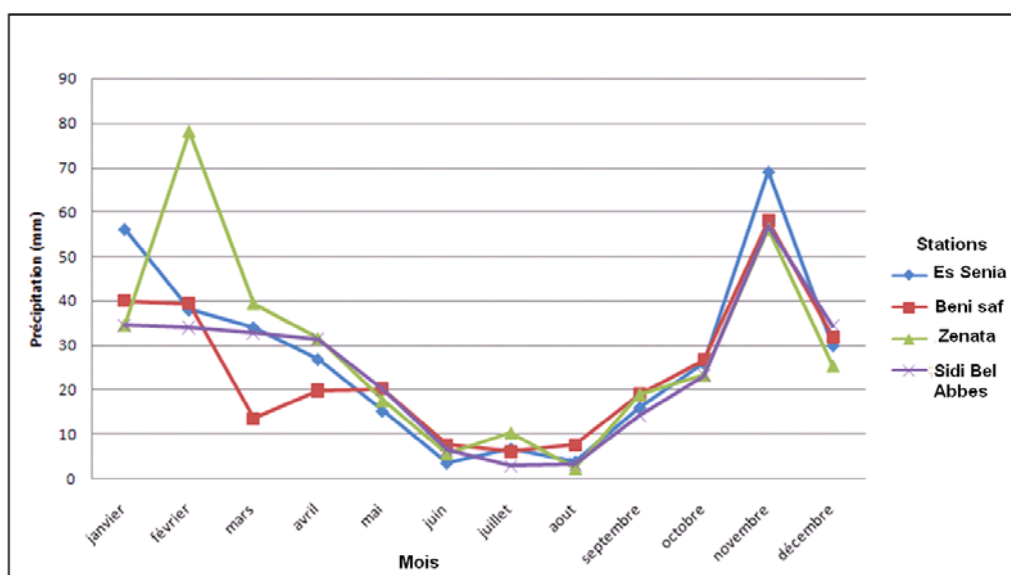
Par contre, durant la saison sèche, nous remarquons une décomposition des déchets solides et la production des biogazs, donc une pollution atmosphérique ainsi qu'une stagnation des eaux usées conduisent à une infiltration des polluants vers la nappe.

Tableau 4. Précipitations moyennes mensuelles des stations météorologiques (1987 -2012)

Stations	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Es Senia	56.16	38	34	26.9	15.2	3.56	6.77	3.9	16.09	25.88	69.1	29.98
Beni Saf	40.06	39.5	13.6	19.9	20.3	7.66	6.28	7.7	19.06	26.8	58.08	31.9
Zenata	34.53	78.15	39.4	31.5	17.5	5.68	10.31	2.3	18.96	23.25	56.15	25.36
Sidi Bel Abbas	34.45	33.9	32.6	31.3	20	6.52	2.92	3.35	14.21	23.14	56.75	34.34

Source : ONM, 2015

Figure 1. Variation mensuelle des précipitations moyennes (1987 - 2012)



3. Le régime thermique influe sur les ressources pluviométriques

Le régime thermique est un facteur climatique vital et déterminant dans la vie des végétaux. Il conditionne la durée de la période de vie des végétations, ainsi que la répartition géographique des espèces (BERRAYAH, 2006). Ce facteur contrôle en surface l'intensité des échanges mer-atmosphère (BOURAS et al., 2007). Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitation) et biogéographiques, sur le phénomène d'évapotranspiration et le déficit d'écoulement annuel et saisonnier et donc sur le transfert des polluants.

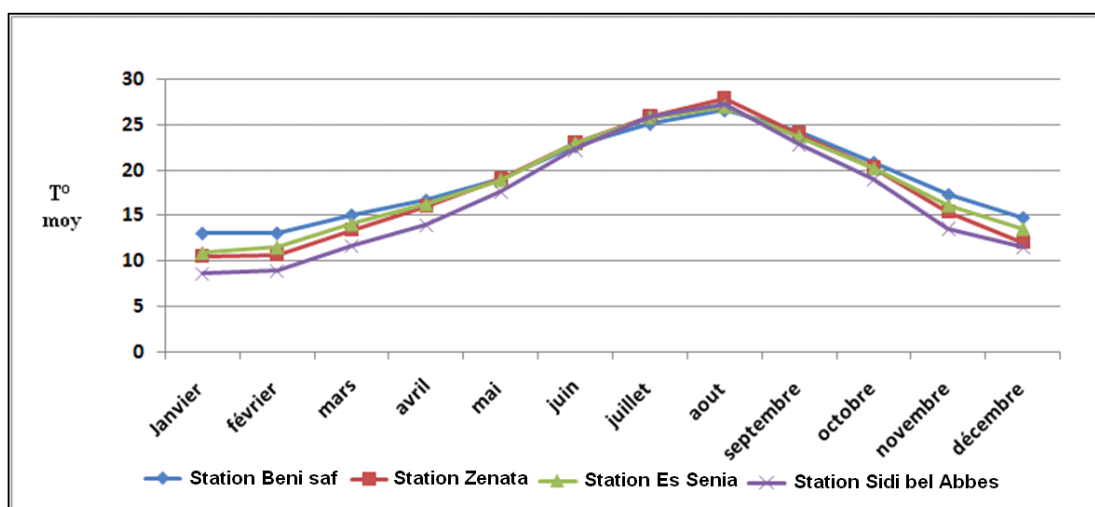
On dispose des données de températures moyennes mensuelles de quatre stations représentatives de la zone d'étude, avec les minimums et les maximums (tableau 5).

Tableau 5. Données des températures mensuelles (1987 - 2012)

	Station Beni Saf			Station Zenata			Station Es Senia			Station Sidi Bel Abbès		
	T° max	T° min	T° moy	T° max	T° min	T° moy	T° max	T° min	T° moy	T° max	T° min	T° moy
Janvier	16,28	9,9	13,09	16,12	4,96	10,54	16,82	5,1	10,96	15,24	2,06	8,65
Février	16,16	10,08	13,12	16,16	5,36	10,76	17,1	6,02	11,56	15,24	2,66	8,95
Mars	18,24	11,96	15,1	19,56	7,36	13,46	20,02	8,22	14,12	19,04	4,28	11,66
Avril	19,96	13,52	16,74	22,22	9,8	16,01	21,94	10,58	16,26	21,08	6,82	13,95
Mai	22	15,96	18,98	25,6	12,38	18,99	24,48	13,5	18,99	25,72	9,52	17,62
Juin	25,84	19,52	22,68	29,5	16,4	22,95	28,5	17,58	23,04	30,42	14,18	22,3
Juillet	28,2	22,12	25,16	32,68	19,26	25,97	30,96	20,76	25,86	34,52	17,06	25,79
Aout	29,82	23,46	26,64	34,92	20,84	27,88	32,98	21,14	27,06	36,12	18,32	27,22
Septembre	26,78	21,54	24,16	30,4	17,58	23,99	29,22	18,28	23,75	30,96	14,78	22,87
Octobre	23,98	17,84	20,91	26,32	14,32	20,32	26,14	14,34	20,24	26,38	11,54	18,96
Novembre	20,26	14,44	17,35	20,12	10,74	15,43	21,3	11,06	16,18	18,34	8,8	13,57
Décembre	17,9	11,74	14,82	17,3	6,84	12,07	18,52	8,72	13,62	17,17	5,82	11,49
Moyenne	22,11	16,00	19,06	24,24	12,15	18,19	23,99	12,94	18,47	24,18	9,65	16,91

Source : ONM, 2015

Figure 2. Variation mensuelle des températures moyennes (1987 – 2012)



Contrairement aux précipitations, les saisons thermiques semblent bien tranchées (figure 2). La saison chaude s'étend de juin à octobre, ce sont les mois durant lesquels les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, alors que la saison froide est de novembre à mai. Le maximum de température atteint en juillet et août, avec une moyenne entre 22° à 24°, alors que le minimum entre 12° à 16°.

La température moyenne mensuelle diffère d'une station à une autre, pour les stations de la zone littorale (Beni Saf et Es Senia) elle varie entre 10° et 27°, pour les stations de la zone des bassins intérieurs (Sidi Bel Abbes et Tlemcen) elle varie entre 8° et 27°. Les valeurs prises en considération sont celles ayant une signification biologique (EMBERGER, 1955) qui sont : la moyenne des minimums du mois le plus froid (m) et les moyennes des maximums du mois le plus chaud (M). Elles sont considérées comme des paramètres les plus importants pour la vie végétale. Pour les stations de la zone littorale (m) est de 5.1° (station d'Es Sénia), 9.9° (station Beni Saf), tandis que (M) est de 32.98° (station d'Es Sénia) et 29.82° (station de Beni Saf). Pour les stations de la zone des bassins intérieurs (m) est de 2.06° (station de Sidi Bel Abbes) et 4.96° (station de Zenata), tandis que (M) est de 36.12° (station de Sidi Bel Abbes) et 34.92° (station de Zenata).

Tableau 6. Températures, mois plus chaud (M) et mois plus froid (m)

Stations	M°	m°	M-m
Es Senia	32.98	5.1	27.88
Beni Saf	29.82	9.9	19.92
Zenata	34.92	4.96	29.96
Sidi Bel Abbes	36.12	2.06	34.06

Source : ONM et traitement personnel, 2015

DAPRACH (1953) a fait une classification thermique des climats, basée sur l'indice de continentalité (M-m). Cette classification est définie :

- un climat insulaire : $M-m < 15^{\circ}\text{C}$.
- un climat littoral par : $15^{\circ}\text{C} < M-m < 25^{\circ}\text{C}$.
- un climat semi – continental par : $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$.
- un climat continental par : $M-m > 35^{\circ}\text{C}$.

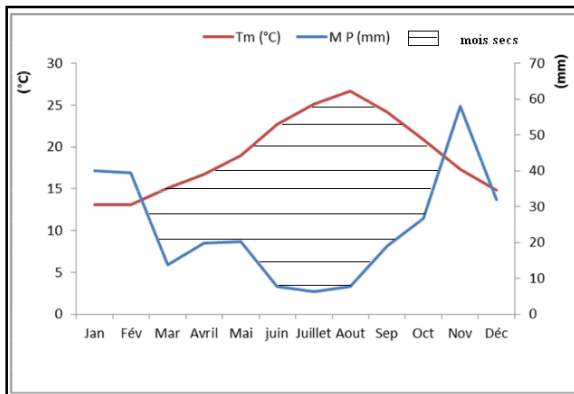
Selon cette classification, la station Beni Saf présente un climat littoral. Par contre, les autres stations présentent un climat semi- continental.

4. Variations climatiques à travers les diagrammes ombrothermiques : une forte tendance à l'aridité

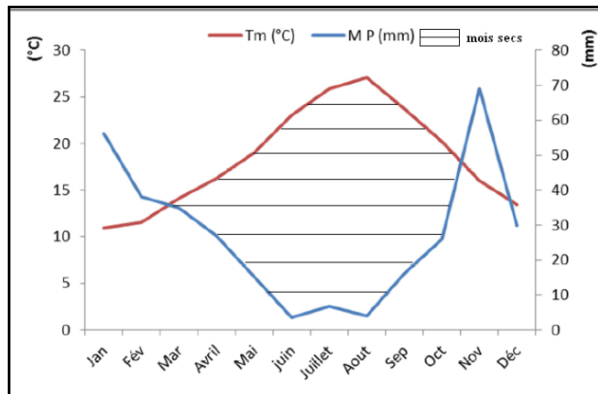
Le diagramme ombrothermique de GAUSSEM et BAGNAULT permet de définir les mois secs. Un mois est sec lorsque la courbe des températures (T°) est supérieure à celles des précipitations ($P=2T$). La partie du graphe comprise entre les courbes (T et P) traduit la durée et l'intensité de la sécheresse. De tels diagrammes établis à partir des moyennes n'ont qu'une valeur indicatrice du régime climatique et du nombre de mois secs.

Nous avons établi les diagrammes ombrothermiques pour l'ensemble des stations (période 1987 – 2012).

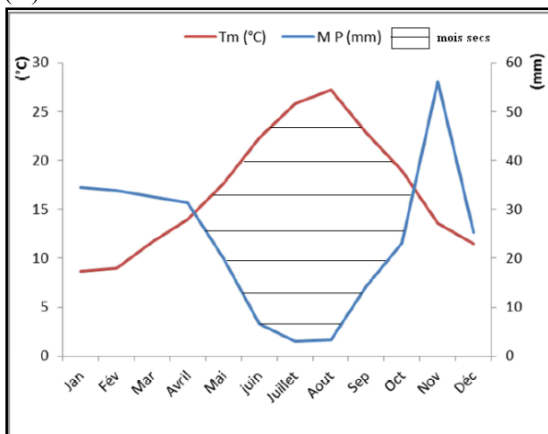
Figure 3 (A,B,C,D). Diagrammes ombrothermiques des stations (1987 - 2012)



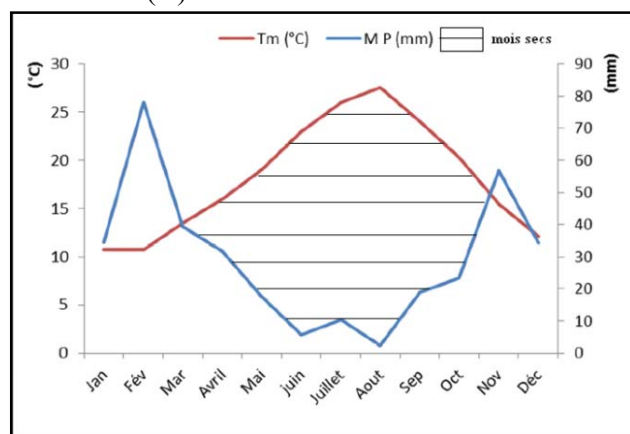
(A) station de Beni Saf



(B) station d'Es Senia



(C) station de Sidi Bel Abbès



(D) station de Zenata

L'analyse des courbes ombrothermiques des stations étudiées montre clairement le contraste net entre les mois secs et les mois frais, les mois secs représentent la saison déficitaire en pluviométrie. Pour la zone de Beni Saf, les mois secs s'étalent de mars à octobre, la zone d'Oran les mois secs s'étalent de mars à octobre, au niveau de la zone de Sidi Bel Abbès, les mois secs s'étalent d'avril à octobre et enfin pour la zone de Tlemcen, les mois secs s'étalent de mi-mars à octobre.

5. Le quotient pluviothermique d'EMBERGER (1930 - 1955) : un climat semi-aride

EMBERGER a établi un quotient pluviothermique «Q2» qui est spécifique au climat méditerranéen. Il est plus utilisé en Afrique du Nord. Le diagramme correspondant permet de déterminer la position de chaque station météorologique. Ce quotient a été formulé de la façon suivante :

$$Q2 = \frac{2000P}{M2 - m2}$$

P : Moyenne des précipitations annuelles (mm)

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud

m : Moyenne des maxima du mois le plus froid

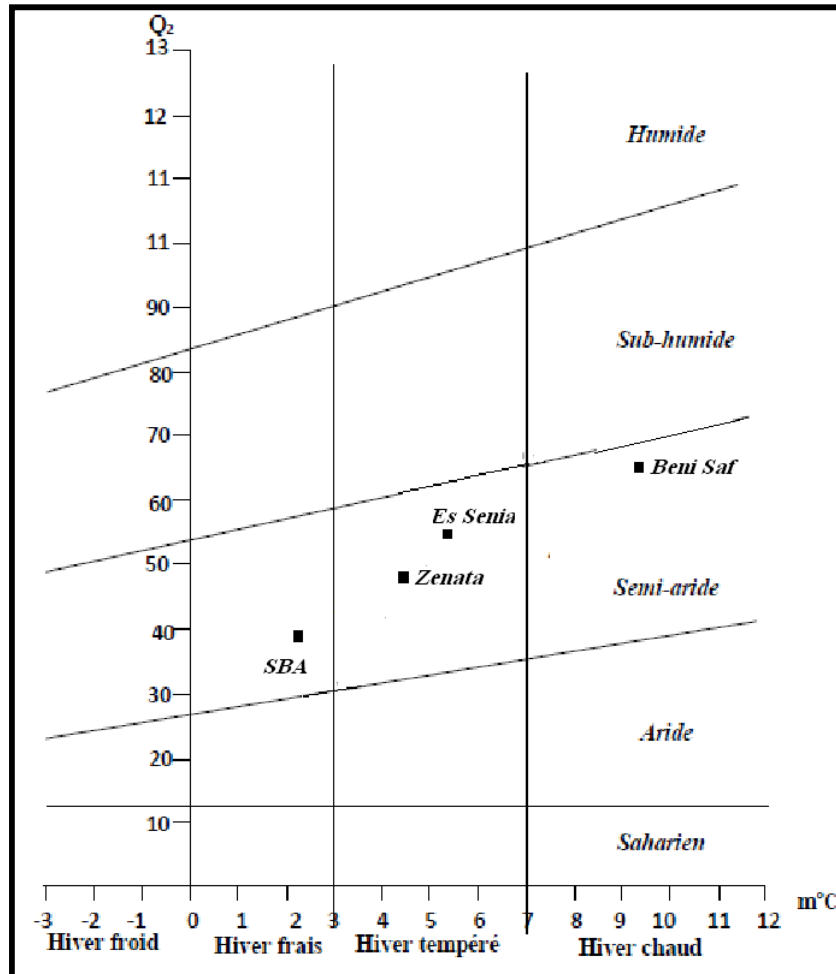
Tableau 7. Quotient pluviothermique d'EMBERGER Q2

Stations	M°	m°	P mm moy	Q2
Beni Saf	29.82	9.9	24.21	61.2
Es Senia	32.98	5.1	27.12	51.09
Sidi Bel Abbès	36.12	2.06	24.45	37.61
Zenata	34.92	4.96	28.59	47.85

Source : ONM et traitement personnel, 2015

À la lecture du climagramme d'Emberger (figure 4) nous observons que la station de Beni Saf se situe dans l'étage semi-aride à hiver chaud. En outre, nous remarquons que la station d'Es Senia se situe dans l'étage semi-aride à l'hiver tempéré. La station de Zenata est caractérisée par un climat semi-aride à hiver tempéré, par contre, la station de Sidi Bel Abbès se caractérise par un climat semi-aride à hiver frais. À partir de certaines valeurs de Q2 et « m », la végétation change, elle peut évoluer en même temps que le climat se modifie (ALCARAZ, 1969). Ces données montrent que le climat semi-aride domine toute la zone d'étude.

Figure 4. Climagramme pluviothermique d'EMBERGER(Q2)



Source : traitement personnel, 2015

6. Le régime des vents dominants : Nord-ouest et Nord sont les plus fréquents

Il est nécessaire de déterminer la vitesse moyenne arithmétique mensuelle annuelle pondérée, calculée sur un échantillon de plusieurs années, pour voir l'importance des vents. Les vents varient différemment selon la saison, la journée et l'année. Les variations saisonnières ou mensuelles de la vitesse du vent dépendent de la position géographique et les altitudes. Seulement les relevés météorologiques des paramètres vent sur une longue période peuvent caractériser ces variations (KASBADJI, 2006).

Dans ce cas, nous avons étudié les moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans les stations d'étude, relatives à la période 1987-2012, qui sont présentées dans la figure 5. Cette analyse se base, généralement, sur deux caractères principaux, la vitesse et la direction des vents. Au niveau de la zone de Sidi Bel Abbes, les vents dominants sont :

Les vents du Nord-ouest sont dominants à Sidi Bel Abbes, elles soufflent de 10 à 15 jours /mois, pendant toute l'année. Les vents du Nord sont fréquents sur toute l'année (4 à 5 jours / mois), les

vents les plus violents apparaissent entre octobre et mars. Les vents de l'Ouest caractérisent l'hiver (7 à 10 jours /mois), enfin les vents du Nord-est sont observés en saison d'été (7 à 8 jours /mois).

Le sirocco est un vent très sec et très chaud, souffle du Sahara vers le littoral. Il dure près d'une semaine annuellement dans la région semi-aride de l'Ouest Algérien et n'atteint au maximum qu'une quinzaine de jours en Juillet et Août. Ces dernières années, il a la tendance de se manifester d'une manière plus importante. Il souffle environ une vingtaine de jours par an, notamment en juillet et août, quelquefois durant le mois d'avril et atteint aux maximums vingt-cinq jours.

Au niveau de la zone littorale de Beni Saf, elle est caractérisée par des vents d'Ouest qui soufflent toute l'année et sont dynamiques durant la journée à partir de 9h, les vitesses des vents sont élevées en mois d'août et septembre, janvier et février.

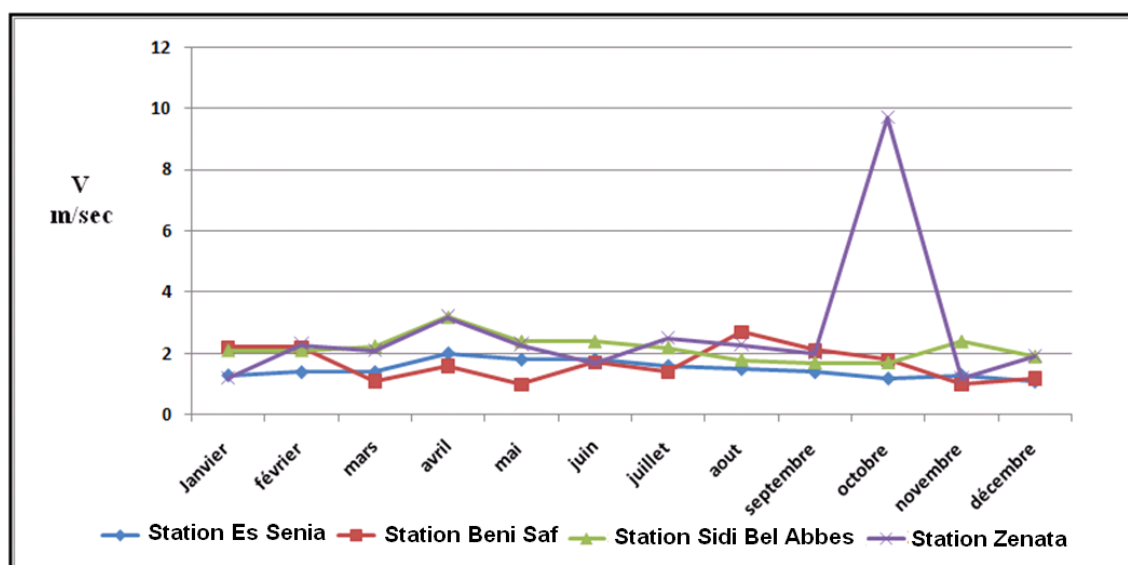
Pour la zone de Tlemcen, les vents dominants sont souvent humides et sont en provenance du Nord-est et du Nord-ouest. En effet, au cours de la journée, la terre se réchauffe plus vite que la mer. Au-dessus de la surface terrestre la chaleur se propage dans les basses couches et donne naissance à des courants ascendants. L'air qui s'élève est remplacé par l'air plus froid et donc plus dense provenant de la mer : c'est la brise de mer. Au cours de la nuit, le phénomène s'inverse, car la terre se refroidit plus rapidement que la mer : c'est la brise de terre. Ce phénomène est responsable des directions du vent Sud et Nord. Les vents au Tlemcen présentent des vitesses assez importantes, notamment durant le mois d'octobre.

Les vents dominants de la zone d'Oran sont essentiellement de direction Ouest et à un degré moindre Ouest-sud-ouest en automne. Pendant la période d'été, les vents du type sirocco (vents chauds et secs de direction Ouest-sud-ouest) soufflent pendant quelques jours par an (de 5 à 7 jours).

Généralement, les vents secs et chauds qui soufflent dans toute la zone d'étude, en printemps et en automne quelquefois en été ramènent avec eux une quantité appréciable du sable et de limons, ces vents provoquent le dessèchement des sols et entraînent à une forte évaporation. D'après SELTZER, les vents dominant dans l'Oranais sont les vents de l'Ouest et de Nord-ouest.

Les vents sont responsables d'une importante pollution atmosphérique par le biogaz produit à partir de la décomposition des déchets organiques, avec la vitesse et la direction des vents, elles conduisent à une pollution et impacts sanitaires de la zone de direction des vents.

Figure 5. Vitesse des vents mensuels (1987 – 2012) (ONM, 2015)



7. Le bilan de l'eau : largement déficitaire, faible recharge de la nappe à Oran et moyenne aux autres zones

Le bilan hydrique permet de suivre, selon une méthode simple, l'état de la réserve en eau du sol en tenant compte des besoins en eau de la culture et des apports naturels par les pluies. Il permet donc de vérifier d'une part, que l'apport d'eau par irrigation est suffisant pour ne pas vider la RFU et donc provoquer un stress hydrique à la culture. D'autre part, l'apport d'eau par irrigation n'est pas trop important (pour éviter de saturer le sol et provoquer des pertes d'eau par ruissellement, et éviter des apports d'eau inutiles).

Le bilan hydrique est également un outil de gestion technique simple, qui permet d'analyser la trace des périodes déficitaires et des périodes excédentaires tout au long de l'année. Ce bilan exprime l'étendue de la capacité de rétention des eaux dans le sol, l'écoulement des cours d'eau ainsi que l'alimentation des aquifères, ceci traduit le transfert, la décomposition des polluants et l'infiltration des polluants en saison pluvieuse.

Les bilans hydriques des données (1987 à 2012) de quatre stations étudiées ont été calculés par la méthode de THORNTHWAITE (1948) (tableau 8 A,B,C,D) en se basant sur les données de :

T° : température moyenne mensuelle.

P mm : précipitation moyenne mensuelle.

I : indice pour calculer l'évapotranspiration.

K : coefficient de correction.

ETP : évapotranspiration potentielle.

CUM : le cumul des résultats négatifs du P-ETP en valeur absolu.

RU : réserves utiles ou le sol est saturé en eau (100mm)

ETR : quantité de l'eau réellement évaporée.

S : eau qui s'infiltrer

Ruiss : ruissellement de l'eau.

Tableau 8. (A,B,C,D) Bilans hydriques des stations de la zone d'étude (1987-2012)

Station Es Senia	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOT
T°	10.96	11.56	14.1	16.26	19	23	25.86	27.1	23.75	20.24	16.18	13.62	
Pmm	56.16	38	34	26.9	15.2	3.56	6.77	3.9	16.09	25.88	69.1	29.98	325.5
i	3.28	3.55	4.8	5.96	7.54	10.1	12.03	12.9	10.58	8.3	5.91	4.55	89.55
K	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.9	0.8	0.85	
ETP	20.56	22.57	39.7	55.23	82.8	120	152.8	157	108.6	75.05	40.15	30.58	75.44
P-ETP	35.6	15.43	-5.73	-28.3	-67.6	-117	-146	-153	-92.5	-49.2	28.95	-0.6	
CUM			5.73	34.06	102	218	364.4	518	610.3	659.5		0.6	
RU	100	100	96	70	34	12	4	0	0	0	100	100	
DRU	0	0	-4	-26	-36	-22	-8	-4	0	0	100	0	
ETR	20.56	22.57	38	52.9	51.2	39.6	14.77	7.9	16.09	25.88	10.15	29.98	75.46
S=P-ETR	35.6	15.43	0	0	0	0	0	0	0	0	58.95	0	22.09
Ruiss	139.6	35.9	8.3	2.12	0.17	0	0	0	0	0.1	68.22	9.6	22.1

A. Station d'Es Senia

Station Beni Saf	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOT
T°	13.09	13.12	15.1	16.74	18.98	22.68	25.16	26.64	24.16	20.91	17.35	14.82	
Pmm	40.06	39.5	13.6	19.9	20.3	7.66	6.28	7.7	19.06	26.8	58.08	31.9	290.5
i	2.29	4.3	5.33	6.23	7.5	9.86	11.54	12.58	10.85	8.72	6.5	5.18	93.04
K	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.9	0.8	0.85	
ETP	19.71	19.8	26.18	32.14	41.26	58.7	72.25	80.9	66.66	50.02	34.51	25.23	43.9
P-ETP	20.35	19.7	-12.54	-12.5	-20.96	-51.97	-65.97	-73.2	-47.6	-23.2	23.57	6.67	
CUM			12.54	25.08	46.04	97.16	163.1	236.3	283.9	307.1			
RU	100	100	88	77	61	36	20	10	6	5	100	100	
DRU	0	0	-12	-11	-16	-25	-16	-10	-4	-1	95	0	
ETR	19.71	19.8	25.6	30.9	36.3	32.66	22.28	17.7	23.06	27.8	34.51	25.23	26.29
S=P-ETR	20.35	19.7	0	0	0	0	0	0	0	0	23.57	6.67	70.29
ruiss	55.15	52.4	1.22	2.42	1.6	0	0	0	0	2.5	54.8	16.99	6.19

B. Station de Beni Saf

Station Sidi Bel Abbas	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOT
T°	8.65	8.96	11.66	13.95	17.62	22.3	25.79	27.22	22.87	18.96	13.57	11.49	
P mm	34.45	33.9	32.6	31.3	20	6.52	2.92	3.35	14.21	23.14	56.75	34.34	293.48
i	2.29	2.41	3.6	4.7	6.7	9.6	11.98	13	9.99	7.52	4.5	3.52	79.95
K	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.9	0.8	0.85	
ETP	16	16.62	32.24	46.94	78.96	120.06	158.08	164.1	106.89	72.11	32.8	25.92	65.06
P-ETP	18.4	17.28	0.36	-15.64	-58.96	-113.54	-155.2	-160.8	-92.59	-48.97	24.69	8.42	
CUM				15.64	74.6	188.14	343.3	504.05	596.64	645.61			
RU	100	100	100	85	47	16	3	0	0	0	100	100	
DRU	0	0	0	-15	-38	-31	-13	-3	0	0	100	0	
ETR	16	16.62	32.24	46.3	58	37.52	15.92	6.35	14.21	23.14	32.8	25.92	27.08
S=P-ETR	18.4	17.28	0.36	0	0	0	0	0	0	0	23.95	8.42	68.45
Ruiss	53.1	47.01	11.11	4.6	0	0	0	0	0	0	59.27	20.09	16.27

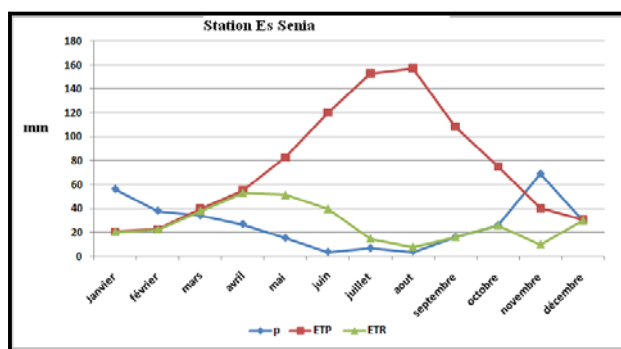
C. Station de Sidi Bel Abbas

Station Zenata	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOT
T°	10.54	10.76	13.46	16.01	18.99	22.95	25.97	27.88	23.99	20.32	15.43	12.07	
P mm	34.53	78.15	39.4	31.5	17.5	5.68	10.31	2.3	18.96	23.25	56.15	25.36	343.1
i	3.09	3.19	4.47	5.82	7.54	10.04	12.11	13.48	10.74	8.35	5.5	3.79	88.17
K	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.9	0.8	0.85	
ETP	19.5	19.8	36.97	54.4	83.8	120.3	154.9	167.3	111.4	76.4	37.27	24.77	75.69
P-ETP	15.03	58.35	2.5	-22.9	-66.3	-114.6	-144.59	-165	-92.44	-53.15	18.88	0.66	
CUM				22.9	89.2	203.8	348.41	513.41	605.85	659			
RU	100	100	100	79	37	13	3	0	0	0	100	100	
DRU	0	0	0	-21	-42	-24	-10	-3	0	0	100	0	
ETR	19.5	19.8	36.97	52.5	59.5	29.68	20.31	5.3	18.96	23.25	37.27	24.77	28.98
S=P-ETR	15.03	58.35	2.43	0	0	0	0	0	0	0	18.88	0.59	95.28
Ruiss	36.09	45.8	14.97	3.5	0	0	0	0	0	0	42.48	8.91	12.64

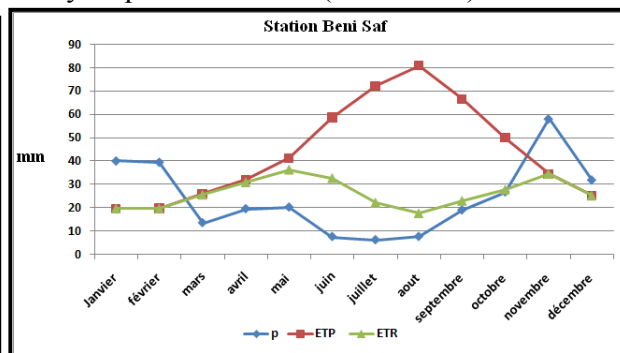
D. Station de Zenata

Source : Traitement personnel, 2015

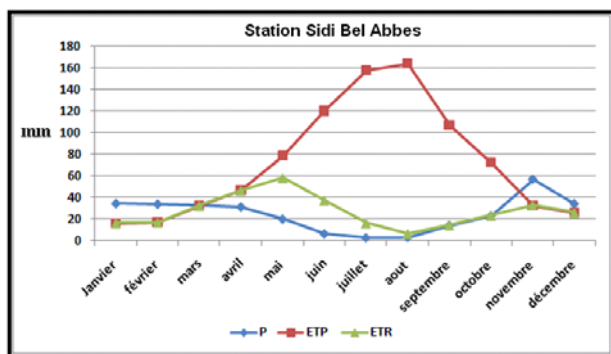
Figure 6. (A,B,C,D) Courbes de bilan hydrique des stations (1987-2012)



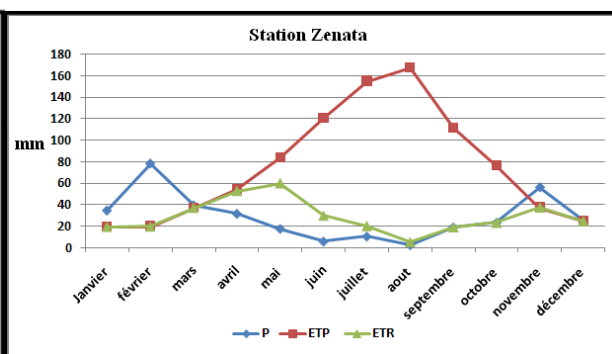
A. Station d'Es Senia



B. Station de Beni Saf



B. Station de Sidi Bel Abbès



D. Station de Zenata

Les bilans hydriques calculés montrent que l'année hydraulique est divisée en deux saisons, l'une c'est, la saison excédentaire et l'autre c'est, la saison déficitaire. En saison excédentaire, les précipitations (P) sont supérieures à l'évapotranspiration (ETP), cette dernière égale à la quantité de l'eau réellement évaporée (ETR), donc il restera une quantité qui sera infiltrée où ruisselée. La saison excédentaire pour la station d'Es Senia s'étale de cinq mois de décembre, janvier, février, mars et avril. La saison excédentaire pour la station de Beni Saf, Sidi Bel Abbès et Zenata s'étale de 6 mois de novembre, décembre, janvier, février, mars et avril. Dans cette saison, l'écoulement et l'infiltration sont importants, l'écoulement favorise le transport des eaux usées rejetées dans les

cours d'eau vers les lacs, les barrages, la sebkha et la mer, c'est un mouvement dynamique des polluants, que se soit en surface ou en souterraines.

En saison déficitaire, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration, donc la quantité des eaux qui va être réellement évaporées (ETR) est très inférieure à l'évapotranspiration (ETP) (tableau 8 A,B,C,D), la réserve utile en sol est nul, l'excédent de pluie va reconstituer la réserve utile (RU) pour atteindre les maximums (100 mm), l'écoulement et l'infiltration sont absents, c'est le déficit en eaux. Nous constatons une stagnation des eaux usées liquides et solides au niveau des oueds. Au niveau de la station d'Es Senia, la saison déficitaire s'étale durant sept mois de mai à novembre. Pour les stations de Beni Saf, Sidi Bel Abbes et Zenata, la saison déficitaire s'étale durant six mois de mai à octobre (Figure 6 A,B,C,D).

Tous ces facteurs climatiques contribuent à la détermination de ressources en eaux et leurs disponibilités potentielles. C'est pourquoi, nous consacrons une analyse sur les données liées aux ressources en eaux souterraines.

VI. Données hydrogéologiques : types et extension des ressources en eaux souterraines

Vu la diversité du relief et des formations lithologiques du tell Oranais par l'existence de la zone littorale (des plaines littorales et des massifs montagneux) des espaces intérieurs et des espaces sub steppiques, nous distinguons plusieurs unités hydrogéologiques.

1. Bassin du côtier Oranais : aquifères karstiques à Murdjadjo, nappes alluviales aux niveaux des plaines et nappe volcanique à Ain Témouchent

Les réservoirs d'eau souterraine les plus intéressants du bassin côtier Oranais sont constitués de plusieurs unités hydrogéologiques à savoir :

Le complexe karstique du Murdjadjo- Brédéah qui comprend une partie calcaire et une autre partie alluviale (alluvions rouges à galets). Cette dernière est alimentée en partie par les écoulements des circulations karstiques le long de la bordure Sud du Dj. Murdjadjo. Cette partie qui parcourt par de profonds ravins entaillés par les eaux de ruissellement, finit par s'infiltrer dans des larges fissures de dissolution, sans jamais atteindre la grande sebkha. Ces ravins très nombreux sont les témoins d'un ancien réseau hydro-géographique sur lequel un réseau karstique souterrain s'est surimposé.

Le complexe mio-pliocène reconnu par des forages profonds (300 à 500 m) dans la zone orientale de la plaine de la M'leta, notamment à la droite de la plaine de Tlélat. Cet horizon aquifère, relativement puissant (150 m d'épaisseur) est constitué par des grès carbonates attribués au pliocène marin, localement en contact avec les calcaires du miocène. La nappe contenue dans les grès et les calcaires est fortement captive et isolée des nappes superficielles beaucoup plus par les formations argileuses du pliocène continental.

Les alluvions quaternaires de la grande sebkha d'Oran renferment des nappes phréatiques alimentées par leur propre impluvium et par les infiltrations des oueds. Cette ressource est

néanmoins sollicitée par de nombreux puits d'irrigation d'une qualité peu propice à un usage agricole.

Les nappes profondes des grès pliocènes de la plaine du Tlélat et de la bordure Est de la M'leta fonctionnent des réserves considérables (750 Hm³). Le renouvellement de cette ressource est faible (5 Hm³/an) en raison du caractère endoréique du bassin. Elles constituent une ressource de meilleure qualité que celle exploitée à l'heure actuelle par la station de Brédéah (BOUALLA, 2011). Le bassin de la sebkha comporte une capacité de ressource estimée à 22 hm³/an d'eau souterraine.

La nappe de la plaine côtière d'Ain Turk : elle est constituée d'aquifère multicouche avec nappe libre et un ou plusieurs aquifères profonds. Ce qui lui confère les grandes réserves.

La nappe des roches volcaniques : les eaux en provenance de la nappe des basaltes du plio-quadernaire sont de bonne qualité chimique, elle se localise principalement au niveau de la zone d'Ain Témouchent, Ain Tolba, Sidi Ben Adda et Oulhaça, l'épaisseur de l'aquifère varie de 30 à 100 m (direction d'hydraulique d'Ain Témouchent, 2016).

La nappe du miocène: elle comporte deux sous-ensembles, l'un au niveau du plateau de Sidi Safi à dominance calcaire fissurée karstique présentant une bonne perméabilité et l'autre au niveau du plateau de Gamra, cette formation est assez limitée, mais composée essentiellement de calcaire blanc parfois crayeux dont la perméabilité est faible.

La nappe des grès: elle comprend deux sous-ensembles, l'un présente la nappe des grès oligo-miocènes dont l'aquifère issu de cette formation, elle est importante et présente une bonne perméabilité. Elle est située au Sud-est d'Ain Témouchent et s'étend de l'oued Berkèche jusqu'à l'Est d'Ain Kihel. L'autre ensemble présente la nappe des grès à ostréas crassissima du miocène moyen qui s'étend de l'Est d'Hammam Bou Hadjar vers Ain Larbaa.

2. Bassin de Mekerra : une importante nappe alluviale plio-quadernaire dans la plaine de Sidi Bel Abbes marquée par une surexploitation

Compte tenu de la diversité des formations géologiques et des structures géologiques ainsi que de l'importance de l'alimentation des nappes, on trouve différents types d'aquifères dans le bassin de Mekerra, dont les principaux systèmes aquifères sont : cinq aquifères de grande à faible importance ont été reconnus au niveau du bassin à savoir :

- La nappe alluviale plio-quadernaire de Sidi Bel Abbes.
- La nappe de grès pliocène de la forêt du Ternira.
- La nappe des calcaires et dolomies de zygine (aptien) de la forêt domaniale de Belarbi.
- La nappe des calcaires et dolomies jurassico-crétacé des monts de Sidi Ali Benyuob.
- Nappe des calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi

Les nappes de Sidi Ali Benyuob, de Sidi Ali Boussidi et celles de Ternira présentent des horizons perméables, qui sont en communication hydraulique au moins partielle, directe ou indirecte avec la nappe plio-quadernaire (ANAT, 1994).

L'aquifère alluvial plio-quadernaire d'une superficie de 730 km² (ABTOUT, 2013) est contenu exclusivement dans les formations d'âge plio-quadernaire et quadernaire. Ces dernières remplissent la grande vallée alluviale de Sidi Bel Abbes et sont le siège d'un écoulement souterrain transitant principalement par les alluvions plus ou moins cimentées et les conglomérats des chenaux transmissifs (SOURISSEAU, 1973). Ils forment une nappe libre à l'exception de quelques niveaux conglomératiques du chenal aquifère entre Sidi Khaled et Sidi Bel Abbes dans lesquels la nappe devient semi-captive (ABTOUT, 2013). L'alimentation de la nappe se fait suivant trois processus: alimentation directe par la pluie (environ 60 hm³/an) (direction d'hydraulique de Sidi Bel Abbes, 2015); alimentation par les aquifères adjacents, soit par infiltration latérale directe soit par l'intermédiaire des sources, dont les eaux s'infiltrent ensuite dans les alluvions; alimentation par les oueds principalement en période de crue, sauf pour l'oued Tissaf qui a une perte constante d'environ 300 l/s près de Sidi Khaled.

À l'exception des eaux de la nappe situées à l'Ouest hors du bassin versant hydrogéologique, l'eau transitée par la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbes ressort exclusivement au lieu-dit le Rocher principalement par l'oued Mekerra et en faible partie un inféro flux dans les alluvions évaluées par ANRH à 5 hm³/an.

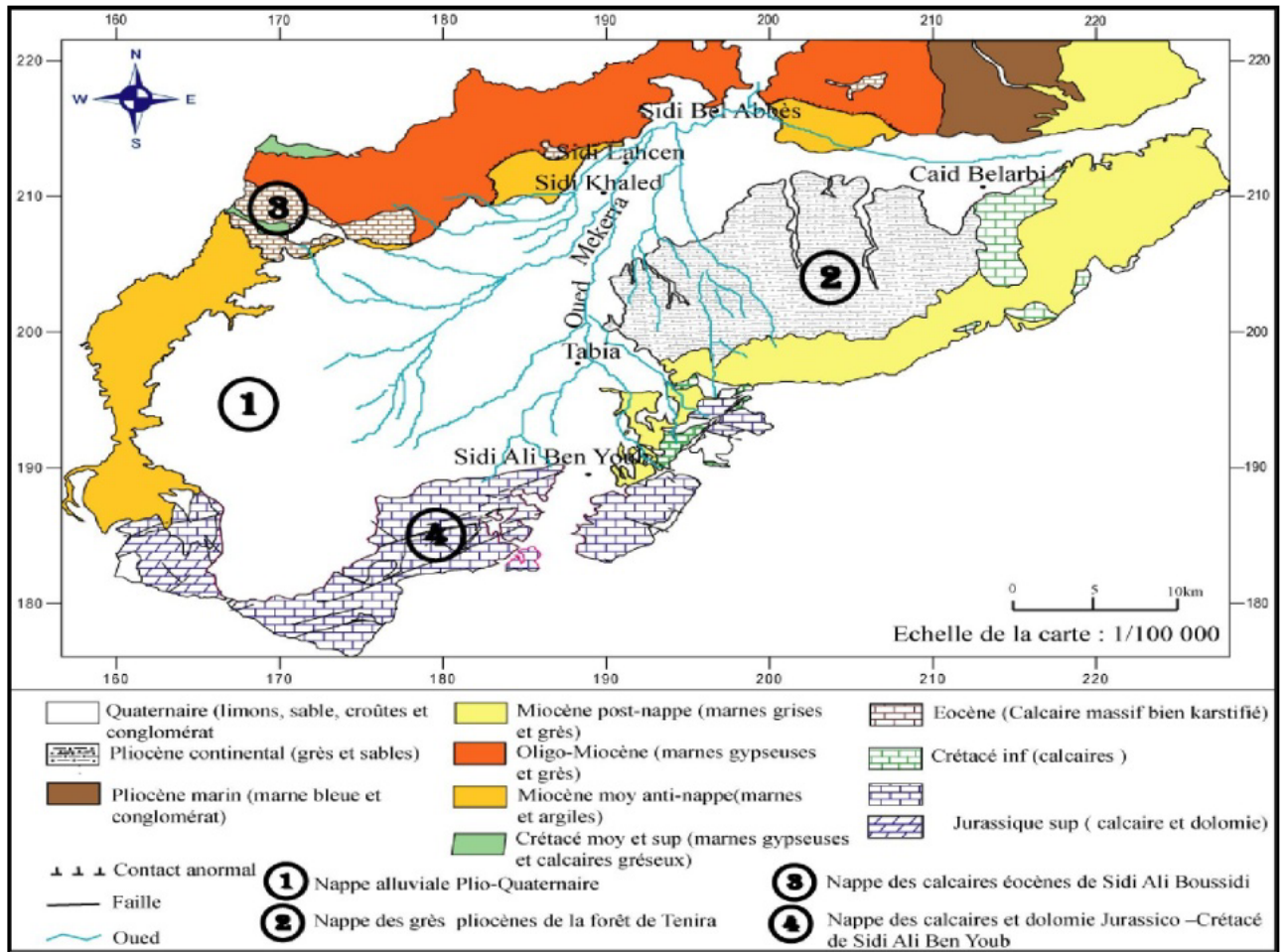
Aquifère des calcaires et dolomies du jurassique-crétacé située dans la partie Sud du bassin hydrologique représenté par les calcaires de remailia et dolomies de Tlemcen fissurées et karstifiées. Cet ensemble de faciès varié se comporte comme un aquifère unique, les zones de bonne perméabilité sont mises en contact par l'intermédiaire de nombreuses failles verticales. La nappe de cet ensemble, bien alimentée grâce à une bonne pluviométrie sur les reliefs, contribue à l'alimentation de la nappe alluviale (ABTOUT, 2013).

La nappe des grès pliocènes de la forêt de Tenira est limitée au Sud par le miocène supérieur continental, à l'Est par des calcaires de zygène. Ils contiennent une nappe discontinue qui alimente la nappe alluviale principalement par l'intermédiaire de petites vallées qui jouent le rôle de drain à leur remplissage alluvionnaire (SOURISSEAU, 1973). Ces grès alimentés exclusivement par leur impluvium ont des paramètres hydrauliques de faible valeur (transmissivité de l'ordre de 10⁻⁴ m³/seconde). La perméabilité médiocre, varie suivant la teneur en argile et des grès (ABTOUT, 2013).

Nappe des calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi : les écailles de calcaires éocènes posées sur les marnes du crétacé moyen supérieur et du miocène moyen marin contiennent une nappe alimentée par son impluvium. Cette nappe est entièrement drainée par des sources dont les plus importantes sont (Ain El Hadjar, Ain Annefress) est captée pour l'A.E.P, l'autre partie se déverse soit directement dans les alluvions, soit sur le miocène marneux pour se ré infiltrer ensuite dans les alluvions de l'oued Anneferss. Cette nappe s'étend au Nord de l'unité Dj. Touil et Si Daho

Nappe des calcaires de Zygine (Aptien) de la forêt de Belarbi : formée de calcaires fissurés, cet aquifère est hydrogéologiquement encore mal connu. Elle a été captée par des forages de Baudin et celui de Caid Belarbi réalisés en 1987 à proximité des affleurements (14 l/seconde). Cette nappe est alimentée directement par son impluvium.

Carte 9. Carte hydrogéologique et les types d'aquifères dans la plaine de Sidi Bel Abbès (SOURISSEAU, 1973)



3. Bassin de la Tafna : nappe karstique et des châteaux d'eau naturelle de l'Ouest Algérien dans les monts de Tlemcen et nappes alluviales dans les plaines

Les principales nappes à travers le bassin-versant de Tafna se présentent comme suit (carte 10):

La nappe karstique des monts de Tlemcen : les monts de Tlemcen constituent l'un des massifs carbonatés karstiques les plus importants de l'Algérie du Nord. Il contient d'importants aquifères contenus dans les formations calcaréo-dolomitiques du jurassique supérieur. Ces dernières sont largement karstifiées, les monts de Tlemcen sont souvent appelés le château d'eau naturelle de l'Ouest Algérien. Les ressources en eaux karstiques des monts de Tlemcen constituent, par leur bonne qualité physico-chimique, la ressource en eau la plus mobilisée et qui alimente, pour une grande part, la population de Tlemcen. En effet, les communes les mieux dotées en alimentation en eau potable sont celles alimentées à partir des ressources karstiques. Ces ressources participent, pour une large part, à l'alimentation en eau potable ainsi qu'aux besoins industriels et agricoles dans la wilaya de Tlemcen. Cette aquifère présente une capacité importante variant de 200 à 400 mm³ (BENSAOULA, 2008).

La nappe alluviale de Maghnia d'une superficie de 351 km², elle est peu profonde. Le remplissage plio-quadernaire du bassin de la plaine de Maghnia renferme des ressources hydriques assez importantes. BONNET (1965, 1969) a montré que le remplissage plio-quadernaire d'épaisseur variable est très hétérogène. Ce remplissage donne une nappe exploitée pour l'irrigation et l'alimentation humaine (BABA HAMED, 2009).

La nappe de Zriga où l'eau est légèrement saumâtre. Elle est par conséquent peu exploitée.

La nappe d'Hennaya: d'une superficie d'environ 22.3 km², se situe à une dizaine de kilomètres, au Nord de la ville de Tlemcen. Selon la nature lithologique, les formations perméables susceptibles d'abriter l'eau souterraine, elles sont représentées par les grès tortoniens et les sédiments quadernaires. Quant aux formations imperméables constituant le substratum imperméable, elles sont représentées par les marnes helvétiques à fines couches de grès qui affleurent à la surface à l'Est et à l'Ouest favorisant ainsi le ruissellement. Une partie de l'aquifère est occupée exclusivement par des grès friables. À la surface, l'horizon est libre et alimenté par les eaux de ruissellement. En profondeur, il reçoit l'eau de l'étendue des dolomies jurassiques et des calcaires qui constituent la source principale d'alimentation de l'aquifère. Une autre partie de l'horizon aquifère est recouverte de graviers et graviers argileux avec lesquels elle forme un horizon aquifère commun. L'alimentation par infiltration est difficile dans les parties où la couverture est constituée d'argile et croûtes calcaires. Horizon aquifère alluvial, les conglomérats représentent la couche la plus importante de l'aquifère formant avec les travertins, graviers et graviers argileux, un complexe aquifère commun. Les débits obtenus dans les puits et sondages sont importants. L'épaisseur des conglomérats décroît en allant vers le Nord. On remarque que les vides dans la zone d'Ain Boukora et Ain Wahab représentent des dimensions importantes et peuvent être considérés comme du karst (BEMMOUSSAT, 2012).

La nappe de Sidi Senouci : la position géographique de la zone de Sidi Senouci comprise entre les monts des Traras au Nord et les monts de Tlemcen au Sud ont permis la naissance d'un réseau hydrographique important, ce dernier est lié en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la zone aux cours des ères géologiques. Les divers niveaux aquifères se situent dans le jurassique et se prolongent dans le miocène. Ils peuvent passer aux alluvions pliocènes du quadernaire. Le niveau le plus important est situé sur la base des calcaires du kimméridgien inférieur important de la zone. Le miocène marneux est en relation avec certains grès, il existe aussi un niveau assez régulier qui donne lieu à de nombreuses sources aux faibles débits. L'aquifère alluvial du pléoc-quadernaire du plateau de Sidi Senouci s'étend depuis la vallée du Oued Chouly du côté Sud jusqu'à la limite d'Ouled Mimoun, sur une superficie d'environ 160 km² (BENSAOULA, 2006). Le sens d'écoulement est vers le Nord-est (vers l'oued Isser) ainsi que l'alimentation latérale de la nappe est toujours matérialisée au Sud de Sidi Senouci et au Nord du Dj. Semoured.

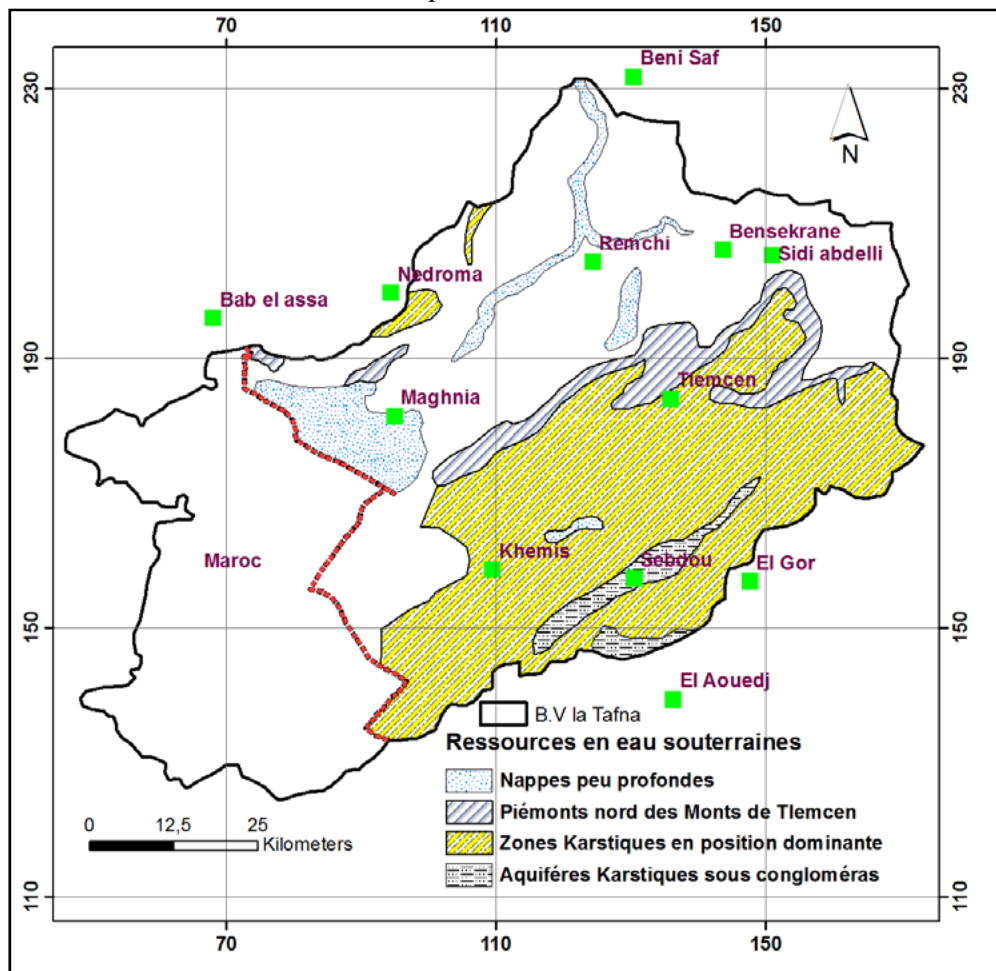
La nappe alluviale plio-quadernaire de Sebdou: le fossé de Sebdou est caractérisé par un aquifère superficiel plio-quadernaire formé principalement de conglomérats redressés. Nous considérons ici, aussi bien les alluvions récentes formées le long des oueds que les terrasses,

croûtes calcaires du quaternaire ancien et les conglomérats qui comblent le fossé de Sebdu ont une extension spatiale considérable favorise l'extension d'une nappe phréatique plus ou moins continue et facilement exploitable. La nappe du plio-quaternaire reçoit des quantités d'eau appréciables, selon deux processus différents :

- Directement sur son impluvium, en quantités variables suivant l'intensité de la pluviométrie de l'année hydrologique.
- Latéralement, par communication hydraulique directe le long des marges en contact avec les réservoirs jurassiques.

L'alimentation de la nappe du plio-quaternaire serait plus importante vers le Sud, vu l'extension latérale importante des reliefs Sud du bassin. La faille majeure limitrophe du fossé vers le Nord constitue une limite étanche (AZIZ, 2014).

Carte 10. Zones aquifères dans le bassin de Tafna



Source : COLLIGNON, 1987.

La zone d'étude possède des potentialités naturelles appréciables à savoir : un relief très diversifié, des plaines agricoles, des ensembles montagneux, avec des formations géologiques perméables,

elles favorisent des unités hydrogéologiques d'une grande importance (nappes phréatiques alluviales et nappes karstiques). Dans telle zone de climat semi-aride, de relief varié et de contexte géologique en majorité perméable, on retrouve un réseau hydrographique très développé, trois grands bassins-versants existants d'un écoulement permanent et saisonnier, donnant à cette zone l'aspect des ressources hydriques importantes. Mais restera le facteur anthropique ou l'homme responsable de la dégradation de ces ressources et de l'écosystème, pour cela, nous trouverons nécessaire d'analyser les caractères socio-économiques et le poids de l'homme dans la dégradation de l'environnement.

VII. Les caractères socio-économiques : le poids de l'homme

Aujourd'hui, l'homme est devenu un consommateur, par conséquent un gros producteur de déchets, dont la plupart sont toxiques et extrêmement nocifs pour notre santé, mais aussi pour notre écosystème. La quantité et la nature des déchets produits dépendent des caractéristiques socio-économiques de la zone concernée. À cet effet, il faut aborder la relation homme-environnement par la croissance démographique et l'évolution urbaine ainsi que les activités économiques.

La croissance de la population est l'une des causes de l'exploitation accrue des ressources disponibles et de la gestion souvent incontrôlée de l'espace, c'est le facteur le plus déterminant de la dégradation de l'environnement. Le taux élevé d'accroissement de la population a engendré une urbanisation accélérée, le plus souvent de manière anarchique, qui a vu la prolifération de l'habitation précaire. Conduis à des conséquences néfastes sur l'environnement. La croissance démographique s'est accompagnée d'une urbanisation qui se poursuit à un rythme accéléré, soit un taux d'urbanisation de 60 % accentuant la concentration de la population et des activités en zone littorale, conduit à une mauvaise gestion des villes en matière de besoins et à des multiples conséquences telles que :

- Une grande évolution des populations par rapport à l'étalement des villes ;
- Un déséquilibre entre la ville et l'environnement ;
- Une propagation des bidons villes et de l'habitation précaire ;
- La ville est devenue incapable de répondre aux besoins de la population, ce qui a conduit à une dégradation de l'environnement urbain par la prolifération des décharges sauvages aux alentours des quartiers et une évacuation importante des eaux usées.

À cet effet, l'environnement urbain constitue les plus grands défis auxquels sont confrontés la zone d'étude et les gestionnaires ainsi qu'attendre à des solutions immédiates dans les dimensions environnementales. L'analyse de la croissance et la densité de la population en constante augmentation suivie par l'étude de l'étalement urbain des grandes villes avec la description et la répartition des activités économiques dans la zone d'étude, présentent une étape importante dans l'étude de la gestion des déchets solides et liquides, car l'homme, par son évolution et son activité, est le premier responsable des problèmes d'environnement et de la mauvaise gestion des déchets.

1. La croissance démographique : une population en constante augmentation

La population précoloniale, au niveau de la zone d'étude, était soumise à un régime démographique quasi-naturel, caractérisé par un accroissement naturel très faible. Cette situation était due à l'équilibre entre la mortalité et la natalité, situées à des niveaux très élevés (VALIN, 1972). L'accroissement de la population connaissait des fluctuations dues à la fréquence des crises démographiques liées à des phénomènes naturels (sécheresse, épidémies...) et à des situations politiques, comme les guerres.

Au lendemain de l'indépendance, la population dans la zone d'étude a connu une période de croissance assez rapide, marquée par un taux d'accroissement en hausse depuis 1966 et vers la fin des années 1980. Il connaîtra, par la suite, une légère réduction pendant la période 1987-1998. Cette réduction de la croissance démographique pendant cette période marque une nouvelle phase de l'histoire démographique. La rupture avec le régime démographique traditionnel se manifesterait durant la fin des années 1980 avec un rythme d'accroissement nettement bas par rapport au passé (CHENAFI, 2012).

Une forte croissance démographique a marqué les deux premières décennies de l'Algérie indépendante. Elle a été accompagnée d'un exode rural et de flux migratoires importants qui ont entraîné un accroissement considérable de la population urbaine et une densification du système urbain algérien. Au cours de cette étude, nous avons étudié les deux phases de recensement de la population de 1987 à 1998 et de 1998 à 2008 afin de voir les différentes mutations de l'accroissement de la population. Ce dernier est en forte relation avec le volume de production des déchets solides et liquides ainsi que les extensions des villes.

La période 1987-2008, délimitée par deux RGPH (1987 et 2008), elle a été choisie pour mesurer les niveaux et les tendances des principaux paramètres démographiques. La population globale de la zone d'étude est de 3 360 659 habitants selon le recensement de 2008, qui soit 9.75 % de la population totale de l'Algérie. Cette zone a connu une dynamique démographique positive entre 1998 et 2008, un taux d'accroissement de 1.8 % pour la wilaya d'Oran, 1.1% pour la wilaya de Tlemcen, 1.4 % pour la wilaya de Sidi Bel Abbes et 1.2 % pour la wilaya d'Ain Témouchent. En 2008, cette population est importante au niveau de la wilaya d'Oran 1 443 052 habitants par rapport aux autres wilayas (Tlemcen 945 525 habitants, Sidi Bel Abbes 603 369 habitants et Ain Témouchent 368 713 habitants) (ONS, 2008).

1.1. La période de 1987 à 1998 : croissance de la population urbaine à des taux supérieurs à la croissance naturelle

Entre 1987 et 1998, en plus des facteurs économiques et sociaux liés à la disponibilité de l'emploi et à l'accès aux services de base qui favorisaient l'exode rural, le facteur sécuritaire est venu bouleverser les tendances habituelles. En effet, sous l'effet de l'insécurité, la population rurale a quitté les campagnes dans certaines régions, et s'est réfugiée dans les agglomérations. Ainsi, durant cette période, la population qui vivait en zones éparses a enregistré une baisse.

C'est la zone littorale qu'a enregistrée un accroissement de population le plus élevé, varie de 4 % à 14 %. Les communes de Bir El Djir et Sidi Chami ont connu des taux élevés. De sa part, la zone des bassins intérieurs a vu une chute de son taux d'accroissement qu'est de l'ordre (-8 % à 2 %) (carte 11). À l'exception des communes de Sebdou, Hassi Dahou, Chetouane et Mansourah, les autres communes de cette zone ont enregistré, dans leur majorité, des taux d'accroissement faibles.

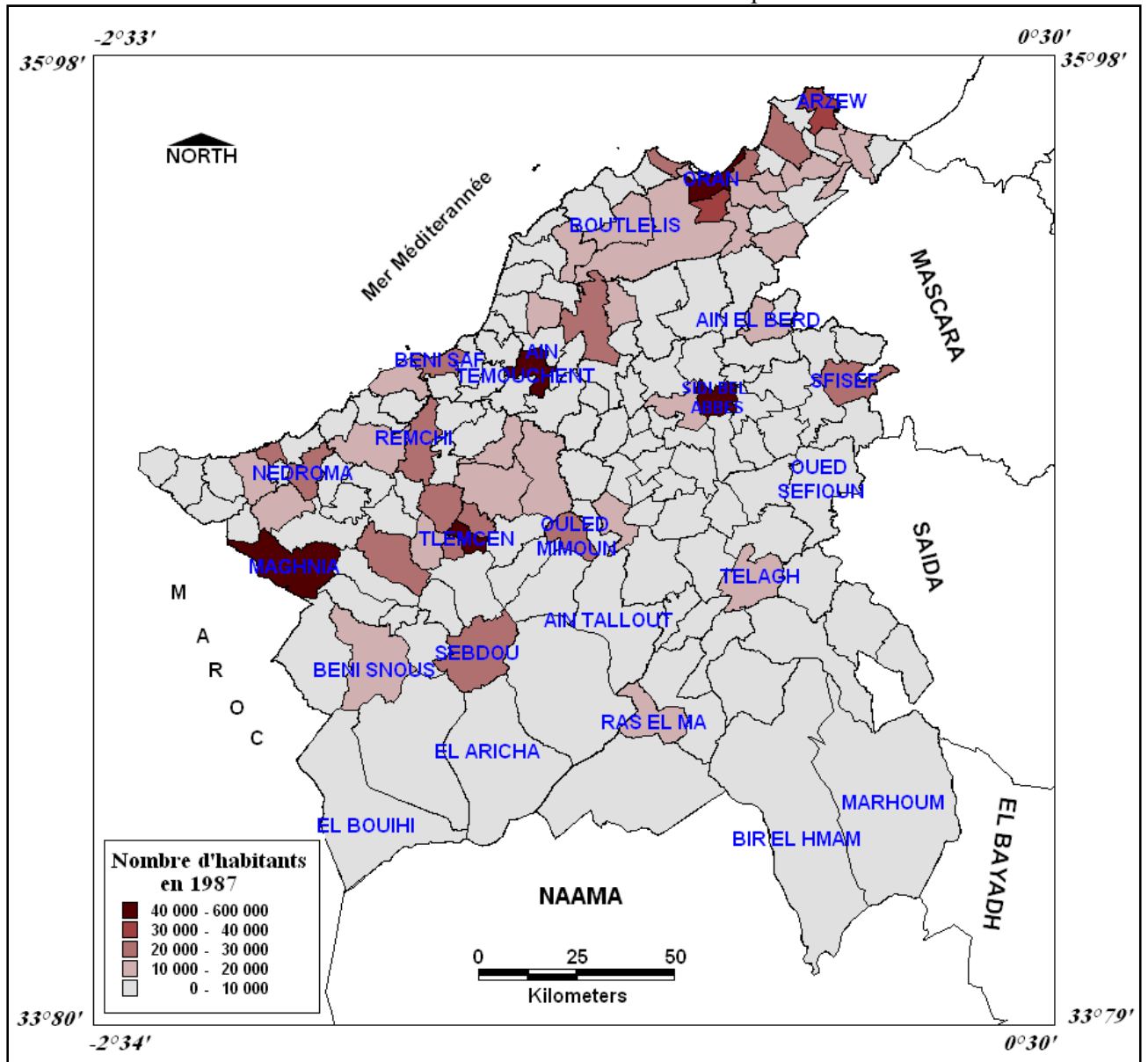
En effet, le recensement effectué en 1998 avait montré :

- Une persistance de la croissance de la population urbaine à des taux supérieurs à la croissance naturelle.
- Au Nord, sur le littoral, cette croissance s'orientait de plus en plus vers les petites et moyennes agglomérations. Dans les hauts plateaux et au Sud, elle se concentrait autour de grandes et moyennes agglomérations.

Cette phase d'expansion démographique se caractérise, beaucoup plus, par une baisse considérable de la mortalité et par une très importante hausse de la natalité. L'agglomération oranaise a connu un taux d'accroissement de la population faible durant cette période, il est de 0.51 %, ce phénomène est le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs à savoir :

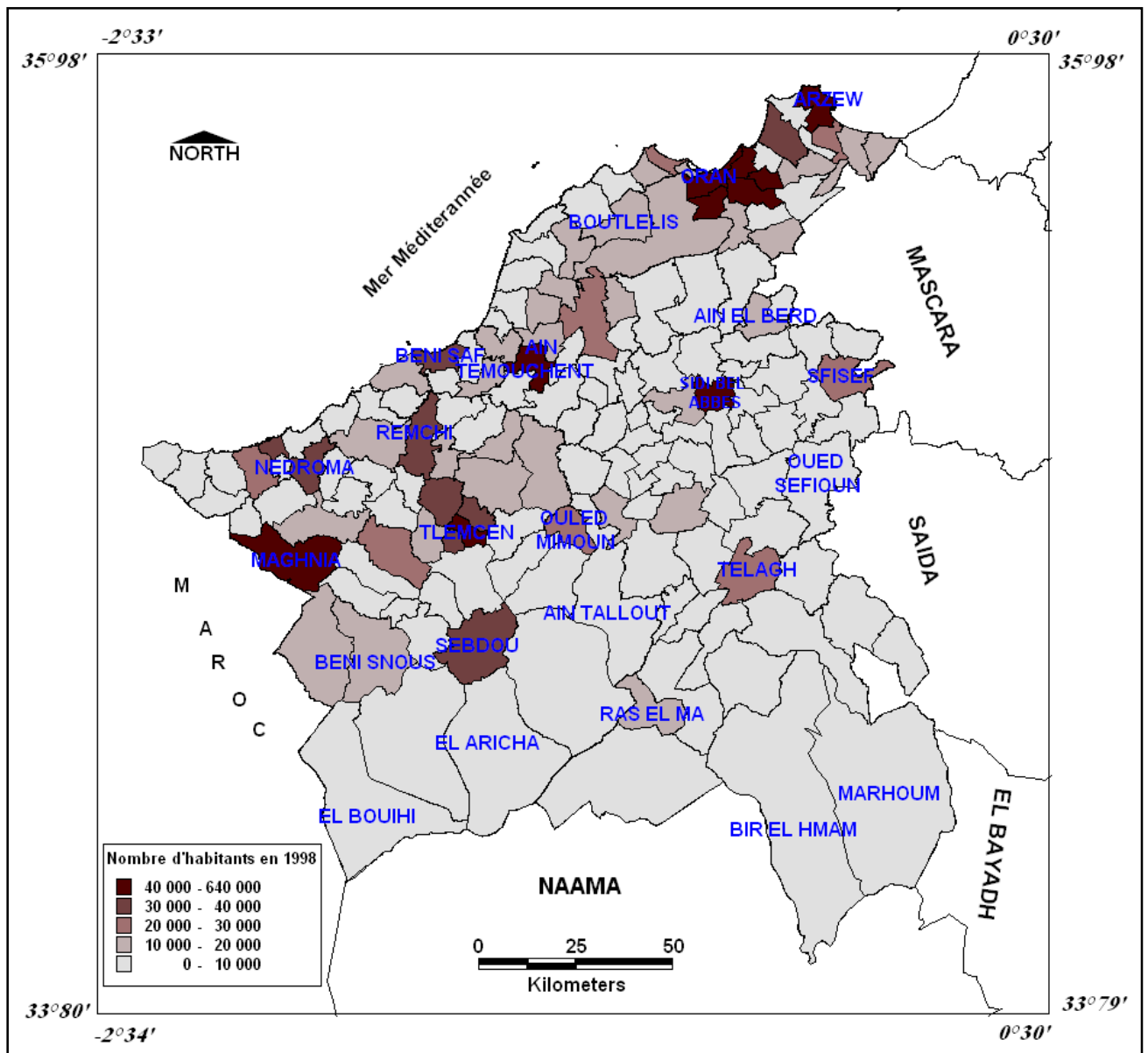
- Les périphéries et notamment la partie Est de l'agglomération constituent les nouveaux territoires d'attraction pour des populations qui connaissent, depuis la fin des années 1970, une forte croissance, celle de la commune de Bir El Djir.
- La saturation et l'exiguïté de l'espace central
- La congestion de l'espace central et la vétusté de son bâti.

Carte 11. Carte de nombre d'habitants en 1987 par communes



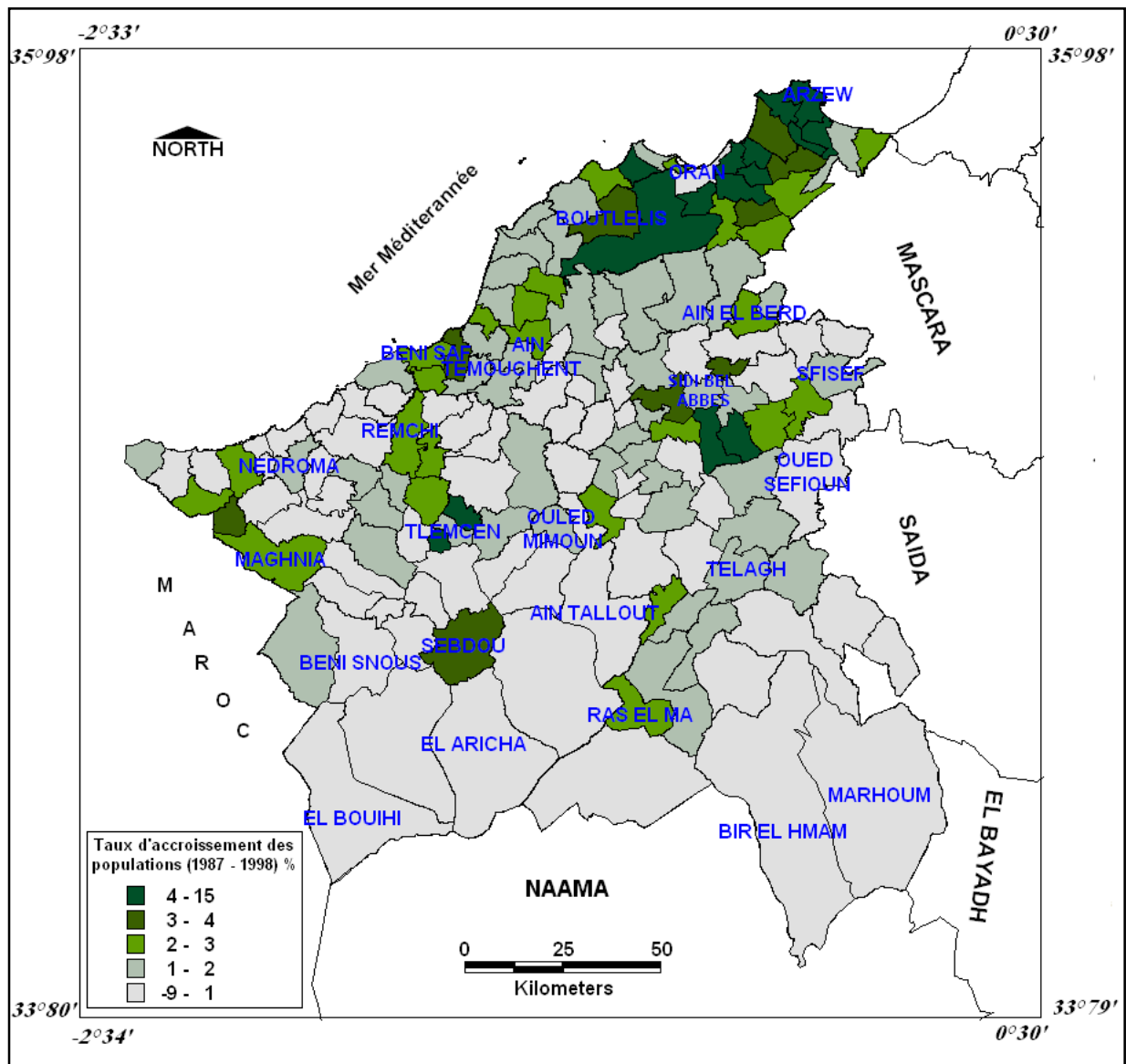
Source : ONS, 1987

Carte 12. Carte de nombre d'habitants en 1998 par communes



Source : ONS, 1998

Carte 13. Le taux d'accroissement de la population par communes entre (1987-1998)



Source : ONS, 1998

1.2. La période de 1998 à 2008 : croissance importante de la population dans la steppe et faible dans les grandes villes

L'analyse de l'évolution de la population et de l'habitat entre les deux recensements de 1998 et de 2008 fait ainsi apparaître un taux d'accroissement négatif pour la commune d'Oran et de Tlemcen, par contre nous remarquons un taux élevé pour les communes périphériques de la ville d'Oran et de la ville de Sidi Bel Abbès, dépasse 4%. Un fait très remarquable a été observé durant la période de 1998 à 2008, c'est le taux d'accroissement de la population était négatif en 1987 -1998 est devenu important en 1998-2008 dépasse 2 %, pour les communes sub-steppiques au Sud, c'est certainement en raison de la présence, sur ce vaste territoire, des populations nomades provenant des wilayas de Saïda, El-Bayadh et Naama. Puisque la commune d'Oued Taouria a enregistré un

taux d'accroissement spectaculaire de 4.1%, suivit de Marhoum, avec respectivement des taux de 3 %.

La répartition spatiale du nombre de la population dans la zone d'étude est marquée par une irrégularité entre la zone littorale, sub-littorale au Nord et la steppique au Sud. Le littoral est très peuplé, selon la carte 14, les communes de moins de 20 000 habitants représentaient les deux tiers de la zone d'études, localisées notamment dans la wilaya de Sidi Bel Abbes et Tlemcen.

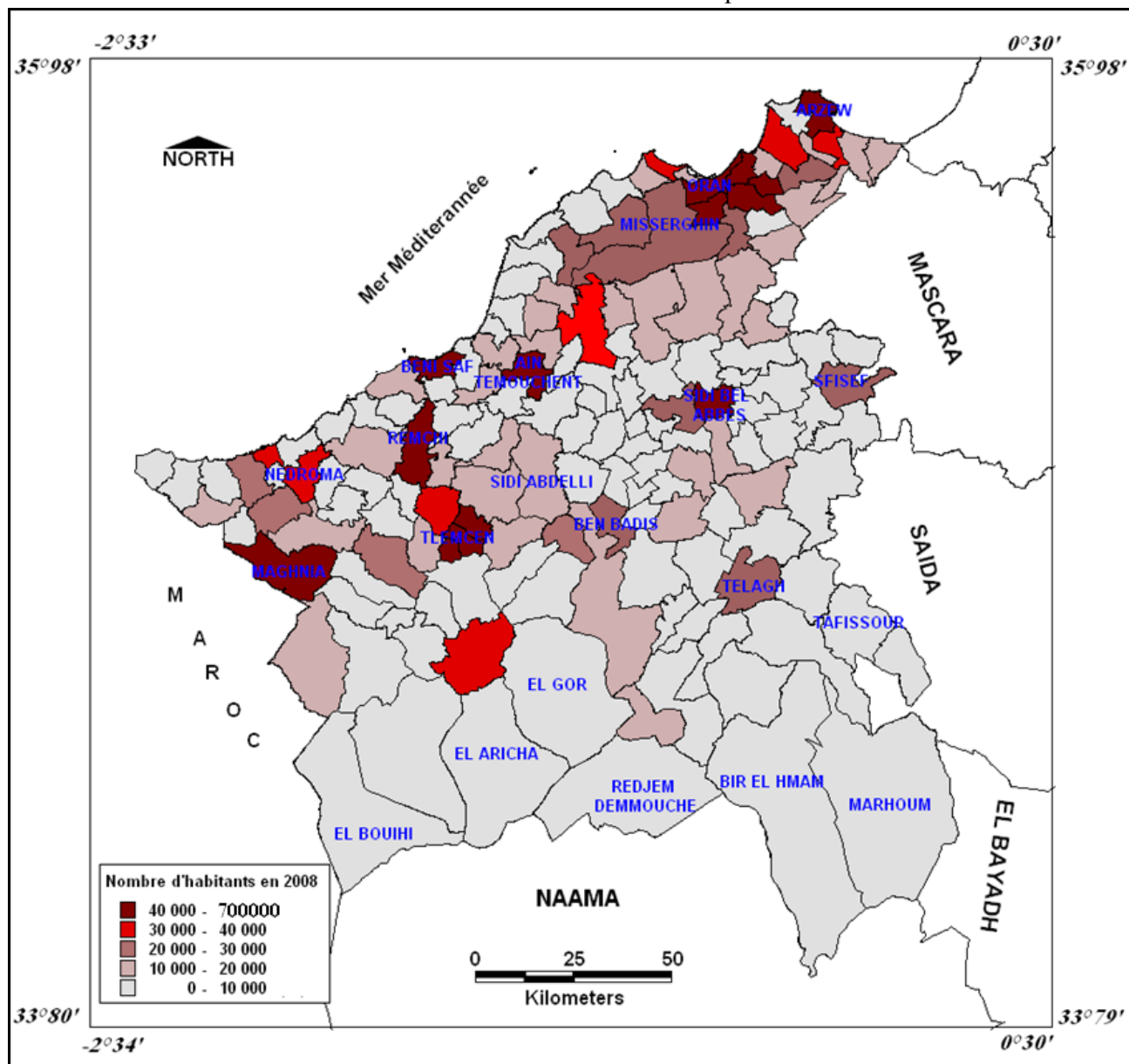
Les communes de la wilaya d'Oran sont les plus peuplées dans la zone d'étude, la majorité dépasse 10 000 habitants. Six communes dans la wilaya d'Oran ont une population plus de 40 000 habitants, par contre au niveau de la wilaya de Sidi Bel Abbes, seulement le chef-lieu de la wilaya qu'à plus de 40 000 habitants. Ceci traduit l'irrégularité de la répartition de la population. Cette dernière pose de sérieux problèmes en matière de besoins nécessaires, comme l'eau potable, la gestion des eaux usées et l'élimination de déchets ménagers.

En prenant l'exemple de l'agglomération oranaise, le taux de la croissance démographique est négatif, par contre, il est très important dans les agglomérations limitrophes, comme Bir El Djir, Es Senia, Sidi Chami et Hassi Bounif, cette situation explique la saturation de tissu urbain ancien d'Oran, ainsi que la forte migration de la population venant de la commune d'Oran. Désormais, les périphéries et notamment la partie Est constituent les nouveaux territoires d'attraction pour des populations qui connaissent une forte croissance. La commune de Bir El Djir, sa population a triplé pendant la troisième période intercensitaire, pour atteindre 71 229 habitants en 1998. Une décélération s'observe au cours de la dernière période intercensitaire, avec une population de 152 151 habitants en 2008 et un taux de croissance important de 7.8 %.

Néanmoins, une deuxième commune périphérique va prendre le relais très rapidement, c'est Sidi Chami, les effectifs de cet espace à l'Est d'Oran vont se développer, notamment au cours de la troisième période intercensitaire, où la population résidente a quasiment quadruplé 55 618 habitants, avec un taux de croissance de 6 %. Auparavant, la population de Sidi Chami n'était que de 2 376 habitants en 1966, en 2008, la population atteint 104 498 habitants. Cette commune n'arrête pas de croître en attendant sa prochaine saturation.

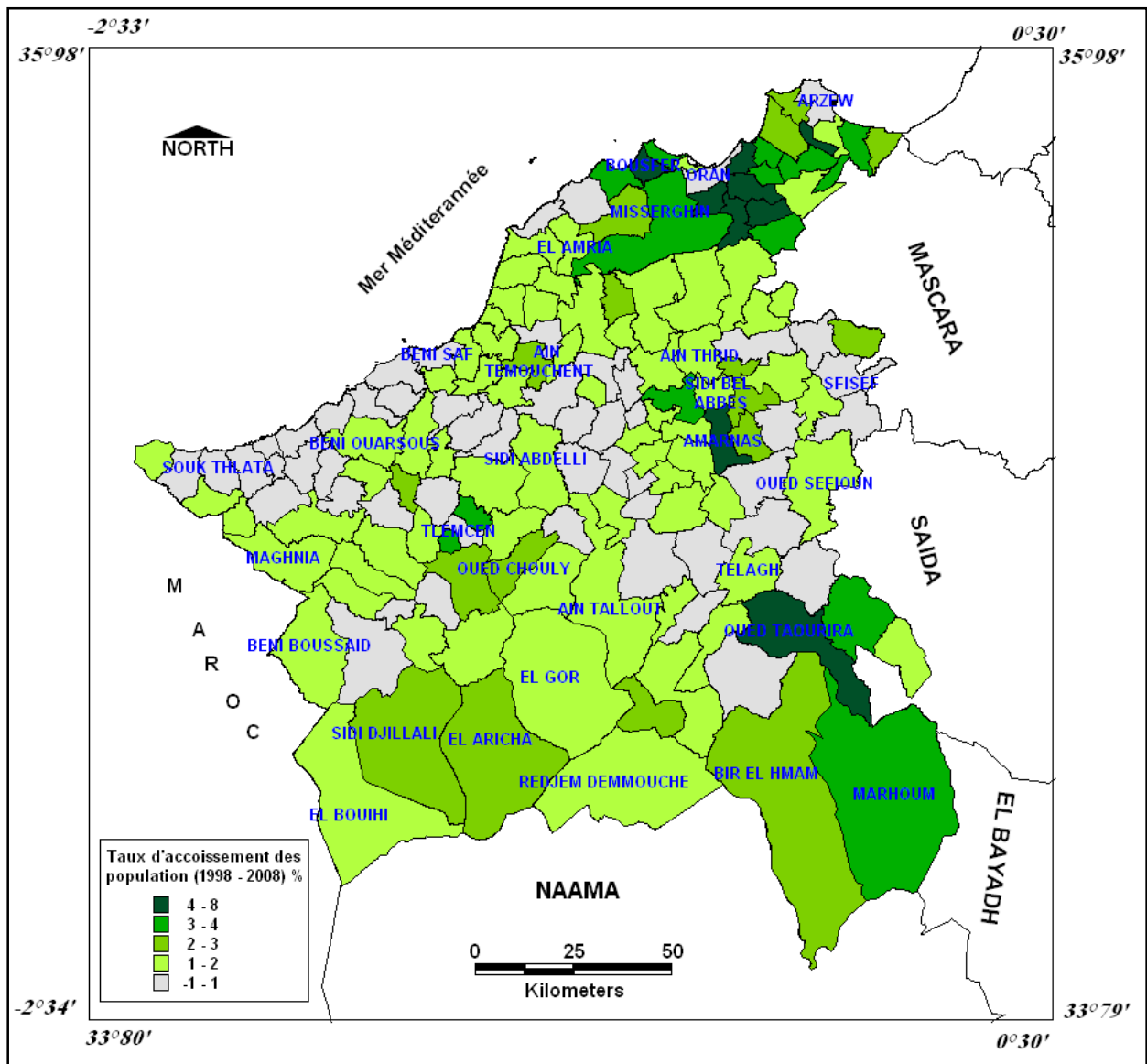
Les populations de la commune de Tlemcen n'ont pas connu une grande augmentation, un taux d'accroissement négatif, par contre, les communes limitrophes comme Mansourah et Chetoanne ont connu un accroissement très rapide par un taux dépasse 3 %.

Carte 14. Carte de nombre d'habitants en 2008 par communes



Source : ONS, 2008

Carte 15. Le taux d'accroissement de la population par communes entre (1998 -2008)



Source : ONS, 2008

2. Densité de la population : forte au littoral et sub-littoral, faible en zone steppique

La mise en valeur coloniale de l'Algérie a mis en place un type d'organisation de l'espace prenant en compte les caractéristiques géographiques physiques. La zone d'étude est répartie en trois grandes zones, la première, au Nord, borde la méditerranée, c'est la zone littorale, la seconde, ce sont les plaines intérieures, et la troisième, entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien, comprend les hautes plaines steppiques. La variabilité des densités de la population est constatée, non seulement, entre les trois grands ensembles de l'espace physique, mais, est également présente à l'intérieur de chacune de ces zones.

C'est dans l'étroite bande littorale d'Oran que se concentre près de 40 % de population de la zone d'étude, et où se trouvent les terres agricoles les plus riches, les ressources en eau les plus abondantes et le potentiel forestier. Cette zone est la mieux dotée en infrastructures de transport et de communication (routes, voies ferrées, ports, aéroports), ainsi que de toutes les commodités (eau, électricité, téléphone) nécessaires à l'activité industrielle.

En remarque une forte densité de la population dans la bande littorale d'Oran par rapport aux autres wilayas, d'Ain Témouchent et de Tlemcen. De 1987 à 2008, on constate une augmentation de densité de la population dans les communes d'Oran, par contre dans les autres wilayas, la densité reste la même, avec une légère augmentation. Les cartes de la densité de population (carte 16, 17, 18) montrent une forte distinction entre le Nord très dense et le Sud de faible densité. Ces densités enregistrées au niveau de la bande littorale diminuent au fur et à mesure qu'on progresse vers l'intérieur, pour atteindre des taux très bas dans la zone steppique.

La densité par communes dépasse souvent les 400 hab / km² dans les chefs-lieu des wilayas Sidi Bel Abbes, Ain Témouchent, Tlemcen et le groupement d'Oran, ainsi que les communes de Beni Saf et d'Arzew, alors que dans la plupart des communes intérieures, notamment celles du Sud, les densités restent faibles, avec moins de 100 hab / km² (carte 18).

En 1987, la densité de population dépasse 400 hab/km² dans les communes Oran, Bir El Djir, Arzew, Ain Turk, Sidi Bel Abbes, Beni Saf, Ghazaouet, et Tlemcen. En 1998, d'autres communes ont dépassé 400 hab/km², qui sont Es Senia et Ain Biya. Pour l'année 2008, d'autres communes ont connu des fortes densités de la population, c'est la commune d'El Kerma dans la wilaya d'Oran et Mansourah dans la wilaya de Tlemcen.

Entre le Nord et la zone steppique au Sud, on constate un ensemble de communes à forte densité, il s'agit des communes chefs-lieux des wilayas de Tlemcen et de Sidi Bel Abbes. Cette densité reste néanmoins très localisée autour de ces agglomérations, contrairement à la partie littorale où la densité est diffuse sur le territoire situé sur l'axe Ain Témouchent Oran - Arzew. Cette disparité est due à la combinaison de plusieurs facteurs. Le déséquilibre dans la répartition de la population s'explique en grande partie par les conditions naturelles et notamment climatiques, ainsi que par les mouvements de populations qui se sont poursuivis à la faveur du schéma de développement axé sur la constitution de pôles industriels autour des grandes agglomérations du Nord.

Les communes actuelles ont des superficies généralement de petite taille dans la bande littorale, elles deviennent plus grandes au fur et à mesure que l'on descend dans la steppe. Au Sud, elles prennent des dimensions comparables à la taille de certaines daïras et quelquefois de wilaya du littoral. En effet, la taille moyenne des communes est de 80 km² dans la bande littorale, 300 km² dans la steppe. Les populations qu'elles renferment suivent, par contre, le phénomène inverse. La discontinuité du peuplement est le fait majeur.

« La superposition de la carte de densité de la population et la carte des grandes entités physiques montre une corrélation entre le milieu naturel et la répartition de population dans l'espace. Les zones de plaines et de plateaux sont les plus densément peuplées, alors que les zones de montagne

et de steppe sont les plus faiblement occupées. Au Nord, les fortes densités se trouvent dans les plaines littorales de Bousfer, les Andalouses et au niveau des espaces sub-littoraux de M'leta et Tlélat. Ces plaines littorales et sub-littorales regroupent les terrains les plus propices à l'occupation humaine » (GHODBANI et al., 2013).

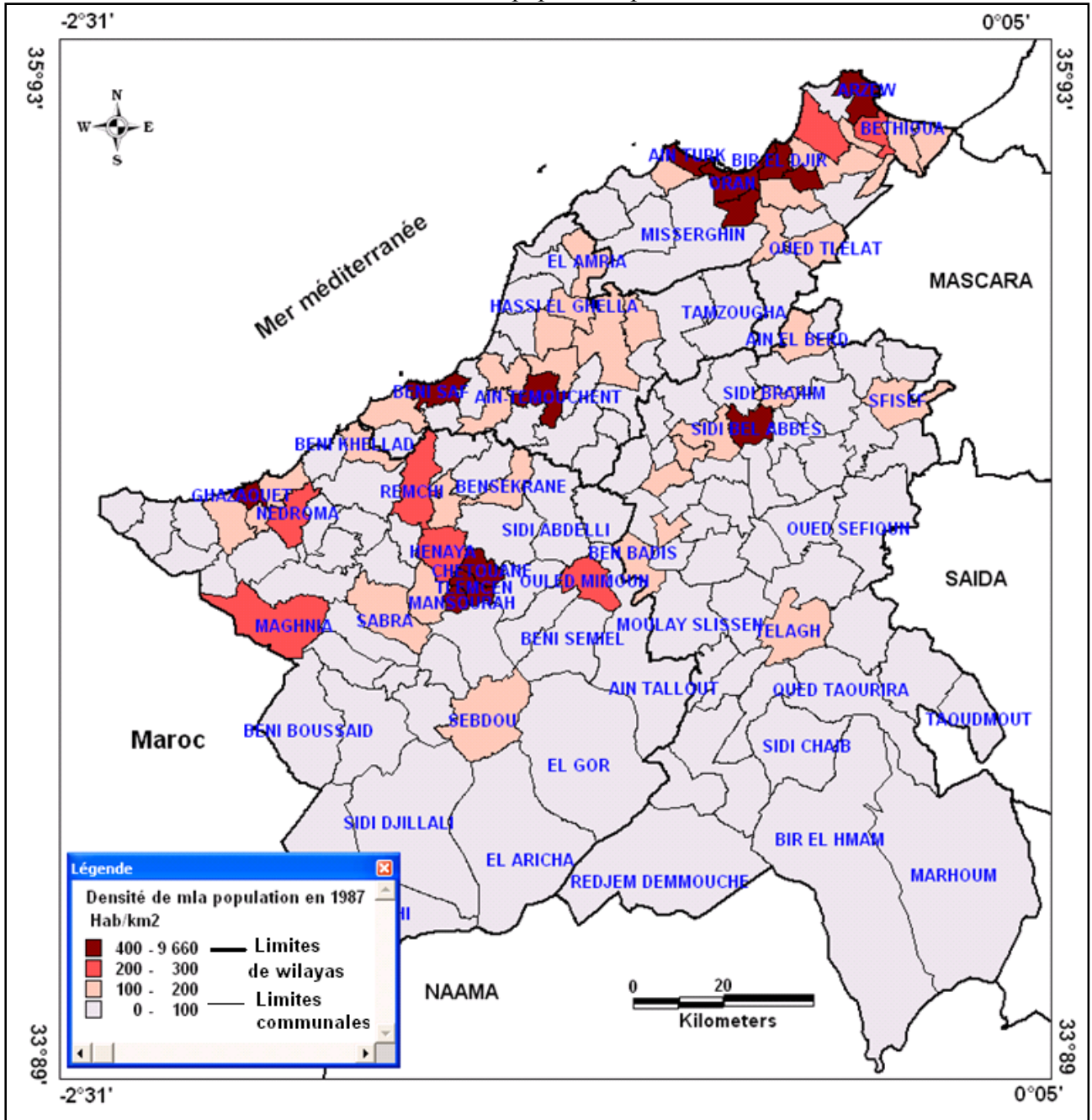
« Les zones intérieures, de forte densité, sont également des plaines, quoique situées à des altitudes plus élevées que celles du littoral entre 600 et 800 m. D'Ouest en Est, on trouve les plaines de Maghnia, de Tlemcen et de Sidi Bel Abbas. L'activité agricole, dans ces espaces, est dominante, car le réseau hydrographique est plus dense et les plus grands barrages de la région Ouest ont été édifiés (Béni Bahdel, Mefrouch, Sarno, etc.) » (GHODBANI et al., 2013).

« Les zones montagneuses restent les plus faiblement peuplées, y compris en position côtière. Deux zones font exception dans la partie septentrionale du Sahel témouchentois et des monts des Traras, notamment autour des agglomérations de Béni Saf et de Ghazaouet. Les zones de montagne, réputées répulsives dans plusieurs endroits, sont connues pour être des espaces déshérités. Dans les communes montagneuses de Tlemcen, les soldes migratoires y enregistrent souvent des taux négatifs, contrairement aux plaines et plateaux dont les valeurs restent souvent positives. Les monts des Traras et des Dahra affichent un solde migratoire supérieur à (-20 %), alors que le plateau d'Oran enregistre plus de 20 % » (GHODBANI et al., 2013).

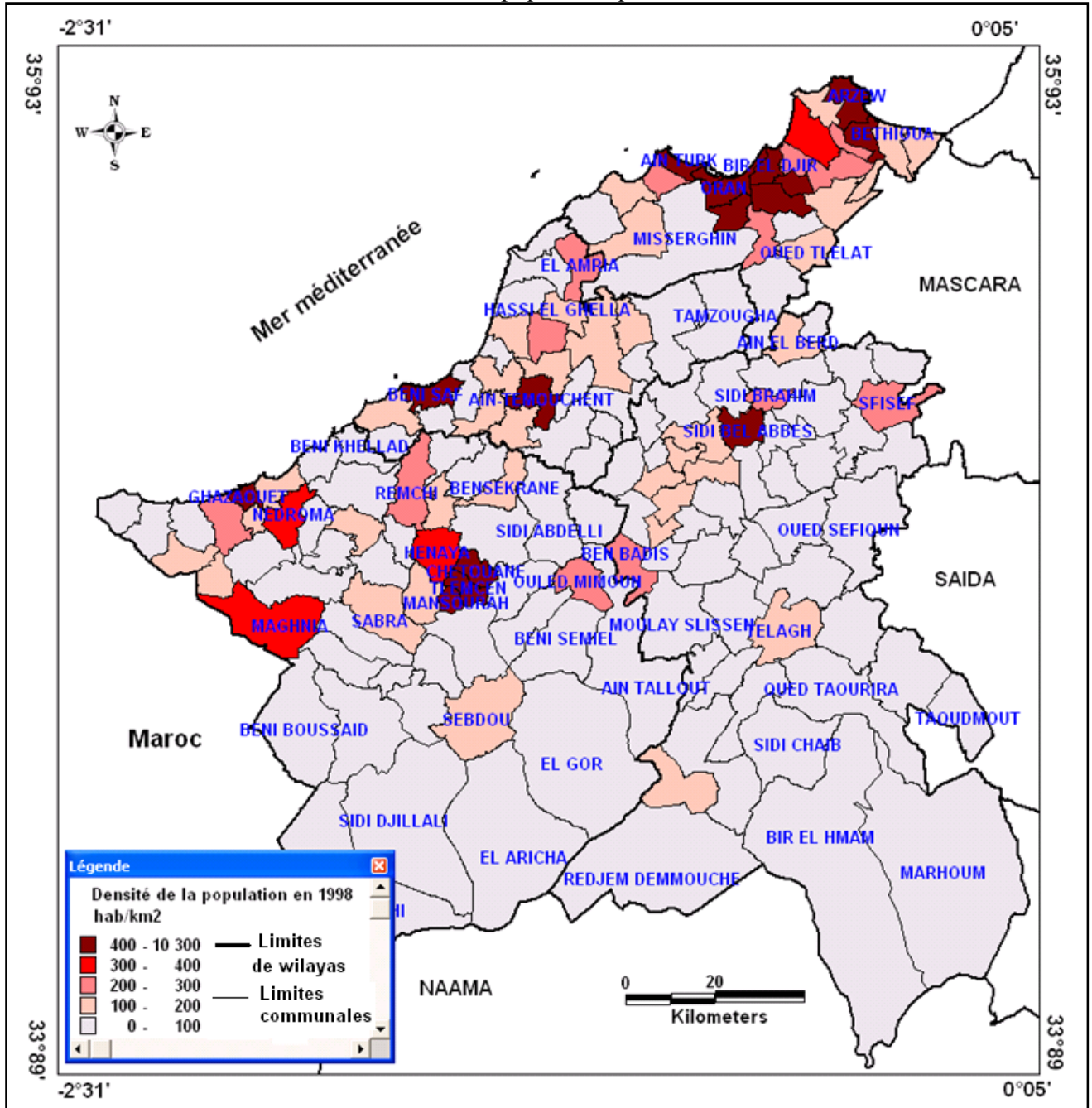
« Ces disparités ne se limitent pas aux zones montagneuses, car les hautes plaines steppiques sont aussi concernées par le faible peuplement. Plus de 30 communes affichent de faibles densités, d'environ 100 habitants/km². Une vingtaine de ces communes ont des soldes migratoires négatifs. Dans les zones steppiques, où l'économie pastorale est dominante, les amplitudes thermiques deviennent importantes et les précipitations ne dépassent guère les 300 mm/an, s'ajoutent à ces conditions naturelles difficiles, la fragilité naturelle des écosystèmes, c'est la désertification. À eux seuls, les éléments naturels ne sauraient expliquer de telles disparités entre le Nord et le Sud ». (GHODBANI et al., 2013)

La densité de la population joue un rôle important dans la gestion des déchets, l'homme est le responsable des rejets de déchets solides et liquides. Au niveau des zones peuplées, on trouve une grande quantité de déchets rejetés, par conséquent des grandes difficultés dans la collecte et l'élimination, et plusieurs problèmes de pollution de l'environnement apparaissent. Le parc industriel important d'origine de l'attraction de ces zones conduit à une forte pollution d'origine industrielle. Par contre au Sud où se trouvent des zones de faible peuplement, les problèmes de pollution et de gestion de déchets sont assez faibles et ne présente aucun danger.

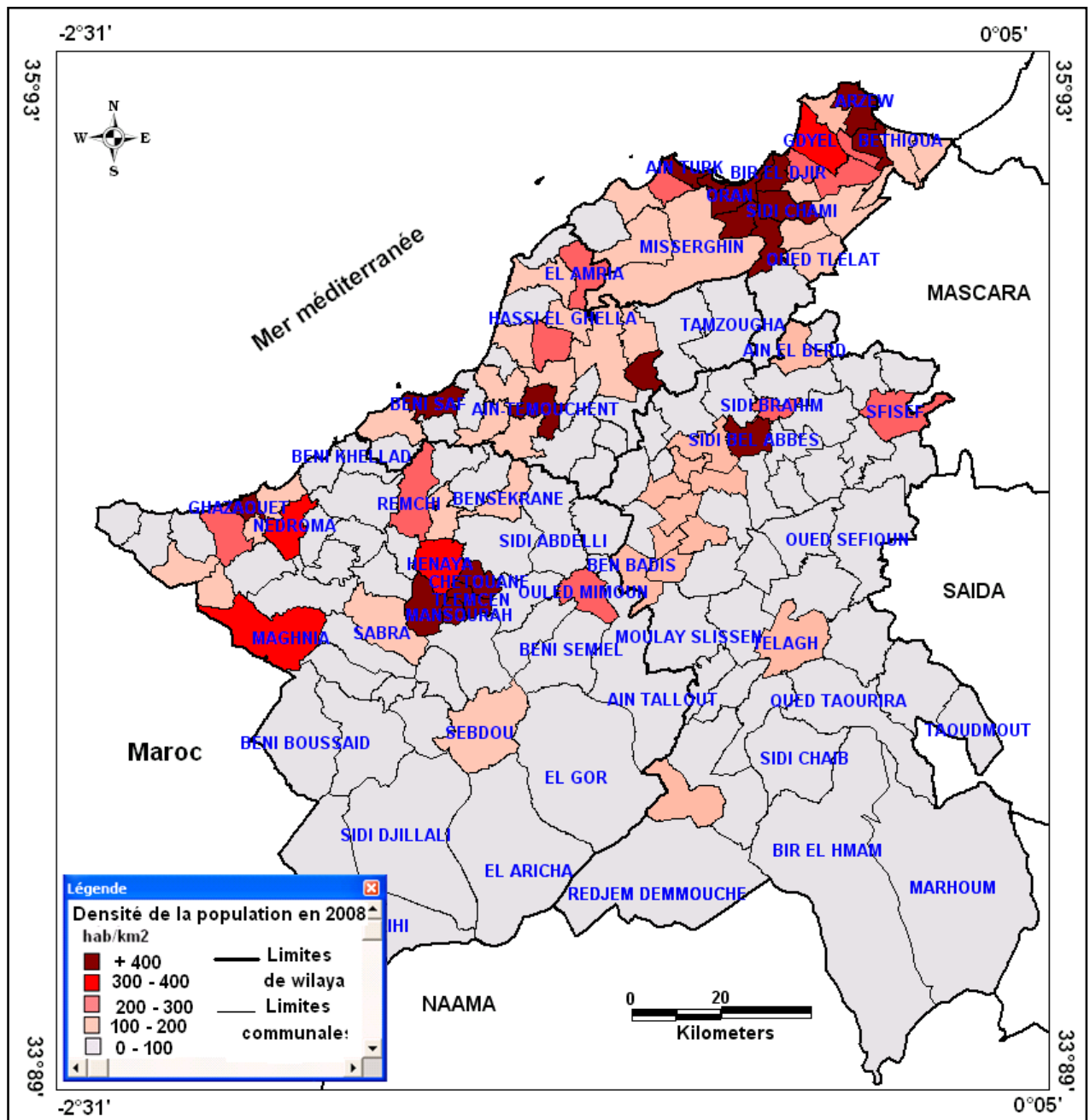
Carte 16. Carte de densité de la population par communes en 1987



Carte 17. Carte de densité de la population par communes en 1998



Carte 18. Carte de densité de la population par communes en 2008



3. La croissance démographique : une évolution alarmante de l'unité urbaine

Plus de cinquante ans après l'indépendance, les villes algériennes souffrent toujours d'une croissance urbaine accélérée, entraînant une grande consommation des ressources foncières (COTE, 1996). La croissance urbaine des villes algériennes et parmi eux les agglomérations de la zone d'étude est devenue non-maîtrisable, leurs couronnes périurbaines s'étendent et se densifient dans un mouvement de forte progression des surfaces urbanisées. Ceci a accentué le dysfonctionnement de la ville. Les villes se développent en périphérie en détriment les terrains

agricoles. Les causes principales de la croissance urbaine sont le mouvement migratoire vers la périphérie urbaine, la croissance démographique et l'accès au foncier.

La croissance de la population urbaine et l'extension continue de l'espace occupé entraînent d'énormes difficultés dans la gestion de l'environnement. Ainsi, les agglomérations de la zone d'étude, comme Oran, Ain Témouchent, Sidi Bel Abbès et Tlemcen, connues pour une croissance urbaine importante, par conséquent, la production des déchets solides et liquides augmente, dont elles ont du mal à se débarrasser.

Afin d'identifier la croissance urbaine dans ces agglomérations, nous avons utilisé des images satellitaires multi-dates des capteurs Landsat 5 et 8, en utilisant des images prises en mars 1987 et mars 2014. Les techniques de la télédétection permettent, non seulement, de déterminer l'évolution urbaine, mais aussi de mesurer les superficies urbanisées. Une analyse multi temporelle fondée sur la détection de l'espace urbain en 1987 et 2014, la superposition de ces deux enveloppes urbaines pour les deux dates, dans un intervalle de 27 ans, permet d'établir les cartes de mutation de l'espace urbain (carte 20 A,B,C,D).

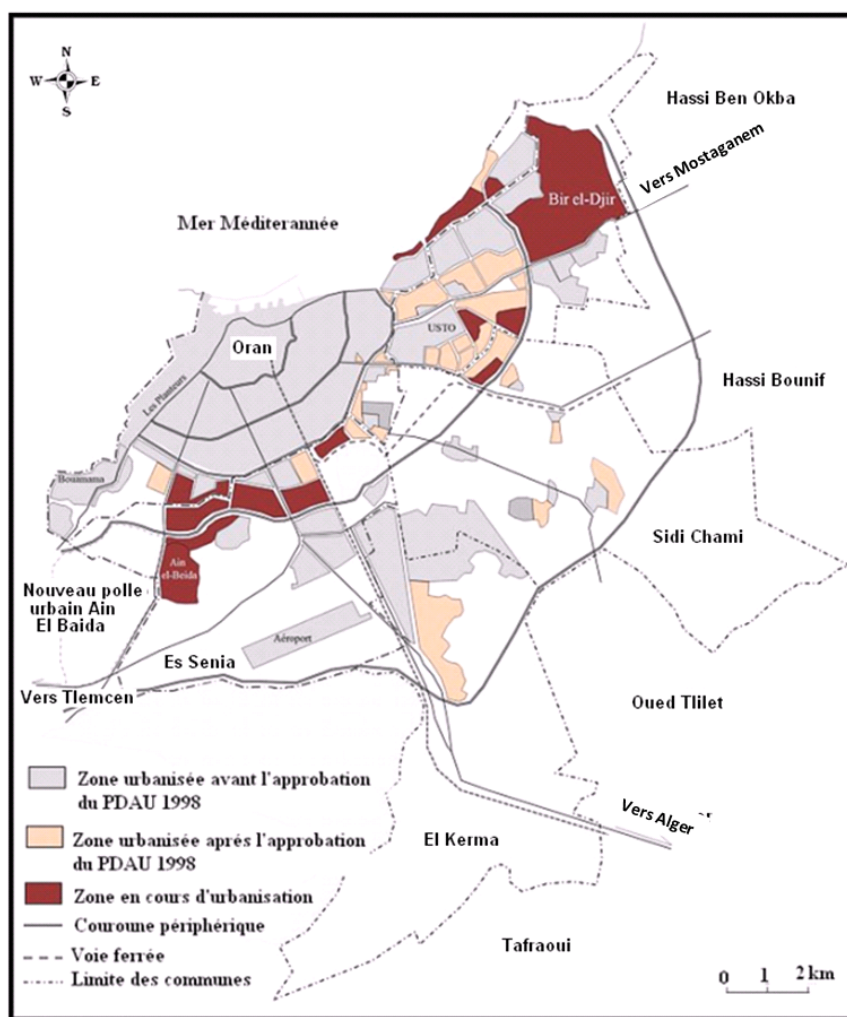
« L'agglomération oranaise continue d'évoluer sous les effets conjugués de l'accroissement démographique et des flux d'immigration ininterrompus. Elle illustre aujourd'hui une production urbaine mal maîtrisée, malgré la formalisation d'une démarche de planification à travers le système PDAU-POS. De fait, l'agglomération oranaise ne cesse pas de s'urbaniser avec un étalement sur les espaces périurbains. Cette extension est portée par la réalisation de nombreux programmes d'habitat. Parallèlement, la réalisation de nombreux équipements publics et privés dans tous les secteurs de la vie sociale accentue la diffusion du fait urbain. L'espace périurbain de l'agglomération d'Oran a connu une extension rapide durant ces dernières années, cette croissance a été faite en général dans la périphérie Est, car à l'Ouest, le massif du Murdjadjo se dresse comme une barrière, au Sud la présence des contraintes naturelles (daya Morsli et la sebkha d'Oran) et l'existence de la zone industrielle d'Es Senia paralysent le développement urbain vers cette partie. Tandis que la zone de Bir El Djir demeure le lieu d'extension par excellence de l'agglomération oranaise » (TRACHE, 2010)..

« Le desserrement de l'espace urbain de la commune d'Oran s'effectue essentiellement vers la couronne périurbaine touchant particulièrement les communes de proche banlieue telle que : Bir El Djir, Sidi Chami, Es Senia, dont les taux d'accroissement respectifs atteignent 11.73 %, 10.14 % et 4.06 %, entre 1987 et 1998. Bien que les communes de Bir El Djir et de Sidi Chami aient enregistré des croissances démographiques comparables au cours des quatre recensements, leurs dynamiques spatiales eurent des manifestations différentes. La commune de Bir El Djir a évolué spatialement et de façon régulière, depuis la jonction avec la ville mère, urbanisant la zone Est de la ville d'Oran, tandis que la croissance spatiale de la commune de Sidi Chami s'est concentrée plus particulièrement sur l'agglomération de Nedjma, dont le taux d'accroissement annuel atteint la valeur exceptionnelle de 20.38 % entre 1987 et 1998 » (TRACHE, 2010).

L'étude de l'évolution spatiale multi-temporelle du groupement urbain d'Oran pour la période allant de 1987 à 2014 a été effectuée à partir des images satellitaires Landsat multi-dates (1987,

2014), traitées sous le logiciel ENVI. L'espace urbanisé du groupement urbain d'Oran en 2014 est estimé à 8 712 ha, soit un additionnel de 5 474 ha par rapport à l'espace urbanisé en 1987, qui est de 3 237 ha. Le groupement urbain d'Oran s'est urbanisé progressivement durant cette période, avec des taux d'accroissement annuel proches de 3 %. Cet étalement est fait en majeure partie dans la commune de Bir El Djir, Es Senia et Sidi Chami. Les taux d'accroissement annuel moyens des populations urbaines d'Oran (- 0.4), Bir El Djir (7.82), Es Senia (5.02) et Sidi Chami (7.88), confirment cette tendance (ONS, 2011).

Carte 19. Processus d'urbanisation à Oran (KADRI et al., 2015)



L'agglomération de Sidi Bel Abbas est construite dans une plaine riche, en 1848, elle a occupé que 51 ha, de 1900 à 1960, la ville s'est développée sur une surface de 480 ha, qui soit une moyenne de 8 ha/an. L'urbanisation de cette ville a été réalisée sur les méandres de l'oued Mekerra, suivant un prolongement d'Ouest en Est. Durant la période de 1960 à 1972, la ville a été marquée par un léger ralentissement de l'urbanisation, elle s'est étalée au Sud et à l'Est. Entre 1972 à 1993, cette ville a connu un développement spectaculaire. L'accès au sol a été d'autant plus facilité par la faible valeur des prix des terrains, qui était fixées administrativement et également en raison de la

prise en charge par le budget de l'Etat du financement de l'essentiel de la viabilité et de l'équipement des terrains. Cette facilité d'accès aux sols urbains n'a pas empêché l'apparition de comportements, aussi bien institutionnels qu'individuels, qui ont dévoyé l'esprit et la lettre de la politique des réserves foncières. Il s'est ensuivi une surconsommation de terrain, des extensions urbaines démesurées, des dépenses de viabilité excessives, le tout couronné par l'émergence d'un marché foncier parallèle, toléré et souvent entretenu, offrant des rentes de situation substantielles.

Les tissus urbains produits ont été dominés, dans une première étape, par les zones d'habitat urbaines nouvelles (ZHUN), la ZHUN Sud-est, première du genre à Sidi Bel Abbès, d'une superficie de 127 hectares. Elle accueille aujourd'hui plus de 5 500 logements pour une capacité fixée initialement à 4 690 logements. Une seconde ZHUN du Nord, d'une superficie de 296 ha et d'une capacité initiale de 7 500 logements, accueille actuellement environ 10 000 unités, soit une densité nette de 70 logements/ha. Enfin une troisième ZHUN du Nord-est, dont l'étude initiale couvrait une superficie de 220 ha (BOUCHENTOUF, 2001).

À partir de la détection des images satellitaires multi-dates, la surface de l'enveloppe urbaine est de 1 622 ha en 1987, elle s'est développée à 2 571 ha en 2014, dans la partie Nord et Nord-est (carte 20 B).

Pour l'agglomération d'Ain Témouchent, au lendemain de l'indépendance, il y a eu d'abord la réalisation du quartier des Chouhada, la cité 312 logts, les sites des communaux et de la CCLS qui sont venus se greffer à la cité Dezan, au quartier des Castors, des 48 logts et d'autres constructions préexistantes. En effet, après le séisme de 1999 qui a touché la zone, l'agglomération s'est développée d'une façon alarmante et progressive, elle a connu des différentes mutations et expansions du tissu urbain, elle a connu la réalisation des grands projets urbains, celui de 1 000 logts et la nouvelle ville Akid Othmane, pour accueillir les sinistrés du séisme dans la partie Nord de l'agglomération. Au niveau du flanc Sud-est de la ville, elle a connu la réalisation d'un nouveau pôle urbain aussi imposant et tentaculaire, ce dernier englobe le centre universitaire, l'hôpital Dr Benzerdjeb et un éventail de structures tertiaires, culturelles et socio-éducatives.

Un boom immobilier qui ne s'est pas fait sans heurts, puisque le vieux Témouchent fut livré à lui-même et soumis à toutes sortes d'agressions, devenu un immense ensemble précaire. Suite au tremblement de terre, il fera l'objet d'une série d'actions de démolition, qui malheureusement n'a pas été suivie d'un plan de régénération du tissu abîmé, d'où l'impression d'un centre-ville totalement déstructuré. À partir des images satellitaires multi-dates, nous avons calculé ces extensions, l'enveloppe urbaine était de 335 ha en 1987, elle s'est développée à 869 ha en 2014 (carte 20 C).

L'agglomération de Tlemcen s'étend sur le territoire de trois communes (Tlemcen, Mansourah, Chetouane). Cette agglomération a connu durant les trois dernières décennies un développement spatial et une urbanisation périphérique important. L'étalement urbain a gagné également des noyaux ruraux et certains sites vierges aux alentours de la ville-mère. Cette urbanisation nouvelle a donné naissance à des espaces différents les uns des autres, de niveau social et de morphologie urbaine différente qui traduisent une nouvelle recomposition socio-spatiale de la ville de Tlemcen.

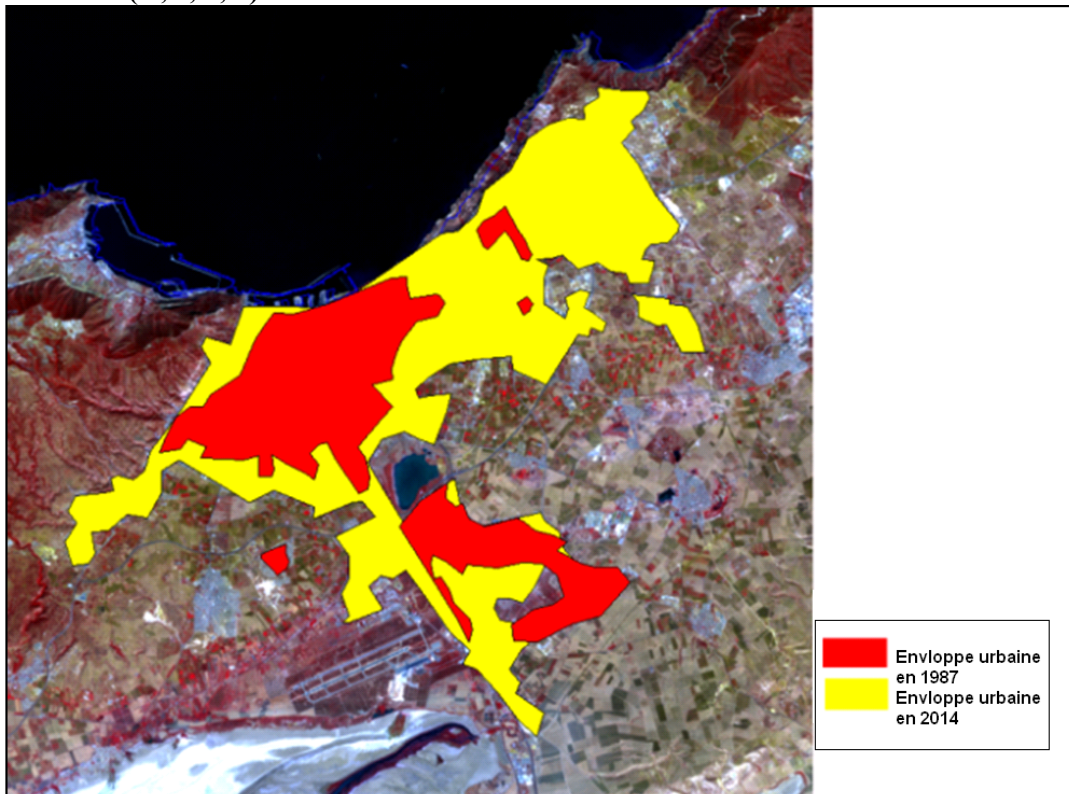
L'étalement de l'agglomération de Tlemcen est fait dans la partie Ouest et Nord au niveau de Mansourah à l'Ouest et Chetouane au Nord. Les taux d'accroissement annuel moyens des populations urbaines de Tlemcen (0.6%), Mansourah (3.3%), Chetouane (3.1%) confirment cette tendance (ONS, 2008).

Selon l'analyse des images multi-dates, nous avons calculé l'enveloppe urbaine en 1987, il est de 1390 ha, il a triplé à 3519 ha en 2014, soit un additionnel de 2 129 ha (carte 20 D), c'est une grande progression du tissu urbain.

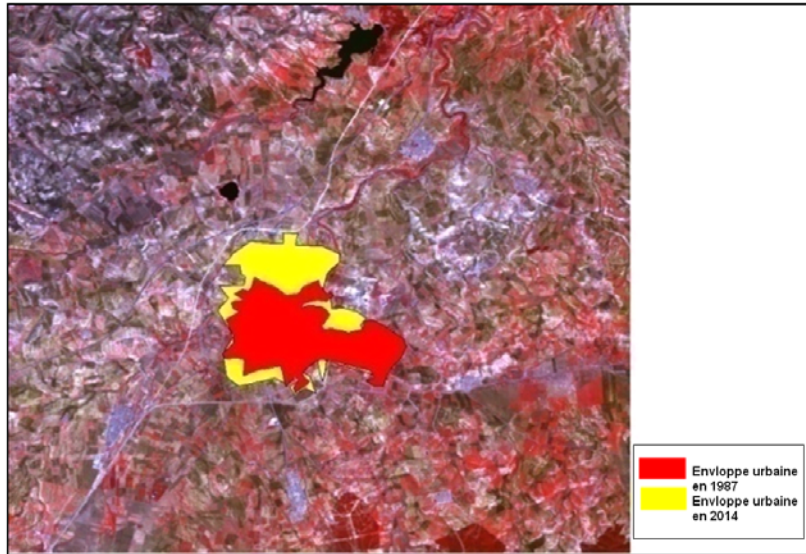
Généralement, l'étalement urbain progressif conduit à différentes contrariantes comme :

Le volume des déchets, domestiques, hospitaliers ou industriels, suit la croissance urbaine. On estime des productions de l'ordre de 200 kg/habitant/an, sont devenues ordinaires. Les modes de collecte et de stockage en décharge, tout comme le nettoyage des rues, figurent dès lors, parmi les défaillances les plus courantes, mais aussi les plus dénoncées par le public.

Carte 20 (A,B,C,D). Évolution de l'extension urbaine en 1987 à 2014 dans les villes



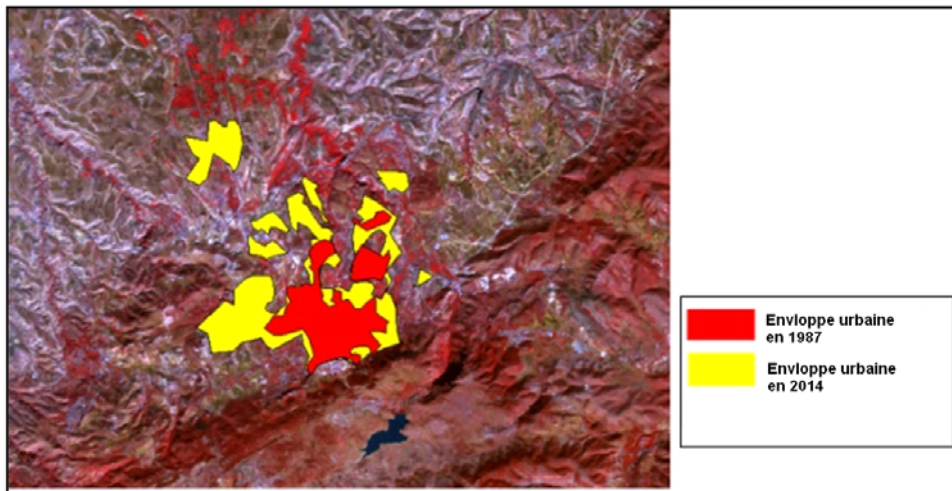
A. Ville d'Oran



B. ville de Sidi Bel Abbas



C. ville d'Ain Témouchent



D. ville de Tlemcen.

4. Forte industrialisation au Nord et impact sur l'environnement

« Le régime économique socialiste a instauré, après l'indépendance, une politique volontariste d'industrialisation, en concédant d'importants investissements pour la construction d'infrastructures dans les agglomérations côtières. Au niveau de l'Ouest algérien, la mise en place d'une industrie pétrochimique à Arzew -Béthioua et de transformation à Oran, Ghazaouet était une conséquence directe, une exacerbation de la polarisation des villes côtières » (SEMMOUD, 1986). « Cette politique a coïncidé avec la promotion administrative de nouvelles agglomérations au rang de wilayas lors des découpages territoriaux successifs. Les effets combinés de ces politiques ont certes renforcé le rôle des pôles littoraux, aidés par une évolution démographique importante, mais ont contribué aussi à faire émerger de nouveaux pôles industriels, régionaux, de l'intérieur, comme ceux de Sidi Bel Abbes et Tlemcen. Les effets sur l'espace se traduisaient alors par un recul remarquable des disparités entre littoral et intérieur. Cette politique de rééquilibrage n'a touché néanmoins que la partie tellienne, les zones steppiques étant très peu intégrées dans le processus de développement industriel » (GHODBANI et al., 2013).

Nous retrouvons un déséquilibre dans la répartition des pôles industriels, très densifié dans la zone littorale et faible au Sud, en particulier la steppe. La carte de localisation des zones industrielles dans la zone d'étude (carte 21) montre clairement ce déséquilibre de répartition de l'industrialisation. La zone littorale d'Oran est très dense par rapport à la zone intérieure et nulle dans la zone steppique. Cette densification de l'industrialisation dans le littoral expose ces endroits aux pollutions, nuisances et autres dégradations de l'environnement.

Les fortes interactions qui existent entre ces activités et l'environnement impliquent un aménagement rationnel et respectueux qui réussisse à concilier les domaines économiques et écologiques, conciliation passant parfois nécessairement par la protection impérative d'espaces sensibles.

Le rôle des industries dans l'essor de l'économie nationale est incontournable, cependant, elles se sont accaparées les meilleurs sites littoraux et aussi sur des bons terrains agricoles et se sont développées au détriment des autres usages liés à la mer et la terre. Elles peuvent en outre, comporter des risques réels pour les agglomérations limitrophes et l'environnement. Notre zone d'étude comprend un pôle industriel important à savoir :

- Au niveau de la wilaya d'Oran, comprends 3 zones industrielles (zone industrielle d'Arzew, d'Es Senia I et II et de Hassi Ameur) et 18 zones d'activités, dont on cite 5 212 industries selon le dernier recensement économique établi en 2011 par l'ONS.
- La wilaya d'Ain Témouchent, comprend deux zones industrielles d'Ain Témouchent et de Beni Saf, dont on cite 840 industries selon ONS 2011.
- La wilaya de Sidi Bel Abbes comprend deux zones industrielles (de Sidi Bel Abbes et de Telagh) et 5 zones d'activités (Ben Badis, Tenira, Sfisef, Mostfa Ben Brahim, Aïn El Berd), dont on cite 1 337 industries, selon l'ONS 2011.

- Et enfin, la wilaya de Tlemcen comporte deux zones industrielles localisée à Chatouane et à Maghnia, et 8 zones d'activités localisées à Mansourah, Bab El Assa, Terny, El Ariche, Chazaouet, Remchy et Hennaya, dont on cite 3 071 industries selon l'ONS 2011.

En matière de l'environnement, ces entreprises évacuent des produits toxiques caractérisés par des teneurs élevées en matières oxydables et organiques. Il s'agit de différents déchets provenant des industries diverses (*Industrie alimentaire, Industrie agricole, Tannerie et textile, Papeterie, Industrie physique, Industrie chimique, Industrie pétrochimie*). L'impact des rejets industriels sur la qualité des eaux marines, de surface et souterraine est en fonction de leur affinité avec l'oxygène, de la quantité de solides en suspension, et de leurs teneurs en substances organiques et inorganiques. Dans le meilleur des cas, une première étape d'épuration se fait sur le site même de production, le reste des eaux usées étant ensuite dirigé vers les systèmes de traitement municipaux. Malheureusement, pour de nombreuses unités de production, les eaux usées retournent dans un cours d'eau sans traitement préalable, ou insuffisamment assainies.

De nombreuses zones industrielles sont implantés directement sur des terrains qui comportent des nappes d'eaux souterraines très sensibles à la pollution. De ce fait, l'industrie est responsable de l'ensemble de la pollution dans la zone d'étude, causée en particulier par les industries pétrochimiques, chimiques et métallurgiques, notamment sur la frange littorale. De plus, la plus grande part du parc industriel s'est développée autour des années 70. Ce parc est devenu vieil et donc très polluant. Nous pouvons citer les zones industrielles importantes qui engendrent une forte pollution de l'environnement, à savoir :

- **Le pôle industriel d'Arzew** : il est situé à 42 km à l'Est d'Oran. Il s'étend sur environ 12 km et comporte quatre communes : Arzew, Ain El Bia, Béthioua et Mersa El Hadjadj. Le pôle a eu pour objectif initial de structurer l'ensemble du territoire dans lequel il est inséré aussi bien au niveau international, national, que local. La zone industrielle comprend deux ports spécialisés et une plate-forme industrielle. Cette plate-forme comprend une concentration élevée de complexes pétrochimiques et de raffinage à haut risque (05 complexes de liquéfaction, une raffinerie, un complexe de production de méthanol et résines, un complexe d'ammoniac, etc.), une centrale électrique de capacité 960 MV, six unités de production (Hélium, Azote, engrais liquides, gaz industriel, emballage...), un réseau de pipes provenant des champs pétrolifères d'Hassi Messaoud et Hassi Rmel et un ensemble d'unités de prestation de services dans les domaines de maintenances industriels, de génie civil et de formation de personnel.

La zone industrielle d'Arzew est le siège d'une pollution incessante. Notons également l'utilisation des eaux côtières pour le refroidissement des centrales électriques thermiques, qui s'ajoutent aux rejets en mer d'un grand nombre de déchets et de polluants qui peuvent être à l'origine de nombreux échouages, de certaines faunes marines, observés sur la côte oranaise (BOUTIBA et al., 2003).

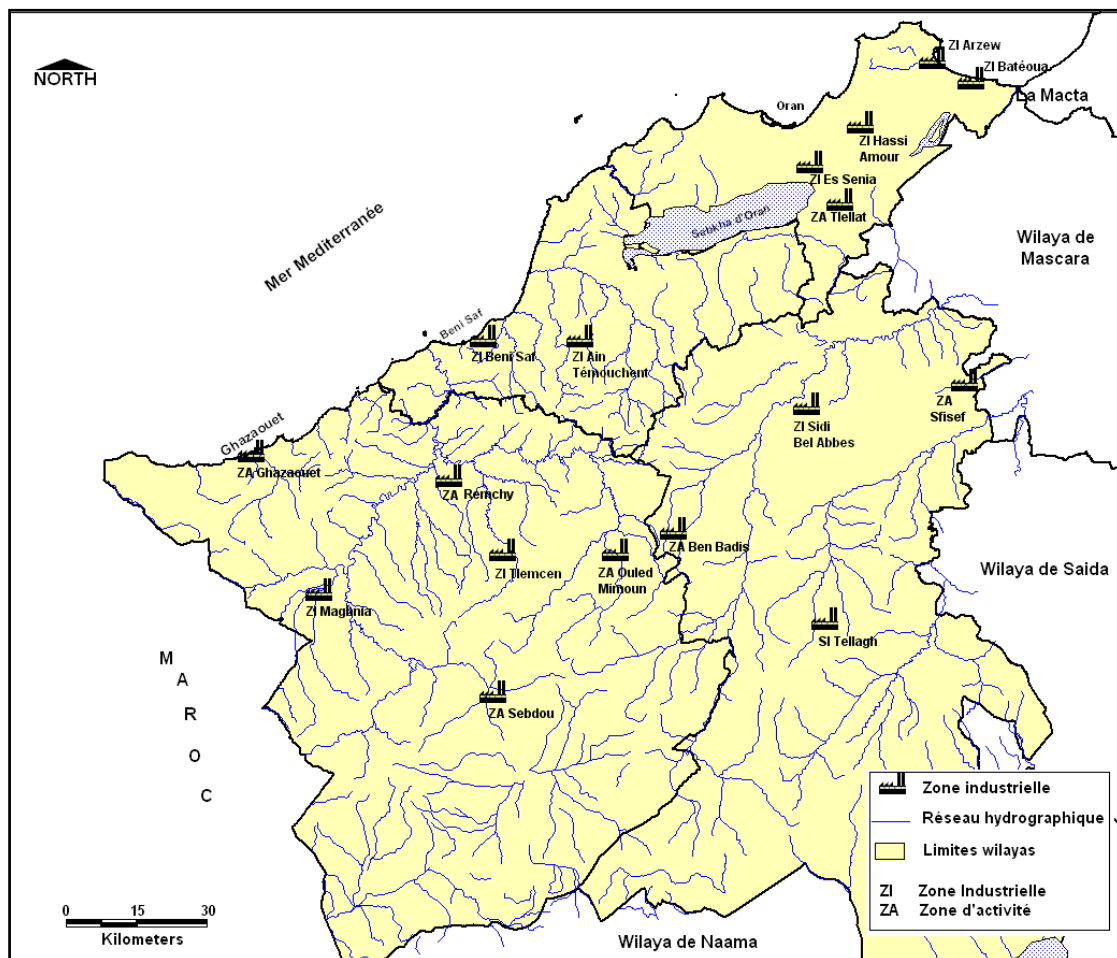
L'existence de la raffinerie d'Arzew a multiplié la concentration de fréquentations importante des navires industriels (pétroliers, méthaniers), qui s'ajoutent aux différentes activités pétrochimiques (stockage et traitement).

- **La zone industrielle d'Hassi Aneur** : elle a été créée au début de la décennie 1970, sur une superficie de 313 ha. Elle a été conçue et construite initialement pour accueillir l'industrie lourde (construction métallique, chaudronnerie, construction de véhicules automobiles, etc.). Les industries productives existant en 1983, comportaient deux types d'unités industrielles de faible densité, la première était métallurgique et la seconde correspond à la production des matériaux de construction. Les industries de service étaient celles de SONELGAZ et SERSID-SNS. Par la suite, l'évolution de la politique économique et industrielle du pays a conduit à une restructuration de la zone industrielle, qui a connu plusieurs transformations. À la fin des années 1990, la zone industrielle comprenait plus de 60 unités et avec l'augmentation du nombre des unités, des types d'industries (chimie, hydrocarbures, etc.) se sont aussi multipliés. Aujourd'hui, avec l'adjonction d'un nouveau lotissement dans la partie Ouest, la zone industrielle se compose de 183 lots.
- **La zone industrielle d'Es Senia** : elle se situe au Sud-est de la ville d'Oran dans les communes d'Es Senia et d'El Kerma, elle a été créée en 1976, elle est d'une superficie de 545 ha dont 323 ha sont utilisables, la superficie totale actuelle est 293 ha. Elle compte environ 300 petites et moyennes entreprises, toutes classées dangereuses, insalubres ou inconfortables, rejetant leurs déchets dans la daya Morsly et la sebkha d'Oran. Aujourd'hui, totalement polluée. Ces entreprises travaillent dans les domaines suivants: agroalimentaire (limonaderie, biscuiterie, conserverie, minoterie, fromagerie, huilerie) ; ameublement ; bateaux, rasoirs bics, cosmétique, colle, peinture, cuirs et chaussures, papier carton, plaque de mousse, pneumatique, lazer cass, textile, transformation de plastique, verre.
- **La zone industrielle d'Ain Témouchent**: située à 2 km au Sud de la ville d'Ain Témouchent, d'une superficie de 130 ha, sur des terrains à haute valeur agricole. La plus importante unité implantée dans la zone, c'est le complexe de fabrication de détergent (ENAD), il a été créé en 1989, d'une superficie de 23.3 ha. Sa conception est axée vers la fabrication de détergents poudres. Il est représenté comme le plus pollueur dans la zone, car il rejette ses eaux usées dans l'oued Chaabet El Ham, un effluent d'oued El Maleh, des eaux usées très toxiques.
- **La zone industrielle de Beni Saf** : localisée à 4 km est de la ville de Beni Saf, la plus importante unité implantée dans la zone, c'est la cimenterie de SCIBS, qui a été créée en 1975, l'activité a débuté en 1989, elle s'étend sur une superficie de 42 ha, elle est située à proximité d'une ZHUN, il représente le pollueur majeur de l'atmosphère.
- **La zone industrielle de Sidi Bel Abbes** : elle englobe le plus grand nombre d'industriels. C'est une zone située à la périphérie Est de la ville, abrite au total quelque 80 entreprises publiques et privées. Mais, parmi lesquelles 37 sont reconnues comme viables et exercent une réelle activité, permanente, dans divers segments de l'électronique, de l'agroalimentaire, des travaux hydrauliques, des minoteries, de la construction métallique, de l'emballage, de la fabrication de cosmétiques, du conditionnement des produits pharmaceutiques, du textile, du bâtiment et des travaux publics, de la récupération, etc. La zone industrielle de Sidi Bel Abbes s'étend sur 494 ha, compte à elle seule une superficie cessible de 434 ha, dont le taux

d'occupation atteint 69%. Les eaux usées industrielles sont rejetées vers oued Elmalah, en majorité sans aucun traitement.

- **La zone industrielle de Tlemcen** : située en contrebas de la ville de Tlemcen, la zone industrielle accueille des dizaines d'entreprises spécialisées dans les activités de la mécanique, l'électricité et la métallurgie, la chimie et le para-chimique, l'agroalimentaire, l'imprimerie, le BTP, les services et commerce, le transport, la menuiserie, les matériaux de construction, le plastique, les textiles, le papier et carton, elle est la plus importante en matière de surface et d'unités industrielles, dans la wilaya de Tlemcen. Cette zone industrielle est située sur la route de Chetouane. Bâtie sur des terrains à haute valeur agricole, sur une superficie de 218 ha, créée à partir de l'année 1970.
- **La complexe électrolyse du zinc de Ghazaouet**: ce complexe est d'une capacité nominale de 40 000 tonnes/an de zinc, 90 000 tonnes/an d'acide sulfurique et 150 tonnes/an de cadmium (MATE, 2003). Ce complexe est responsable d'une forte pollution atmosphérique et pollution marine dans la zone.

Carte 21. Répartition spatiale des zones industrielles et d'activités dans la zone d'étude



Conclusion du 1^{er} chapitre : région riche en potentialités naturelles, mais marquée par un déséquilibre de répartition des populations et des activités économiques

La zone d'étude est localisée dans la région Nord-ouest algérienne, elle représente les quatre wilayas, Oran, Ain Témouchent, Tlemcen et Sidi Bel Abbès. Sa position géographique permet de composer cette zone en trois grandes unités naturelles, la zone littorale et sub-littorale, la zone des bassins intérieurs et la zone sub-steppiques. Chaque unité naturelle est caractérisée par des caractères physiques et socioéconomiques déférents, influe grandement sur la gestion des déchets solides et liquides.

L'importance de caractériser la zone d'étude du point de vue naturelle et socioéconomique, c'est de voir l'influence de ses composantes sur les phénomènes de dégradation de l'environnement. Cette zone est caractérisée par une diversification des unités naturelles connue par des pentes faibles au niveau des plaines (plaines littorales et sub-littorales, plaines intérieures et plaines sub-steppiques) et pentes fortes au niveau des espaces montagneux. La pente contrôle la possibilité d'infiltration des polluants. Les pentes fortes permettent la prédominance des ruissellements, permettant une évacuation des substances polluantes vers l'aval, par contre les secteurs de pentes faibles favorisent l'infiltration d'eaux éventuellement polluées.

Les plaines sont caractérisées par des remplissages alluvionnaires perméables favorisant l'infiltration des polluants, par contre au niveau des espaces montagneux sont constitués par des formations lithologiques imperméables, avec des formations karstiques au niveau des monts de Tlemcen, de Traras et de Tessala.

La nature topographique et géologique de la zone, on permet la constitution d'un réseau hydrographique très développé et dense, composé en trois grands bassins versants, c'est le bassin de la Tafna, le bassin du côtier Oranais et le bassin de Mekerra. Ces bassins ont un écoulement permanent et temporaire.

C'est une zone de climat semi-aride avec deux saisons, une sèche durant les mois de juin à août et une autre saison humide, avec une répartition spatiale des pluviométries obéies aux trois lois : la hauteur de pluie augmente avec l'altitude, mais est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides que sur les versants sous le vent, comme le cas des monts de Tlemcen où nous trouverons les précipitations dépassent 600 mm/an. Elle augmente de l'Ouest à l'Est. Elle diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral, comme le cas des plaines sub-steppiques où les précipitations sont moins de 230 mm/an. L'aridité dure 6 à 7 mois durant l'année, elle joue un rôle important dans le degré de la pollution par les déchets solides et liquides. On remarque une constitution des biogazs sous l'effet de la forte température durant les mois chauds et la stagnation des eaux usées dans les oueds, sous l'effet de l'absence des précipitations, avec une forte pollution des eaux souterraines par la relation permanente entre l'oued et la nappe. Le calcul du bilan hydrique a permis de délimiter la saison excédentaire (5 mois) et la saison déficitaire (7 mois), ce contraste entre ces saisons joue un rôle important dans l'influence et le circuit des polluants.

Au niveau des zones de plaines, le remplissage alluvionnaire, le climat semi-aride, la connexion permanente entre les oueds et la nappe, donne un siège important d'alimentation des nappes. Cette zone possède des ressources en eaux souterraines non-négligeables, doit être protégées et préservées, des aquifères des types alluviaux, tels que les nappes alluvionnaires de Sidi Bel Abbès, d'Hennaya, d'El Kerma et de Maghnia. Des aquifères karstiques profonds au niveau des monts de Tlemcen. Ces ressources en eaux participent largement à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation, mais malheureusement, elles souffrent à une surexploitation et une dégradation intense.

Toutes ses caractéristiques topographiques, formations géologiques, hydrologiques, climatiques et hydrogéologiques ont conduit à un fort déséquilibre entre la zone littorale et les zones d'intérieurs au Sud en terme socio-économique.

La zone littorale a pris un poids démographique et économique important, aux dépens de régions intérieures, suite aux existences des potentialités naturelles importantes, des terrains agricoles fertiles, des ressources en eaux appréciables (barrages et nappes phréatiques), un climat semi-aride tempéré, des moyens de communication importants au Nord par rapport au Sud, une forte industrialisation dans le littoral qui présente une zone d'attraction de la population. « *Plus récemment, on assiste à une densification démographique et des activités économiques. La volonté d'exploiter au maximum les potentialités offertes par le littoral et le lancement de plusieurs projets, sur un espace déjà convoité, encourage l'artificialisation de la côte et, par conséquent, le renforcement de son poids, par rapport aux espaces intérieurs* » (GHODBANI et al., 2013).

Ce déséquilibre de la répartition des populations et des activités entre le Nord et le Sud, au niveau de la zone d'étude, met en exergue des inégalités d'accès aux ressources entre les différents usagers, des problèmes environnementaux d'origine anthropiques et enfin un important décalage entre les instruments de planification et de protection environnemental adoptés, et les enjeux locaux et réels dans l'exploitation des ressources naturelles. En se retrouve en face d'un problème majeur de gestion des déchets dans les régions de Nord par rapport aux régions de Sud. Des fortes exploitations des ressources naturelles et par conséquent une forte dégradation de ces ressources.

Ces problèmes rencontrés et cette situation nous amènent à étudier et évaluer la gestion des déchets solides et liquides dans une zone déséquilibrée entre le Nord et le Sud, cette évaluation nécessite une masse d'informations et de données actuelles à référence spatiales, les nouveaux outils de traitement des données (télédétection et SIG) facilitent le traitement, l'interprétation de cette masse d'informations. C'est pourquoi nous consacrons le chapitre suivant aux traitements de la base de données pour la gestion des déchets solides et liquides.

Chapitre 2

Traitement de la base de données pour la gestion des déchets solides et liquides, méthodes et avantages

Introduction

L'urgence d'une solution pour la meilleure gestion des déchets solides et liquides s'impose chaque jour davantage. Ces dernières années, l'augmentation de leurs volumes, parallèlement à la prise de conscience de la toxicité de leurs stockages, a mis en évidence la nécessité d'une gestion, et par conséquent, d'une élimination et d'une évacuation des déchets plus respectueuse des contraintes environnementales.

Devant la forte croissance démographique et l'évolution des modes de consommation, on se retrouve en face d'une augmentation rapide des volumes des déchets solides et liquides, qui engendrent d'énormes risques sur l'environnement et par conséquent sur la santé publique. Le fort accroissement des décharges, le rejet important des eaux usées sans traitement et la grande diversification des polluants sont susceptibles de dégrader l'environnement.

Dans ce contexte, il est nécessaire d'évaluer et d'analyser la gestion des déchets dans la zone d'étude, cette dernière est caractérisée par une diversification des formes de reliefs, des massifs montagneux et des plaines, un réseau hydrographique très développé favorise des ressources en eau de surface appréciables, doivent être protégées contre les pollutions. Un climat semi-aride avec des moyennes de précipitations entre 300 mm à 400 mm, des faibles ressources en eau souterraine, caractérisées par une surexploitation et une menace qualitative, ainsi qu'un fort déséquilibre entre le Nord et le Sud (le littoral et les bassins intérieurs) en matière de densité de population et d'activités.

C'est la raison pour laquelle, dans le cadre d'une étude de gestion des déchets, que nous avons envisagé ces déchets en tant qu'élément nuisant à la qualité de la vie des citoyens et à l'écosystème. Nous avons cherché à déterminer une méthode qui puisse faciliter l'analyse de la gestion des déchets. Cette analyse se trouve dans une optique d'aide à l'aménagement du territoire. L'analyse de la gestion des déchets et les impacts engendrés ne peuvent se faire qu'à partir d'une collecte, analyse et traitement d'une base de données spatiale et exogène, sous un système d'information géographique (SIG). L'apport d'un SIG dans la gestion des déchets a été traité par plusieurs littératures au niveau mondial, en termes de choix d'un site de décharge et impact des eaux usées. Dans notre étude, nous avons réalisé une nouvelle démarche et méthode qui sert à analyser les sites de mise en décharge et des milieux récepteurs des eaux usées urbaines, en termes d'impact sur l'environnement et sur l'homme, et la faisabilité environnementale de ces sites.

L'objectif principal du deuxième chapitre, c'est de montrer l'apport de la base de données au sein d'un SIG dans la gestion des déchets et l'évaluation des défaillances de cette gestion. Au cours de ce chapitre, nous avons présenté la méthodologie générale, suivie pour l'analyse des sites d'élimination des déchets solides et la gestion des eaux usées dans la zone d'étude, ainsi que, nous

avons montré l'apport des données de télédétection (images satellitaires et modèles numériques de terrains) dans la présente étude, arborer les méthodes et les techniques de traitement des données spatiales.

La réalisation de l'analyse de la gestion des déchets nécessite l'utilisation des données cartographiques multi-sources, comme les données géologiques, hydrogéologiques, climatiques, pédologiques et démographiques, qui renseignent sur l'aspect de la nature du sol, la perméabilité des formations lithologiques, la nature de l'aquifère, la recharge de la nappe et enfin le volume de production des déchets. L'analyse de ces données se fait en utilisant des techniques de traitement variées, afin d'aboutir à une base de données sous un SIG, qui facilite l'évaluation de la gestion des déchets.

Un système d'information géographique (SIG) est défini par THERIAULT (1995) comme étant « *un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données à références spatiales, utilisées pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, stimuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique* ». Il s'agit donc d'un outil informatique qui stocke et gère les informations ayant une référence au territoire.

Dans le domaine de la gestion des déchets, les avantages fournis par les SIG sont nombreux. Tout d'abord, les SIG permettent une évaluation de la situation des sites pollués. Il est, en effet, plus aisé de se représenter la réalité, en ayant un support visuel comme la carte thématique. Avec le SIG, les utilisateurs peuvent interpréter et évaluer l'état actuel des sites pollués. La visualisation rapide de ces informations peut permettre aux différents acteurs de la gestion des déchets de localiser des zones prioritaires en matière de préservation et d'aménagement. Les acteurs et décideurs peuvent ainsi voir où se situent les problèmes et où il est préférable, en urgent, d'agir immédiatement. Ceci permet, non seulement, d'agir plus rapide, mais aussi d'une manière coordonnée et mieux adaptée à la spécificité de chaque zone (BAPANDI DONATIEN IDANI, 2010).

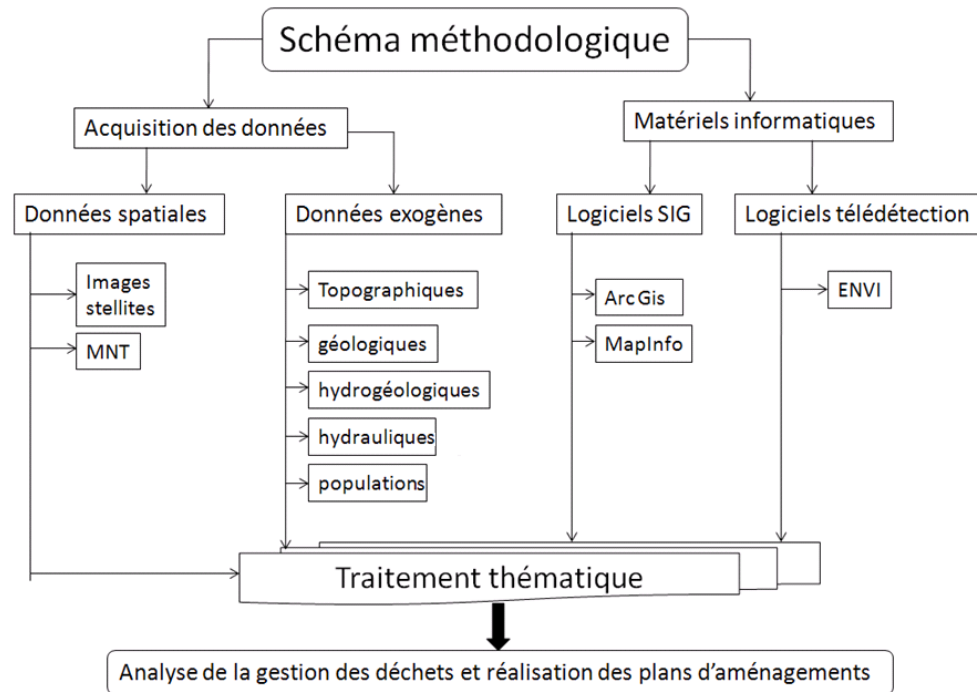
I. Schéma méthodologique : démarche suivie pour l'analyse de la gestion des déchets

La zone d'étude présente une zone fragile, sensible et facilement exposée à des risques de dégradation de l'environnement, l'analyse des composantes naturelles et socio-économiques a montré le déséquilibre entre le littoral et l'intérieur, ce déséquilibre conduit à une forte densification et littoralisation, qui amène à multiples problèmes environnementaux, dus aux productions des déchets. Ceci nécessite une grande préservation, à cet effet, l'analyse de l'état actuelle des sites pollués par les déchets solides et liquides présente une urgence et une nécessité.

Afin de donner une vision globale sur l'état des sites de mise en décharge et des milieux récepteurs des eaux usées, qui représentent les sites pollués en premier degré, nous avons suivi une démarche très claire, basée sur l'utilisation des données multi-sources, qui servent à analyser la faisabilité environnementale des décharges et des centres d'enfouissements techniques, ainsi que les points de rejets des eaux usées, ces derniers présentent les premières sources de dégradation des ressources en eau et un danger permanent pour l'homme. La méthode suivie s'appuie

essentiellement sur le traitement et l'analyse d'une base de données décrite en organigramme suivant (figure 7).

Figure 7. Organigramme du schéma méthodologique général de l'étude



Pour la réalisation de l'évaluation de la gestion des déchets solides et liquides, nous avons collecté, analysé et obtenu des informations multi-variées à partir des données spatiales et exogènes. Les données spatiales sont des données prises par des capteurs satellites, comme les images satellitaires et les modèles numériques de terrains (MNT).

Ces données de télédétection constituent, actuellement, une grande importance pour l'aménagement du territoire, comptent de leurs avantages, elles permettent d'obtenir des informations fiables et multi-temporelles de la zone d'étude. Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé des données du capteur, ASTER, SPOT5 et ALSAT -2A et LANDSAT 8. Deux scènes d'images satellitaires à moyenne résolution acquises du capteur Landsat 8 ont été utilisées, l'une prise en 24 mars 2014, couvre la zone de Tlemcen et Ain Témouchent et une autre prise en 24 avril 2014, couvre la zone d'Oran et de Sidi Bel Abbes. Une image ASTER prise en 2002, couvre la zone de Sidi Bel Abbes et une autre image à très haute résolution du satellite SPOT 5 prise en 2004, couvre la région d'Oran. Pour les données du satellite Algérien ALSAT -2A, nous avons utilisé une image prise en mois de juillet 2016, couvre la zone de Sidi Bel Abbes. Nous avons utilisé, aussi, la mosaïque de 4 scènes du modèle numérique de terrain ASTER d'une résolution de 30 m prise en 2002 (tableau 9).

Tableau 9. Caractéristiques des images satellitaires utilisées

Capteurs	Images (Path et Row)	Date	Résolution spatiale	Bandes	Taille (Km)
Landsat 8	Image 1 (198-36)	24 – 03- 2014	Pan : 15 MS :30	11	185 x185
	Image 2 (198-35)	24 – 04 - 2014	Pan : 15 MS : 30	11	185 x 185
ASTER	Image 1	11-05-2002	15	14	60 x 60
SPOT 5	Image 1	2004	2.5	4	60 x 60
Alsatsat -2A	Image 1	Juillet 2016	Pan :2.5 MS : 10	1 4	17.5 x17.5

Source : traitement personnel, 2016

La mise en œuvre pratique à une gestion appropriée aux déchets et leurs impacts, dans la zone d'étude, impliquent une disposition et une intégration des plans d'informations provient des données exogènes multi-sources. Ces données sont :

- 15 cartes topographiques à l'échelle 1/25 000, 6 cartes à l'échelle 1/50 000 et 2 à l'échelle 1/200 000, scannées et callées selon la projection UTM ellipsoïdes WGS 80 Fuseaux 30 ;
- 3 cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 (carte d'Oran, de Sidi Bel Abbes et de Tlemcen) ;
- 2 cartes hydrogéologiques à l'échelle 1/100 000, d'Oran et de Sidi Bel Abbes ;
- Les données des compagnes piézométriques collectées auprès de l'ANRH ;
- Données de la production des déchets solides et liquides par communes dans la zone d'étude.

Pour la réalisation de ces bases de données nécessaires pour la gestion des déchets, nous avons utilisé plusieurs logiciels, dont chacun a une application bien spécifique. Des logiciels SIG et des logiciels de traitement des images satellitaires (télédétection). Nous avons utilisé Arc Gis 10, ce dernier est un logiciel du SIG, développé par la compagnie privée ESRI (Environmental Systems Research Institute), qui représente le leader mondial dans le domaine du SIG. Il est très utilisé pour la cartographie, combiné des données avec des couches via un ensemble d'outils d'analyse spatiale. Modéliser ou développer vos propres outils et les appliquer à des cas d'usages variés. Pour créer, gérer et partager l'information géographique de toute nature : tables attributaires, données vecteurs, rasters, carte en ligne, 3 Dimension. Ce logiciel a été utilisé pour la numérisation, stockage de la base de données, les méthodes d'interpolations, l'édition et la modélisation et le croisement des données.

Nous avons utilisé le logiciel MapInfo, c'est un outil de type système d'information géographique qui sert à créer de l'information géographique, à traiter et à manipuler cette information et à cartographier de différentes manières. MapInfo autorise et facilite l'accès et la manipulation de données situées dans des bases distance, grâce à ses supports de connexion ODBC et Oracle Spatial Object. Ce dernier permet de stocker à la fois des objets spatiaux et des informations attributaires dans la même base, il offre la possibilité de travailler très facilement sur des documents vectoriels, il permet également l'édition et l'habillage de documents rasters. Il fournit une variété de fonctionnalités de visualisations et d'édition incluant l'ouverture multiple de tables, la gestion de l'affichage et de l'étiquetage des couches, la création et modification d'analyses

thématiques, la manipulation des vues, la recherche d'informations associées à une couche, la gestion des unités et des projections (BARBIER, 2003).

Nous avons utilisé le Vertical Mapper, c'est un logiciel complémentaire important de MapInfo, les principaux apports de Vertical Mapper concernant les mises à disposition des nouvelles techniques d'analyse des informations localisées qui varient de manière continue dans l'espace, la capacité de comparaison et d'analyse de multiples couches de données, établir de différents profils au moyen d'un MNT et la représentation en trois dimensions du terrain.

Dans le domaine de la télédétection, nous avons utilisé le logiciel ENVI (Environment for Visualizing Images), c'est un outil de traitement des images optiques et radars, il est destiné à détecter les objets dans l'image, il est développé par la société RSI (Research Systems). ENVI décompose chaque pixel en fonction des éléments élémentaires le constituant (eau, végétation, bâtiments...). À partir d'une cible connue, ENVI est capable de détecter directement toute autre cible de même signature spectrale. Le format utilisé par ENVI est raster brut associé à un fichier entête ASCII (texte). Le fichier entête (header) contient toutes les informations utiles au logiciel pour lire le fichier : dimension de l'image, résolution, projection cartographique, etc. L'avantage principal d'ENVI permet de lire les données optiques (empilement possible de plusieurs centaines de plans images) que nous utiliserons pour gérer et analyser les fichiers multi-dates.

La démarche suivie pour l'évaluation de la gestion des déchets solides et l'analyse des impacts des rejets des eaux usées et les propositions des plans d'aménagement, s'appuie essentiellement sur les traitements et les analyses d'une base de données à références spatiales, proviennent de différentes sources. Toutes ces données ont été intégrées au sein d'un SIG (données cartographiques, statistiques et auxiliaires), en exploitant les différentes potentialités et fonctionnalités des SIG.

Un SIG pour l'évaluation des sites pollués est un premier objectif de cette démarche méthodologique. Ceci fait appel à la mise au point des règles d'implantation d'une décharge en combinant les différentes techniques d'analyse spatiale disponible dans un outil d'information géographique. Cette approche intègre les données des paramètres naturelles (géologiques, hydrogéologiques, hydrographiques, topographiques, couvert végétal, etc.), paramètres sociaux (zones protégées, trafic routier, proximité des producteurs des déchets, exposition visuelle, sensibilité de la population, etc.). Tous ces paramètres ont une influence sur le degré de risques environnementaux liés à un site pollué. Ces données ont été traitées et rendues superposables entre elles.

La protection de l'environnement contre les risques de pollution exige l'introduction des paramètres naturels et anthropiques, comme l'occupation du sol, la topographie, la lithologie, l'hydrologie, le climat et l'hydrogéologie. À partir des images satellitaires à moyenne et haute résolution, on peut cartographier l'occupation du sol et les infrastructures routières, avec la détection des différents sites pollués dans la zone d'étude.

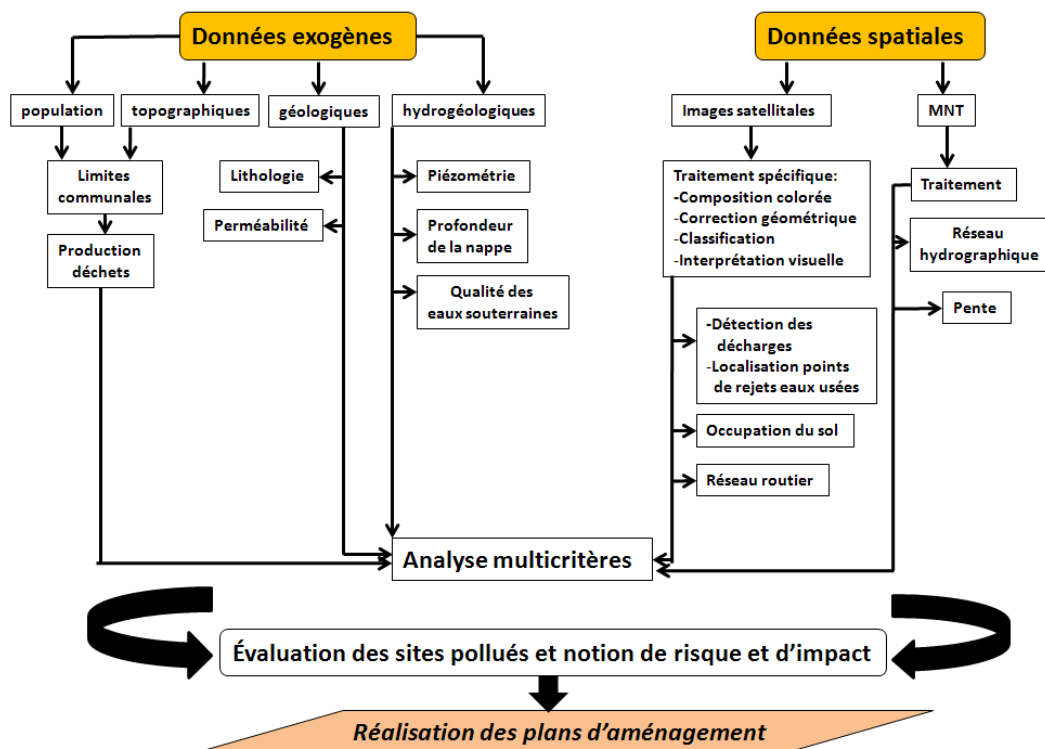
Le facteur important à prendre en compte dans l'évaluation des sites pollués, c'est la pente des terrains, c'est un facteur d'infiltration ou de ruissellement, ce paramètre est dérivé d'un modèle numérique de terrain (MNT). À partir d'un MNT ASTER, nous pouvons établir la carte des pentes et l'extraction automatique du réseau hydrographique hiérarchisé. Les données lithologiques et hydrogéologiques servent à cartographier la perméabilité des formations, la piézométrie et la profondeur de la nappe.

Les étapes qui ont été suivies pour la réalisation de cette étude sont :

1. La collecte des données spatiales et exogènes.
2. Nous avons employé trois types de méthodes pour élaborer des cartes thématiques en format raster et vecteur susceptibles à la gestion des déchets et à la pollution, la première méthode c'est, la scannarisation et la digitalisation des documents en format papier, la deuxième méthode c'est, le traitement numérique des données de télédétection, et enfin, la dernière méthode c'est, la création des documents sur la base des données ponctuelles en utilisant des techniques variées d'interpolation et de modélisation, en fonction du type de données concernées, de la densité et de la qualité des données à disposition (EBENER, 2000).
3. Enfin, c'est la superposition et le croisement des couches d'informations et cartes thématiques réalisées, avec l'application des méthodes et des fonctionnalités des SIG.

Cette démarche méthodologique est présentée en organigramme (figure 8).

Figure 8. Organigramme de la démarche méthodologique détaillée



II. Réalisation de la base de données à partir des données de la télédétection et données cartographiques et statistiques : phase essentielle pour la gestion des déchets

L'analyse des sites de décharge et des centres d'enfouissement techniques ainsi que l'étude des milieux récepteurs des eaux usées avec l'élaboration des plans d'aménagement nécessaires pour aider à préserver l'environnement et protéger les ressources naturelles, présentent l'objectif principal de cette recherche, afin d'atteindre cet objectif, nous avons besoin d'une masse d'informations multi-sources à référence spatiale au sein d'un système d'information géographique. La masse d'information est pluridisciplinaire comporté les données de la télédétection, les données topographiques, les données géologiques, les données hydrologiques, les données hydrogéologiques et les données démographiques.

La démarche suivie dans le cadre de cette recherche consiste à la réalisation d'une base de données spatiale et exogène dans un système d'information géographique (SIG) comme un système d'aide à la décision. Pour la réalisation de chaque information, des techniques de spatialisation variées ont permis la création de documents spatiaux de base, en format raster ou vecteur. Dans ce contexte, un apport considérable de la télédétection a été retenu, comme outil puissant d'analyse spatiale. Les données exogènes utilisées ont montré leurs performances dans le traitement de la problématique de la gestion et l'impact des déchets.

1. La télédétection : est-il un outil puissant dans les études de la gestion des déchets ?

La télédétection est un ensemble des connaissances et des techniques permettant de déterminer certaines caractéristiques physiques et biologiques de points observés, à partir de mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci. La télédétection est fondée sur l'enregistrement et l'interprétation des rayonnements émis ou réfléchis, appareil, capteur de télédétection (lexicographie, centre national des ressources textuelles et lexicales, France).

Son intérêt est considérable par le caractère homogène, synoptique et répétitif des observations sur des superficies importantes, par des données numériques exploitables directement sur ordinateur pour les calculs de surfaces, de déplacements de phénomènes dynamiques et d'autres traitements possibles, par sa complémentarité avec des bases de données et des modèles numériques en vue d'une synthèse de l'information image, numérique et symbolique. « *Elles couvrent un large spectre d'applications, nombreuses et diversifiées, parmi lesquelles une aide à la gestion et à la recherche des ressources naturelles (agricoles, halieutiques, minérales, de ressources en eau, etc.), une étude environnementale, de l'évaluation des dégâts causés par les catastrophes naturelles et anthropiques, suivie de la dynamique de la désertification, de l'aménagement du territoire, de la cartographie thématique, etc.* » (TIMOULALI et al., 2000).

La télédétection trouve une place primordiale en aménagement urbain et environnemental. En effet, la mise en place d'un aménagement de l'environnement nécessite une connaissance approfondie de l'espace. L'utilisation des données satellitales permet d'analyser le milieu d'une manière exhaustive et surtout plus dynamique (PAIN-ORCET et al., 1998).

La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un vecteur. **La cible** est la portion de la surface terrestre observée par le satellite, **la source d'énergie** est l'élément qui "éclaire" la cible en émettant une onde électromagnétique, **le vecteur** ou plate-forme de télédétection mesure l'énergie solaire (rayonnement électromagnétique) réfléchi par la cible. Le rayonnement électromagnétique (REM) mesuré par les instruments du satellite a été transformé par la cible. Chacun des objets spatiaux (bois, champ, bâtiment, lac, plage...) transforme différemment le REM, en fonction des quantités absorbées, transmises ou réfléchies. C'est grâce à cette combinaison singulière (% réfléchi + % absorbé + % transmis) qu'il va être possible d'identifier la nature d'un objet. Cette combinaison est appelée **signature spectrale** (mesure quantitative des propriétés spectrales d'un objet dans une ou plusieurs bandes spectrales). On parlera néanmoins plus volontiers de **comportement spectral**, concept prenant en compte la variabilité temporelle des signatures spectrales, ainsi que leurs variations en fonction des conditions météorologiques, des saisons, des conditions d'éclairage.

Une image satellitaire est donc une matrice de pixels. Le terme de pixel est la plus petite surface homogène constitutive d'une image enregistrée. Chaque pixel possède une valeur radiométrique représentant la moyenne des mesures radiométriques effectuées sur la surface qu'il représente sur le terrain, les mesures les plus fortes sont codées en blanc et les plus faibles en noir, générant ainsi un dégradé de gris. Chacun des pixels est coloré en fonction de sa valeur radiométrique, ce qui construit au final une image. Cette image est caractérisée par sa résolution spatiale, sa résolution spectrale, sa résolution radiométrique et sa résolution numérique.

L'utilisation des images satellitaires dans les études de reconnaissance de sol et de traitement des phénomènes environnementaux nécessite des prétraitements et des traitements spécifiques des images. Les prétraitements sont des opérations effectuées sur les images en amont de tous traitements, de façon à les corriger ou les améliorer géométriquement et thématiquement. Il existe trois types de prétraitements : les corrections radiométriques, les corrections géométriques et les corrections atmosphériques.

1.1. Traitement des données satellitaires

Avant la réalisation des couches d'informations extraites par les données de télédétection, une étape indispensable de traitement des images satellites est suivie. Les divers traitements appliqués aux images ont un seul objectif, c'est de faire ressortir les informations recherchées. L'utilisation des images satellitaires nécessite une chaîne de traitement suivant : composition colorée, correction géométrique, classification des images et interprétation visuelle.

1.1.1. Composition colorée des images : utilisation du proche infra rouge et le rouge pour la discrimination de la biomasse végétale et les sols minéralisés

Toutes les couleurs sont formées par l'addition de la lumière des trois couleurs primaires additives : rouge, vert et bleu (procédé utilisé pour afficher de la lumière sur un écran par exemple). En partant du noir, c'est-à-dire l'absence de lumière, on va ajouter des quantités variables de lumière rouge, vert et bleu pour afficher une couleur précise. Chaque couleur est donc une combinaison singulière des trois couleurs primaires, la couleur blanche étant l'addition des trois couleurs primaires à intensité maximale. Ce procédé s'appelle synthèse trichromie additive. L'information apportée par un seul canal ne permet pas toujours de donner un détail satisfaisant, pouvant refléter de près ce qu'on espère ressortir à partir des données télé détectées.

La composition colorée a été obtenue à partir d'une superposition de trois canaux, en affectant à chacun l'une des trois couleurs fondamentales : Bleu, Vert, Rouge ; c'est-à-dire, en associant les couleurs primaires dans l'ordre de classement correspondant à leur longueur d'onde à savoir : proche infrarouge, rouge, bleu, utilisée comme image de référence.

Selon notre problématique, nous avons besoin aux deux canaux du domaine visible (B2 et B4) ainsi que celui du proche infra rouge (B5) du satellite Landsat 8. Le codage des trois canaux d'une image Landsat 8 : le canal B5 (proche infrarouge) est codé en rouge, le canal B4 (rouge) est codé en vert et le canal B2 (vert) est codé en bleu. Le résultat est appelé composition colorée.

1.1.2. Correction géométrique des images : phase essentielle pour la superposition et le croisement des données

La correction géométrique de l'image est nécessaire afin de la rendre superposable, soit à des cartes, soit à d'autres images, sous des coordonnées communes. Il existe deux façons de corriger géométriquement les images, la méthode par le modèle de navigation du satellite et la méthode polynomiale par prise de points d'appui. Dans notre travail, nous avons utilisé la méthode polynomiale par prise de points d'appui. La reventilation au plus proche voisin qui affecte à tout pixel de la nouvelle image le pixel le plus proche dans l'image d'origine. C'est la méthode la plus simple et elle n'altère pas la valeur originale.

Les images du capteur Landsat 8 sont déjà corrigées géométriquement, nous avons établi une rectification de ces images par rapport à des cartes topographiques. Les données extraites des cartes géologiques et topographiques ne sont pas superposables aux images satellitaires, et même si elles sont superposables, nous trouverons d'importants décalages au niveau des limites administratives, les limites des couches lithologiques, ce qui est un problème pour le travail de croisement des données. À cet effet, il est nécessaire de rectifier les images utilisées par rapport aux fonds cartographiques. La rectification implique la modification de la géométrie d'une image, en l'adaptant à une grille cartographique de base. La qualité de la correction géométrique doit être jugée, non pas seulement sur la base de la qualité de la transformation aux points d'appui, il nous faut aussi une série de points de vérification qui sert à évaluer l'erreur planimétrique, une fois la correction réalisée.

Nous avons choisi les points d'appui dont la répartition spatiale est sur l'ensemble des scènes. Nous avons obtenu le fichier de point de calage (*.PTS) propre au logiciel ENVI sur lequel se base la correction géométrique. Le critère d'une bonne correction se définit à l'évaluation l'écart moyen quadratique appelé (RMS) qui est calculé automatiquement par le logiciel ENVI, une bonne correction a un RMS égale à 1 pixel (+ou- ½).

Après le calage des cartes topographiques à l'échelle 1/50 000, nous avons sélectionné 17 points d'appui à partir des cartes topographiques, et sur l'image satellite Landsat 8 prise en 2014. Les cartes sont établies en 1972 et 1960, donc il y a beaucoup de changements par rapport à l'image en 2014, à cet effet, la sélection des points a été retenue sur la base des formes naturelles. La première étape, consiste à trouver des points d'appui (dits aussi de calage ou d'amer) communs entre la source de référence (cartes topographiques) et l'image à corriger. La seconde étape, consiste à calculer la relation entre points sources et points de référence. Plus il y a de déformations et plus il faut utiliser un modèle de déformation de degré élevé, c'est-à-dire un polynôme de déformation à degré élevé et plus le nombre de points d'amer nécessaire est élevé. La troisième étape, consiste à appliquer le polynôme de déformation sur l'image à corriger, pour créer une nouvelle image dans le référentiel choisi. Dans notre travail, un model polynomial du second degré et un algorithme de reventilation du plus proche voisin ont été utilisés. Cette méthode est très rapide et conserve les valeurs radiométriques d'origine, c'est la méthode utilisée lorsqu'on travaille avec les valeurs radiométriques, comme les classifications des images. Nous avons établi la correction avec un RMS de 0.97, les images du Landsat (pixel de 30 m), une erreur de 0.97, correspond à 29.1m au sol.

Figure 9. Points de contrôle choisis et erreur quadratique moyenne « RMS » de la correction.

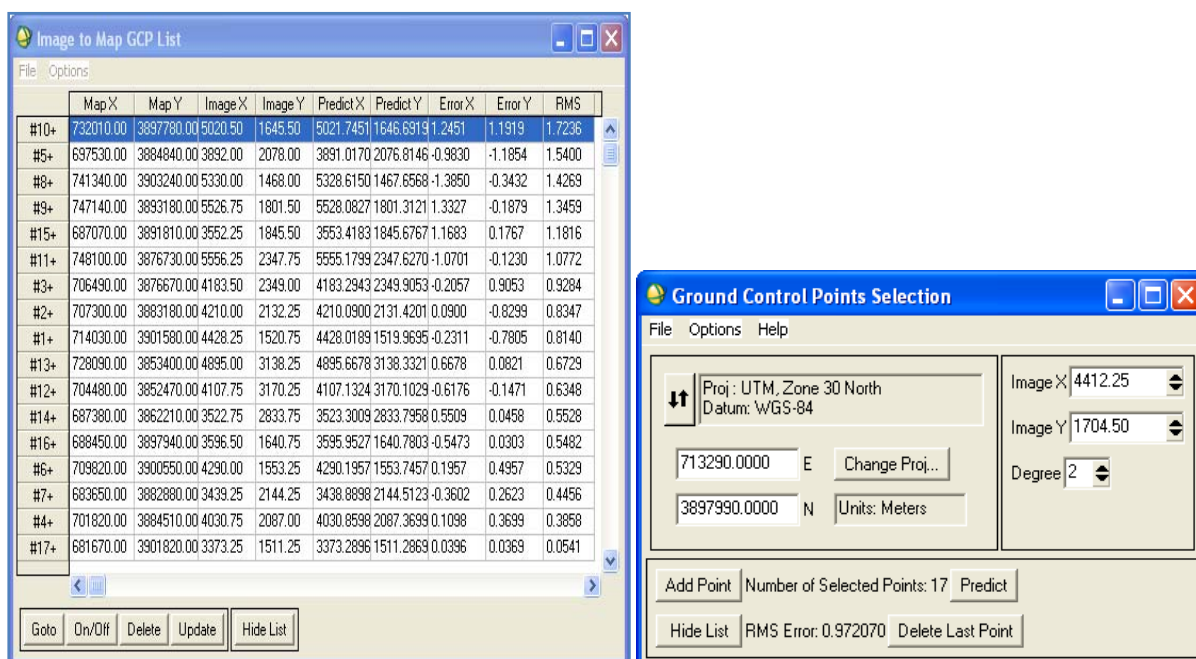
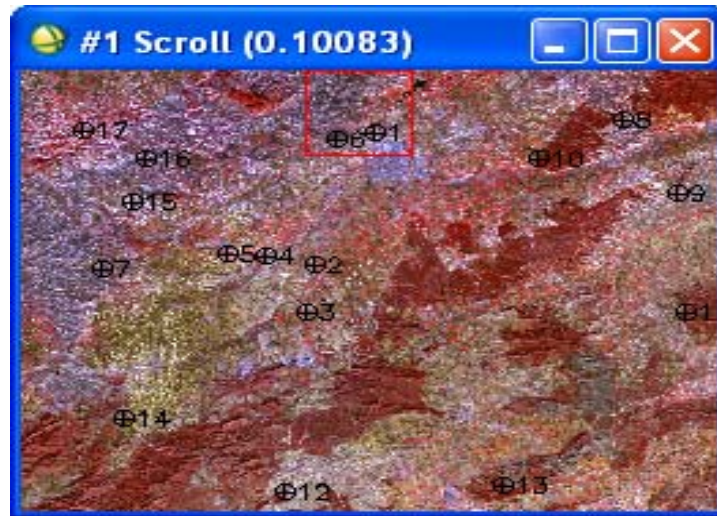


Figure 10. Localisation des points d'appuis sur l'image à corrigée



1.1.3. Classification supervisée des images à moyennes résolutions : méthode de réalisation des cartes d'occupation du sol

KLUSER (2000) définit l'occupation du sol comme « est la couverture physique observée, que ce sera depuis le sol ou grâce à un instrument de télédétection. Elle comprend la végétation (naturelle ou plantée), les sols et les constructions anthropiques (bâtiments, routes, etc.), qui recouvre la surface terrestre, l'eau, la glace, les surfaces rocheuses ou sableuses ». L'occupation du sol est une série d'activités entreprises pour produire un ou plusieurs biens ou services.

« La végétation influence positivement sur l'infiltration en ralentissant l'écoulement de l'eau à la surface, lui donnant ainsi plus de temps pour pénétrer dans le sol. D'autre part, le système racinaire améliore la perméabilité du sol. Le feuillage protège le sol de l'impact des pluies et diminue par voie de conséquence le phénomène de battance » (BOULGHORBA, 2006). La végétation est la résultante des facteurs physico-géographiques (relief, lithologie et climat) à laquelle s'ajoute le facteur anthropique via le défrichage et la mise en culture, ainsi le reboisement. Son influence sur l'écoulement de surface autant que souterrain ne peut être négligée, d'une part en diminuant la force vive des eaux pluviales, et d'autre part en favorisant l'infiltration.

La répartition de la pluie efficace entre le ruissellement et l'infiltration est en fonction du couvert végétal, l'emplacement optimal d'une décharge dépend de la couverture du sol, à cet effet, la connaissance de l'occupation du sol dans la zone d'étude est très importante, car elle peut identifier les zones d'infiltration et de ruissellement et donc les zones de contamination de la nappe et du sol.

Pour la réalisation des cartes d'occupation du sol, nous avons utilisé les techniques de traitement informatique spécifique des images satellitaires, comme la classification multi-spectrale. Cette classification d'une image de télédétection consiste à une reconnaissance automatique des réflectances. Elle consiste à regrouper divers objets en sous-ensembles d'objets (les classes). Elle peut être supervisée dont les classes sont connues a priori, elles ont en général, une sémantique

associée. Elle peut être non supervisée, dont les classes sont fondées sur la structure des objets, la sémantique associée aux classes est plus difficile à déterminer.

Nous avons basé sur la classification supervisée. Le principe de cette classification est de regrouper les pixels à des classes thématiques, basées sur une connaissance préalable de la zone à étudier. Les classes sont définies sur la base des zones d'apprentissage, qui sont des échantillons représentatifs des classes. Cette méthode de classification passe par plusieurs étapes, à savoir :

A. La définition de la légende :

Sur la base de l'interprétation visuelle de la composition colorée (RGB) et les sorties sur le terrain dans la zone d'étude, nous avons établi une légende exhaustive de différentes classes, ces classes ont été sélectionnées sur la base du guide d'utilisation de Corine Land Cover, réalisé en février 2009 par l'agence européenne de l'environnement. Les classes suivantes ont été retenues :

- **La forêt.**
- **Les milieux à végétation arbustives et/ou herbacée :** végétation arbustive ou herbacée avec arbres épars. Les formations pouvant résulter de la dégradation de la forêt ou d'une recolonisation/régénération par la forêt.
- **Les végétations clairsemées :** comprends les steppes, toundras et "bad lands" (zones sèches avec peu de végétation). Végétation éparse de haute altitude, végétation de faible densité dans les plaines.
- **Les sols nus :** éboulis, falaises, rochers, affleurements, sols nus
- **Les jachères :** pâturées, mais dont le fourrage peut être récolté mécaniquement, y compris des zones avec haies (bocages) et les jachères.
- **Les terrains de l'agriculture :** terres arables hors périmètres d'irrigation, périmètres irrigués en permanence, cultures permanentes.
- **Les plans d'eau :** étendues d'eau, naturelles ou artificielles, de plus de 25 ha.
- **Les zones urbanisées :** tissu urbain continu.
- **Les zones incendiées :** zones affectées par des incendies récents.
- **Les accumulations sableuses.**
- **Schott et sebkha.**

B. Sélection des échantillons représentatifs :

Pour chaque thème d'occupation, nous avons identifié sur l'image des zones représentatives appelées échantillons. Deux jeux d'échantillons sont définis, des échantillons d'apprentissage, qui permettront de décrire les classes en matière de valeurs, et des échantillons de validation, qui serviront à la vérification de la classification.

La sélection des échantillons d'apprentissage : les classes sont décrites en matière de paramètres statistiques (valeur moyenne, minimum, maximum, variance, etc.), calculées à partir des zones d'apprentissages sélectionnées sur l'image. Nous avons masqué la classe zone urbanisée sur les

images, afin d'éviter les confusions avec les sols nus, nous avons sélectionné ensuite 8 échantillons sur les images 2014 représentant les types d'occupation du sol.

La réalisation de la classification des images nécessite la mesure de la séparabilité entre les différentes classes identifiées, ce calcul de la distance spectrale interclasses fournit des statistiques qui varient entre 0 et 2.

- $x < 1.0$ (séparabilité très faible, 0 implique une confusion totale entre deux classes)
- $1.0 < x < 1.9$ (séparabilité faible)
- $1.9 < x < 2.0$ (bonne séparabilité, 2 séparabilité parfaite avec aucun risque de confusion).

C. Choix d'un algorithme de classification : algorithme de maximum de vraisemblance

Il est utile de choisir un algorithme de la classification, ainsi que les règles de décisions appropriées. Il existe quatre algorithmes ou méthodes de classification supervisée, qui sont : minimum distance, mahalanobis distance, parallélépipèd, maximum likelihood (maximum de vraisemblance).

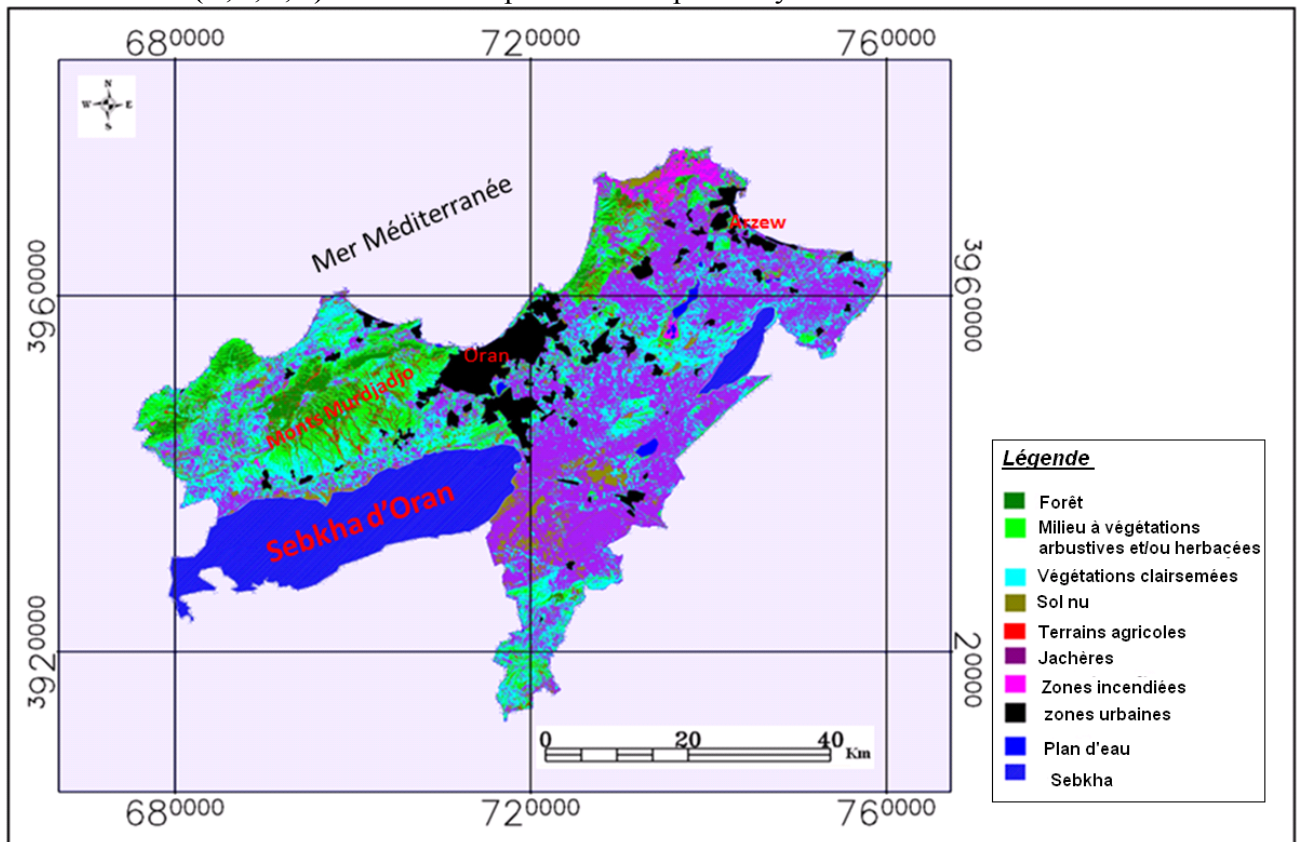
Dans le cadre de la classification effectuée, nous avons choisi l'algorithme de maximum likelihood (maximum de vraisemblance), et ce pour plusieurs raisons, à savoir :

- la distribution des pixels dans chaque classe suit une loi normale ;
- la méthode calcule la probabilité d'appartenance d'un pixel à une classe donnée, le pixel sera affecté à la classe pour laquelle la probabilité est la plus forte ;
- cette méthode classe tous les pixels sauf si on applique un seuil probabilité (en dessous duquel les pixels de très faibles probabilités ne seront pas classés) ;
- elle présente l'avantage de minimiser les erreurs de la classification.

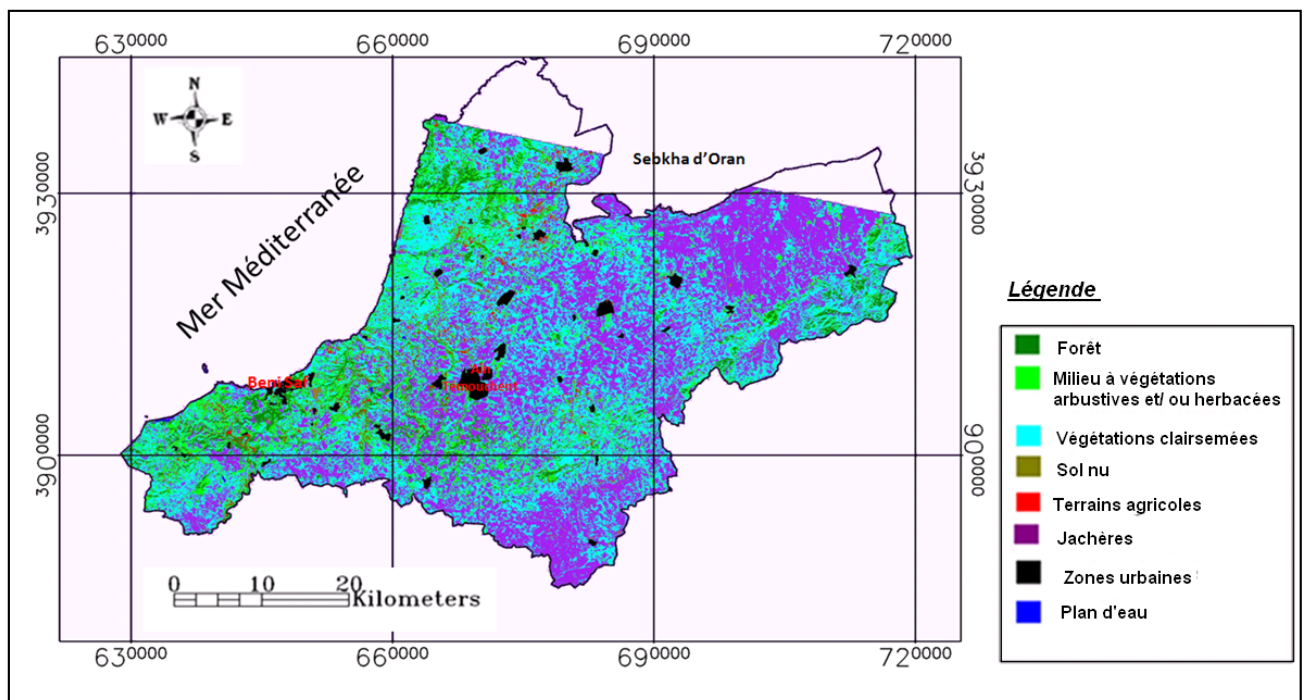
D. Lancement de la classification :

À ce stade, tous les pixels de l'image sont classés selon l'algorithme de classification choisi. Enfin, nous pouvons avoir des cartes d'occupation du sol pour chaque wilaya dans la zone d'étude (carte 22. A,B,C,D).

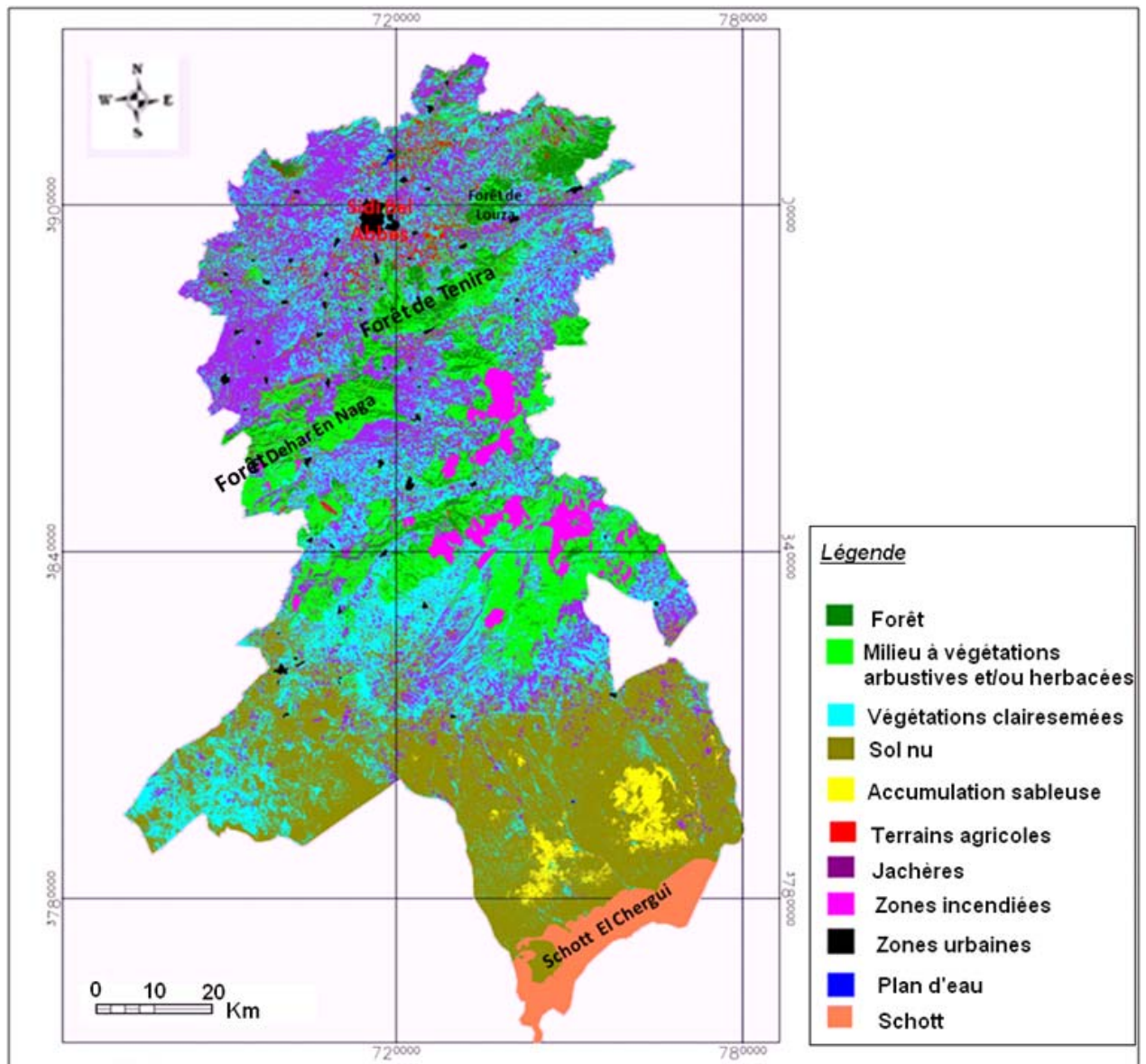
Cartes 22. (A,B,C,D) Cartes d'occupation du sol par wilayas dans la zone d'étude en 2014



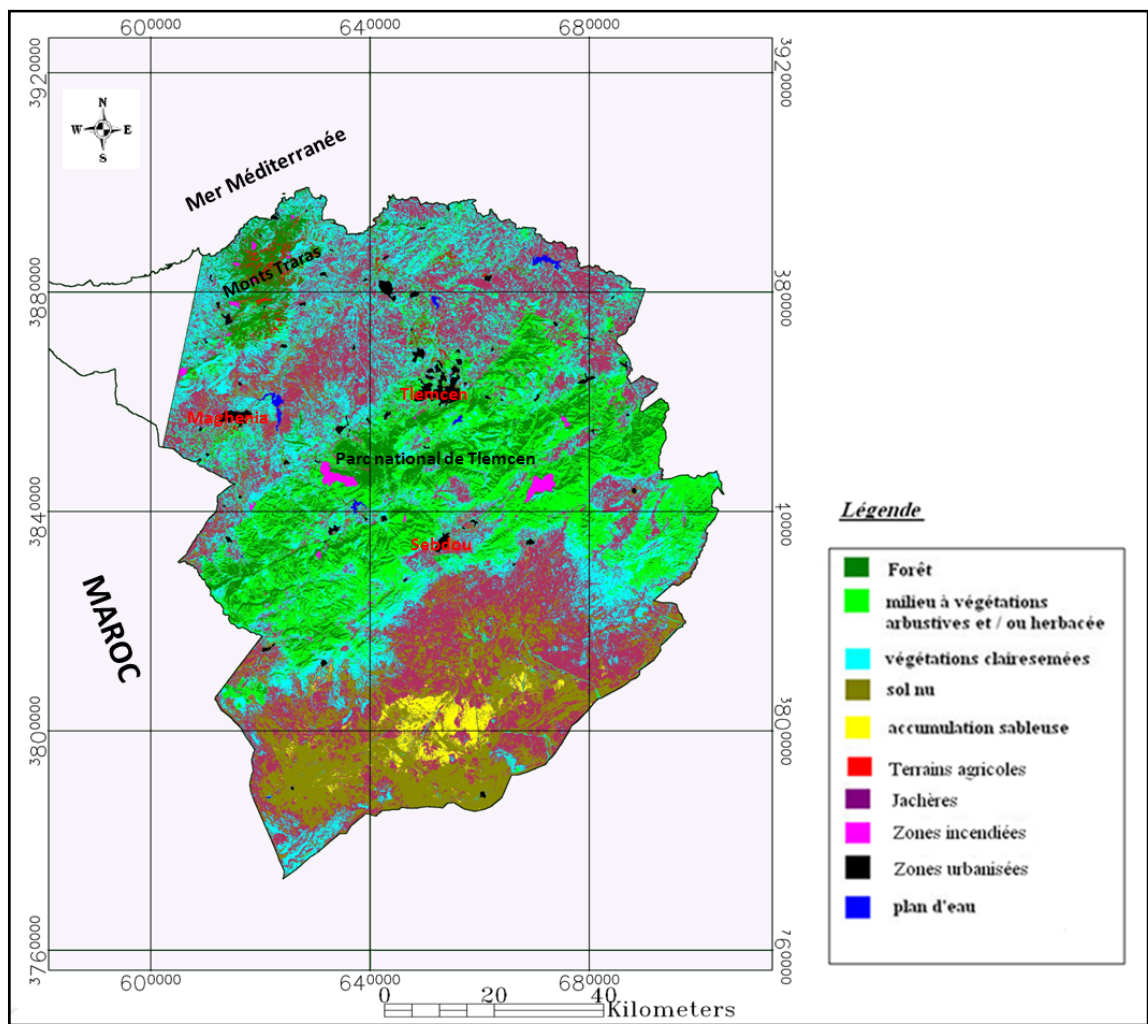
A. Wilaya d'Oran



B. Wilaya d'Ain Témouchent



C. Wilaya Sidi Bel Abbes



D. Wilaya de Tlemcen

E. *Évaluation de la classification* : (matrice de confusion)

Les échantillons de validation se font sur la base d'un échantillon de pixel vérifier sur le terrain, l'échantillonnage se fait sur l'ensemble de l'image. Pour notre cas, nous avons identifié ces échantillons selon la reconnaissance du terrain et sur la base de l'interprétation visuelle de l'image. Pour évaluer notre classification, nous avons établi une matrice de confusion qui permet de mettre en valeur le calcul du pourcentage de précision des classifications.

La matrice de confusion permet de confronter des échantillons de validation au résultat de la classification et d'évaluer la précision de la classification par rapport à la référence sur les échantillons de validation.

Tableau 10 (A,B,C,D). Matrices de confusion des images classées

classes	Plan d'eau	Sol nu	Zone incendiée	Forêt	Jachère	Milieux à végétation arbustive	Terrain agricole	Végétation clairsemée	User accuracy	Commission
Plan d'eau	87.43	0	0	0	0	0	0	0	100	0
Sol nu	0	100	0	0	1.68	0	0	0	97.89	2.11
Zone incendiée	12.57	0	94.29	0	0	0	0	0	75.86	24.14
Forêt	0	0	0	79.82	0	0	1.45	0	98.91	1.09
Jachère	0	0	5.71	0	98.32	0	0	0	96.69	3.31
Milieux à végétation arbustive	0	0	0	18.42	0	100	0	0	55.75	44.25
Terrain agricole	0	0	0	0	0	0	98.55	58.00	97.14	2.86
Végétation clairsemée	0	0	0	0	0	0	0	42.00	100	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100		
Producer accuracy	87.43	100	94.29	79.82	98.32	100	98.55	42.00		
Omission	12.57	0	5.71	20.18	1.68	0	1.45	58.00		
Précision globale	665/745 (89.26%)									
coefficient Kappa	0.87									

A. Matrice de confusion pour image d'Oran

classes	Plan d'eau	Jachère	Terrain agricole	Sol nu	Milieux à végétation arbustive	Forêt	Végétation clairsemée	User accuracy	Commission	
Plan d'eau	100	0	0	0	0	0	0	100	0	
Jachère	0	99.2	0	4.5	0	0	0	97.64	2.36	
Terrain agricole	0	0	98.57	0	0	0	6.82	95.93	4.17	
Sol nu	0	0	0	95.45	0	0	0	100	0	
Milieux à végétation arbustive	0	0	1.43	0	48.57	0	2.27	94.44	5.53	
Forêt	0	0	0	0	7.14	100	0	92.86	7.14	
Végétation clairsemée	0	0.8	0	0	44.29	0	90.91	55.56	44.44	
Total	100	100	100	100	100	100	100			
Producer accuracy	100	99.2	98.57	95.45	48.57	100	90.91			
Omission	0	0.8	1.43	4.55	51.43	0	9.09			
Précision globale	460/505 (91.08)									
coefficient Kappa	0.89									

B. Matrice de confusion pour image d'Ain Témouchent

classes	Plan d'eau	Accumulations sableuses	Terrain agricole	Forêt	Milieux à végétation arbustive	Sol nu	Végétation clairsemée	Jachère	User accuracy	Commission
Plan d'eau	94.9	0	0	0	0	0	0	0	100	0
Accumulations sableuses	0	57	0	0	0	0	0	0	100	0
Terrain agricole	0	0	100	0	2.78	0	0	0	97.27	2.73
Forêt	0	0	0	97.32	0	0	0	0	100	0
Milieux à végétation arbustive	0	0	0	2.68	96.3	0	0	0	96.3	3.7
Sol nu	0	28	0	0	0	98.17	0	0	79.26	20.74
Végétation clairsemée	0	0	0	0	0.93	1.83	96.7	0	96.7	3.3
Jachère	5.1	0	0	0	0	0	3.3	100	75.79	24.21
Total	100	100	100	100	100	100	100	100		
Producer accuracy	94.9	57	100	97.32	96.3	98.17	96.7	100		
Omission	5.1	43	0	2.68	3.7	1.83	3.3	0		
Précision globale	773/834 (92.68%)									
coefficient Kappa	0.91									

C. Matrice de confusion pour image de Sidi Bel Abbes

classes	Plan d'eau	Accumulations sableuses	Sols nus	Forêt	Terrain agricole	Milieux à végétation arbustive	Végétation clairsemée	Jachère	User accuracy	Commission
Plan d'eau	97.03	0	0	0	0	0	0	0	100	0
Accumulations sableuses	0	100	0	0	0	0	0	0	100	0
Sols nus	0	0	100	0	0	0	0	0	100	0
Forêt	0	0	0	99.18	22.08	0	0	0	100	12.32
Terrain agricole	0	0	0	0	77.92	0	0	0	100	0
Milieux à végétation arbustive	0	0	0	0.82	0	98.39	8.97	0	87.68	6.15
Végétation clairsemée	0	0	0	0	0	1.61	91.03	12.5	78.02	21.98
Jachère	0	0	0	0	0	0	0	87.5	100	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100		
Producer accuracy	97.2	100	100	99.18	77.92	98.39	91.03	87.5		
Omission	2.97	0	0	0.82	22.08	1.61	8.97	12.5		
Précision globale	743/788 (94.28%)									
coefficient Kappa	0.93									

D. Matrice de confusion pour image de Tlemcen

Les matrices de confusion calculées représentent une **précision globale** de 89.26 % pour l'image d'Oran, 91.08 % pour l'image d'Ain Témouchent, 92.68 % pour l'image de Sidi Bel Abbes et 94.28 % pour l'image de Tlemcen, de pixels bien classés par rapport au total des pixels, donc les matrices de confusion traduisent une bonne classification des images.

Commission (l'erreur d'excédent) : correspond à l'affectation de pixels d'une classe calculée (échantillons d'apprentissage) à d'autres classes des données de référence (échantillons de validation), elle est calculée selon les lignes.

Omission (l'erreur de déficit) : correspond à l'affectation des pixels d'une classe de référence (échantillons de validation) à d'autres classes calculées (échantillons d'apprentissage), elle est calculée selon les colonnes.

Producer accuracy (précision pour le réalisateur) : correspond au pourcentage de pixels issus des classes de référence bien classées dans les groupes d'affectations, elle est calculée selon les colonnes.

User accuracy (la précision pour l'utilisateur) : représente le pourcentage de pixels bien classés (par rapport au nombre total de pixels de la classe), elle est calculée selon les lignes.

F. Occupation du sol très diversifiée : plan d'eau important à Tlemcen, domaine forestier concentré à Tlemcen et Sidi Bel Abbes, agriculture sylvo pastorale à la steppe et irriguée au Nord

« L'utilisation des espaces constitue une donnée de référence fondamentale pour cerner les carences en matière d'exploitation rationnelle des ressources et apprécier les altérations causées aux facteurs naturels garants de l'équilibre écologique » (FERKA, 2006).

Grâce aux atouts considérables dont disposent la wilaya de Tlemcen et de Sidi Bel Abbes (couverture forestière, nappes locales et aux tendances de consolidation de l'activité agricole et pastorale) et malgré les contraintes parfois persistantes (aridification du climat, concurrence sur l'eau, migrations rurales, maintien des systèmes de culture extensive), ces deux wilayas présentent

des zones agricoles de production viable à moderniser. Ces deux wilayas se caractérisent par une double vocation : au Nord, sur les plaines (plaine de Sidi Bel Abbès, plaine d'Hennaya et plaine de Maghnia) et les bas piémonts dominant l'activité agricole pluviale ou en irriguer, et sur les massifs et les hautes plaines steppiques se pratiquent l'activité sylvo-pastorale.

Ces wilayas sont caractérisées par un important domaine forestier au niveau des monts de l'Atlas tellien comme les monts de Traras, de Tessala, de Tlemcen et de Dhaya. Ces forêts sont très exposées au risque d'incendie, dont nous avons sélectionné des zones incendiées, cette classe est très importante durant l'année 2014, nous avons trouvé d'importants espaces incendiés dans la forêt des monts de Dhaya, la forêt des monts de Tlemcen, mais les plus importantes sont localisées dans la wilaya de Sidi Bel Abbès.

Les végétations clairsemées qui représentent des espaces de faible densité de végétation et les zones de bad lands, les zones de steppes, ce type de classe est très important au niveau de la steppe de Tlemcen et de Sidi Bel Abbès.

La zone sub-steppique dans ces deux wilayas est caractérisée par la présence des accumulations sableuses, c'est un effet de la désertification, nous constatons d'importantes accumulations sableuses au niveau de la steppe de Sidi Bel Abbès par rapport à la steppe de Tlemcen. Le Sud de Sidi Bel Abbès est très touché par les phénomènes de la désertification. Les sols nus au niveau de ces wilayas sont localisés, par des superficies importantes, au Sud de Tlemcen et de Sidi Bel Abbès.

La wilaya de Tlemcen présente des plans d'eau importants représentés par des barrages, nous citons les barrages de Boughrara, Mefrouche, Beni Bahdel, Sikkak et Sidi Abdelly, mais malheureusement, sont très exposés aux risques de la pollution, par les rejets des eaux usées urbaines et industrielles. Par contre la wilaya de Sidi Bel Abbès est caractérisée par la présence d'un seul important barrage, qui est le barrage de Sarno au Nord de la ville de Sidi Bel Abbès.

Au niveau de la wilaya d'Oran, le patrimoine forestier compte environ 45 680 ha, localisé notamment au niveau des monts Murdjadjo et monts d'Arzew. Les terrains agricoles occupent une importante surface au niveau de la plaine d'El Kerma, de Tlellat de Bousfer et le plateau d'Arzew, ces terrains sont connus par la pratique d'irrigation intensive.

La wilaya d'Ain Témouchent présente des terrains de forte valeur agricole, au niveau de la plaine d'El Maleh et le plateau d'Ain Témouchent, par contre, le patrimoine forestier présente des superficies limitées, au niveau de la forêt de Bouzedjar, de Beni Saf et les monts de Tessala. Les plans d'eau sont aussi limités, on ne retrouve que quelques retenues collinaires, d'une faible superficie par rapport à la wilaya de Tlemcen.

À partir des cartes d'occupation du sol, nous remarquons le contraste bien net entre le Nord de la zone et le Sud, en matière des espaces urbanisés et l'éloignement des agglomérations, le Nord est très dense par rapport au Sud. Au niveau du Nord, dans la wilaya d'Oran, Aïn Témouchent, le Nord de Tlemcen et la plaine de Sidi Bel Abbès, nous constatons une forte densité des espaces urbains, ainsi que la distance entre ces espaces est faible, elle ne dépasse pas 15 km. Par contre au

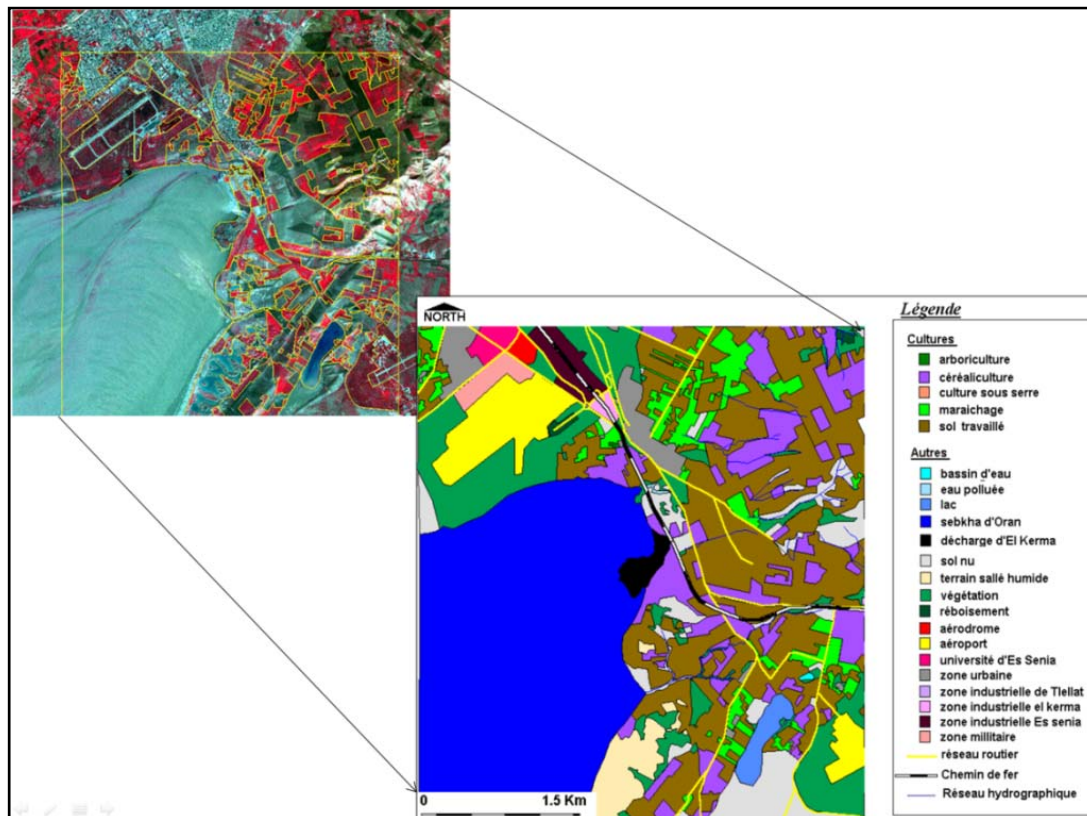
Sud, au niveau de la zone steppique de la wilaya de Sidi Bel Abbes et de Tlemcen, les espaces urbains sont très épars et d'une distance dépassant 25 km. Cette densité de la zone urbaine joue un rôle très important dans la gestion des déchets, les wilayas de forte densité présentant un fort rejet des déchets et donc des importants problèmes environnementaux.

1.1.4. Interprétation visuelle des images satellitales à hautes résolutions : cartes d'occupations du sol détaillées

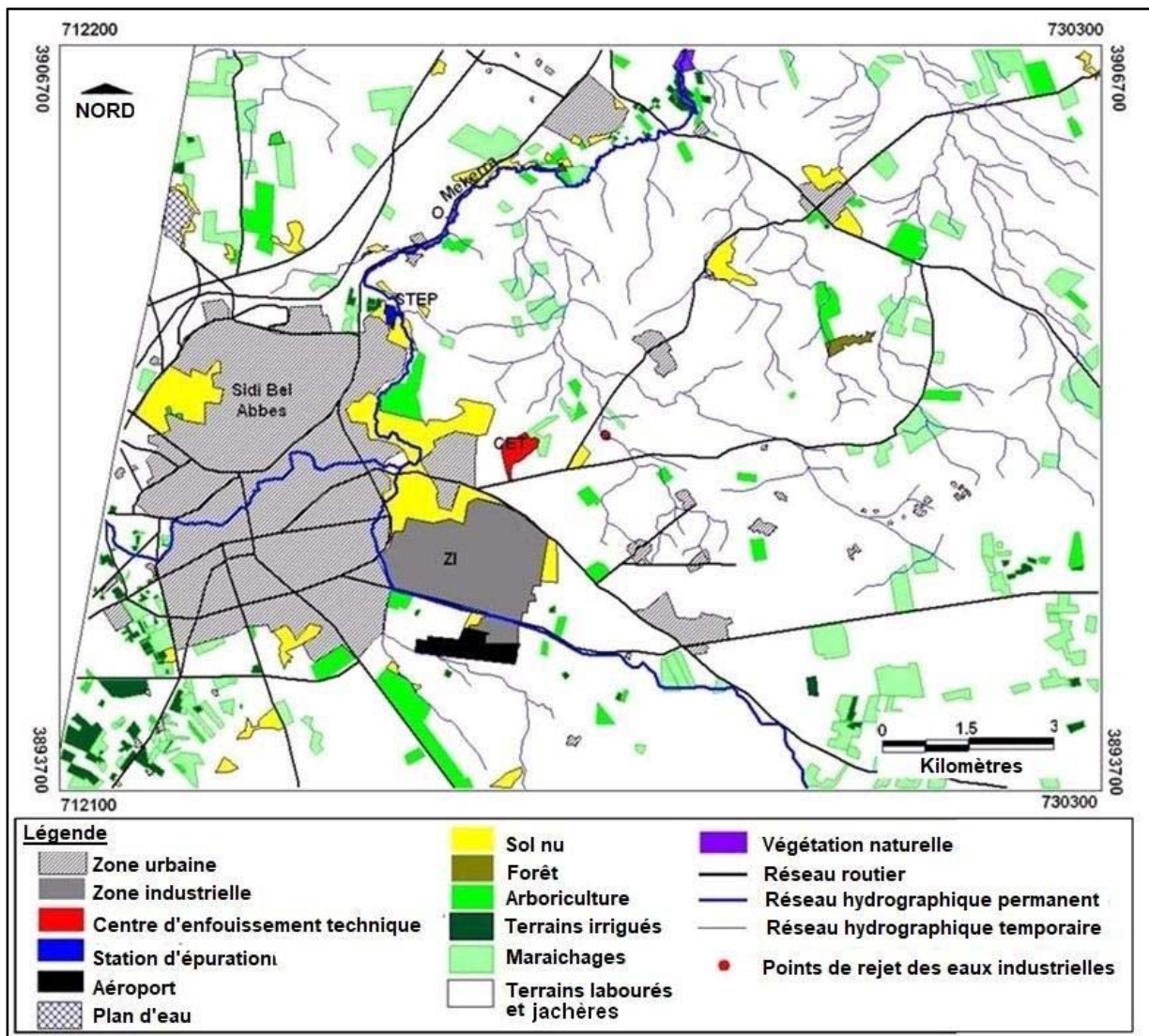
À l'aide des données de la télédétection, nous pouvons extraire de l'information significative de l'imagerie. Cette extraction se fait à partir d'une interprétation visuelle et des traitements spécifiques, afin d'identifier et de mesurer les différentes cibles. L'interprétation et l'identification de ces cibles en télédétection sont souvent faites de façon visuelle. « *La cible est définie en fonction de la manière dont elle diffuse le rayonnement enregistré par un capteur* » (PAIN-ORCET et al., 1998).

Pour la réalisation de la carte d'occupation du sol de la zone d'El Kerma et de Sidi Bel Abbes, nous avons utilisé le traitement de l'image à haute résolution SPOT 5 d'El Kerma et l'image Alsat-2A fusionnée de la zone de Sidi Bel Abbes, d'une résolution de 2.5 m. L'analyse de ces images passe par une interprétation visuelle combinée à des validations du terrain, ainsi que l'application des indices nécessaires dans les études de la végétation (indice de végétation normalisée « NDVI »).

Figure 11. Carte d'occupation du sol de la zone d'El Kerma à partir de l'image SPOT 5



Carte 23. Carte d'occupation du sol de la zone de Sidi Bel Abbas à partir de l'image Alsat-2A



1.1.5. Identification des sites de décharges publiques à partir des images à haute et à moyenne résolution : sites de risque de pollution des eaux et de l'air

À partir des images satellitales à haute et à moyenne résolution, nous avons identifié et cartographié les sites de décharges publiques et les centres d'enfouissement techniques existant dans la zone d'étude. Nous avons utilisé l'image à haute résolution Spot 5, d'une résolution de 2.5 m de la zone d'Oran, pour identifier la décharge publique d'El Kerma (figure 12). Les centres d'enfouissements techniques d'Ain Témouchent et de Tlemcen ont été détectés par l'imagerie du capteur Landsat 8 d'une résolution de 30 m, le centre d'enfouissements technique de Sidi Bel Abbas a été détecté à partir de l'image Alsat-2A d'une résolution de 2.5 m (figure 13). Ces sites de décharge ont été vérifiés à partir des images de Google Earth et les sorties sur le terrain.

Figure 12. Détection de la décharge publique d'El Kerma à partir d'une image SPOT 5

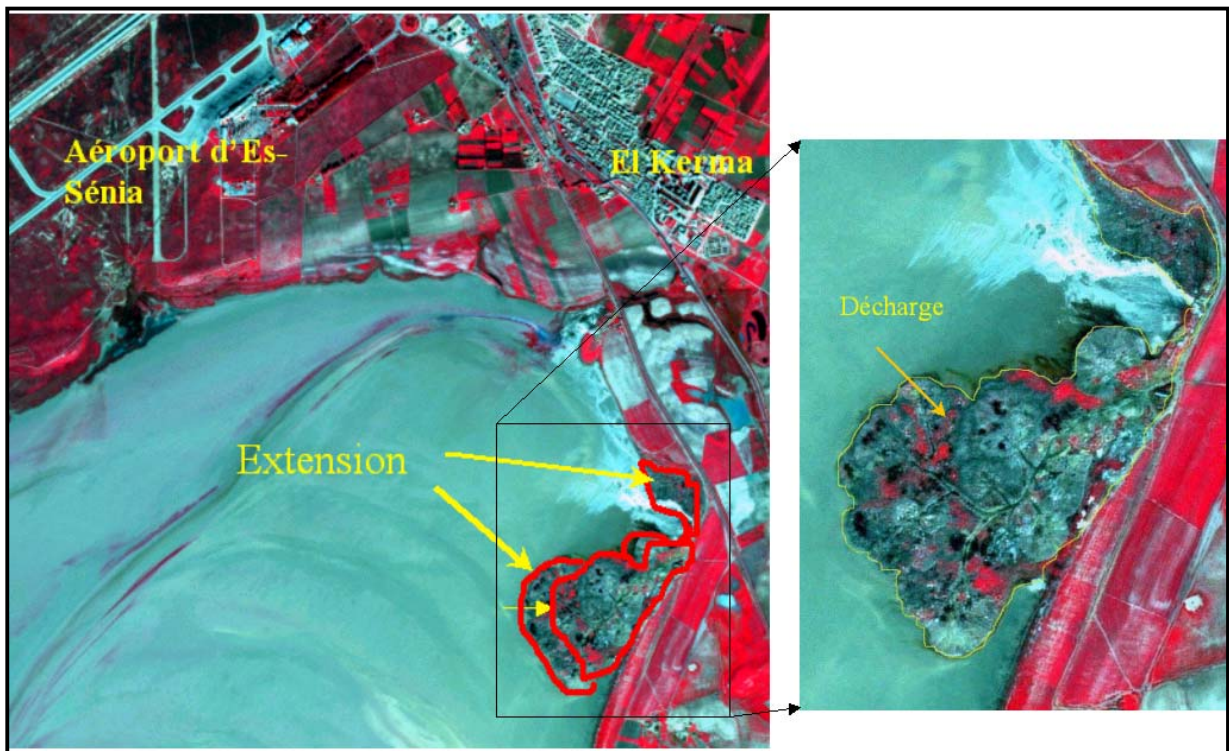


Figure 13. Détection du centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbès à partir d'une image Alsat-2A

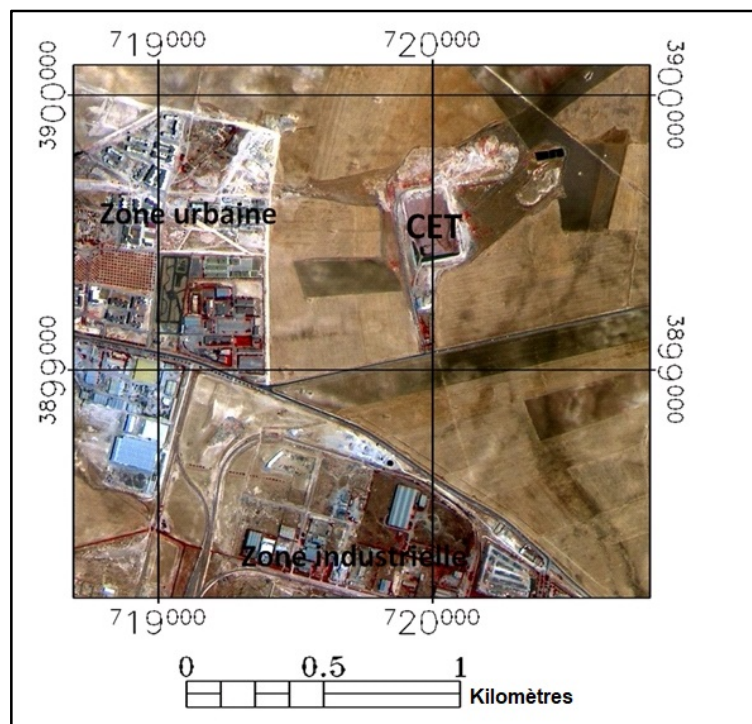


Figure 14. Détection du centre d'enfouissement technique d'Ain Témouchent à partir d'une image Landsat 8 et image Google Earth 2016

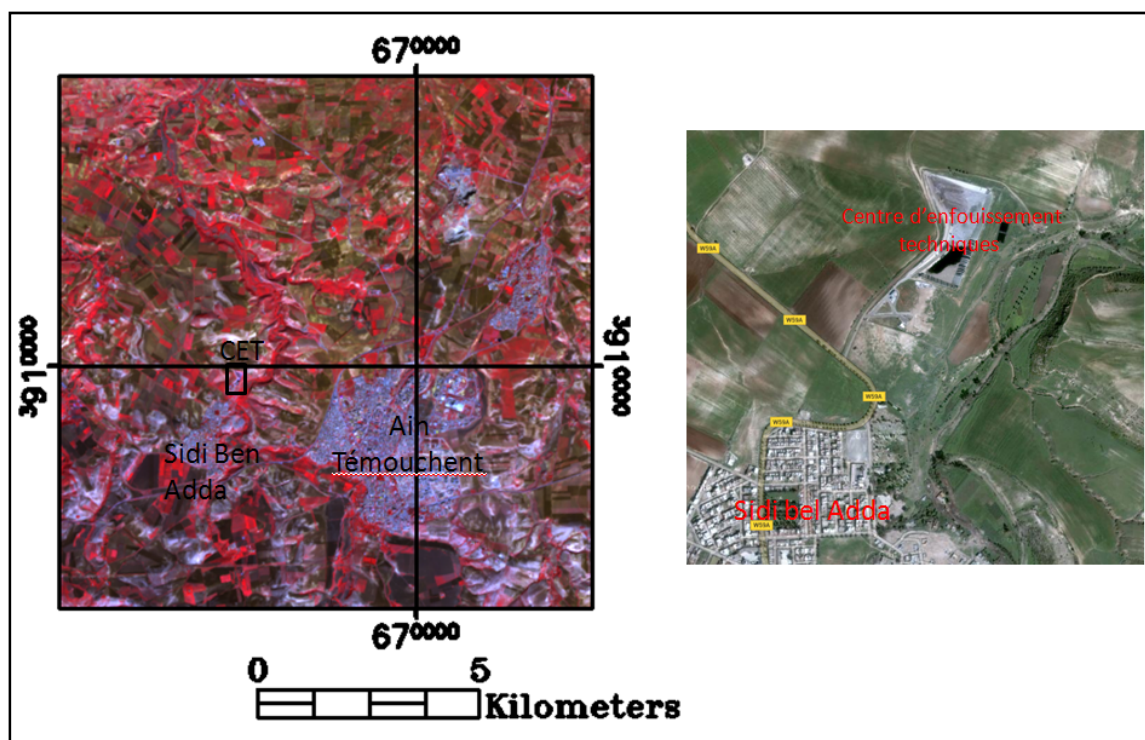
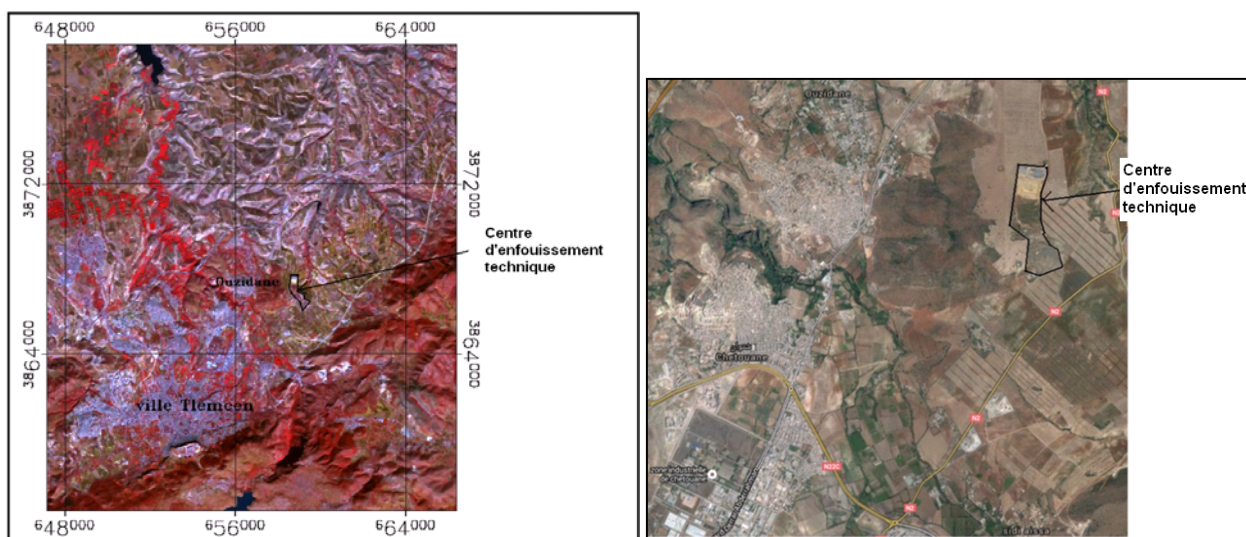


Figure 15. Détection du centre d'enfouissement technique de Tlemcen à partir d'une image Landsat 8 et image Google Earth 2016

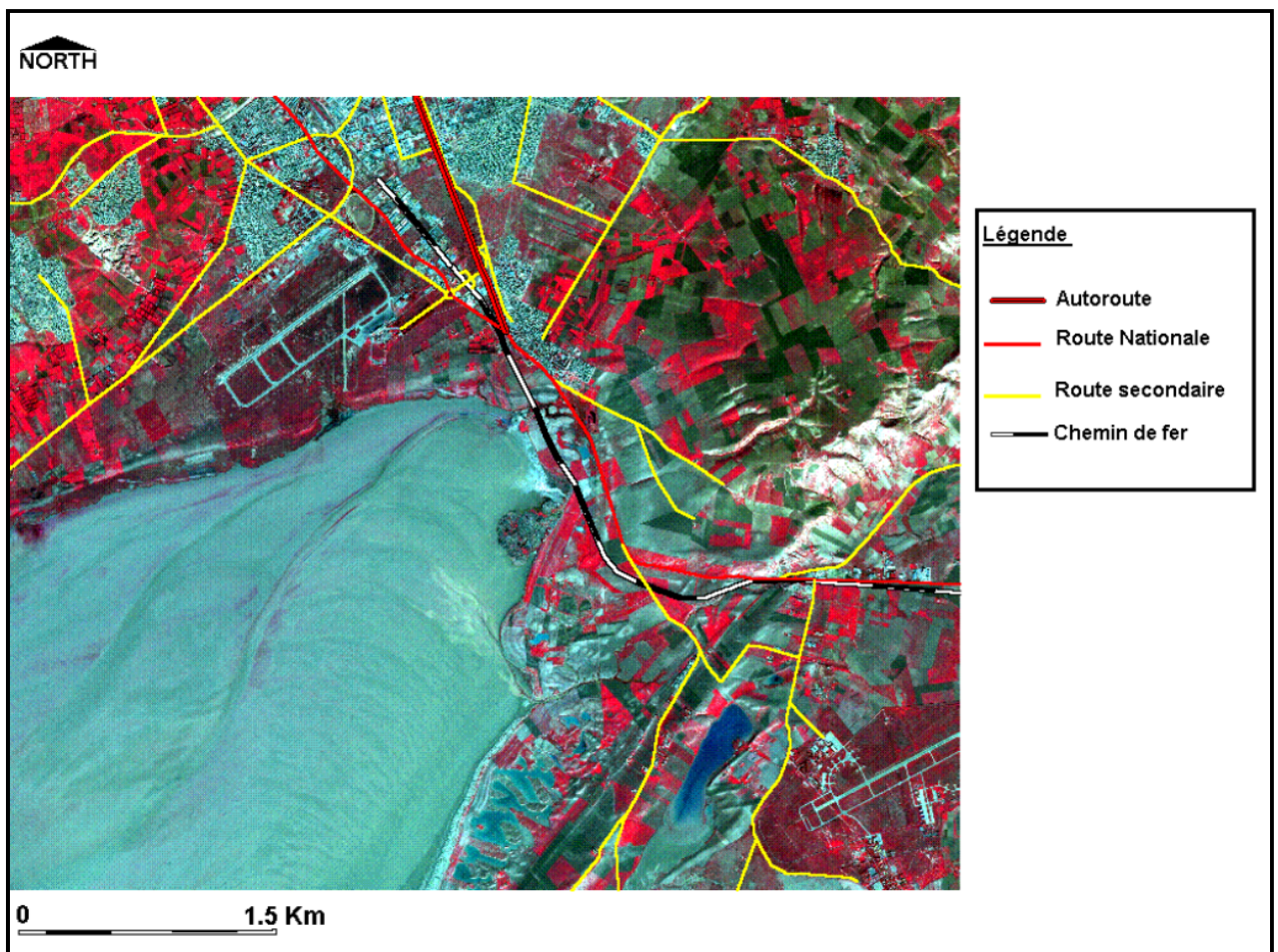


1.1.6. Cartographie des infrastructures routières à l'aide de l'imagerie satellitale : un critère primordial pour l'évaluation d'une décharge

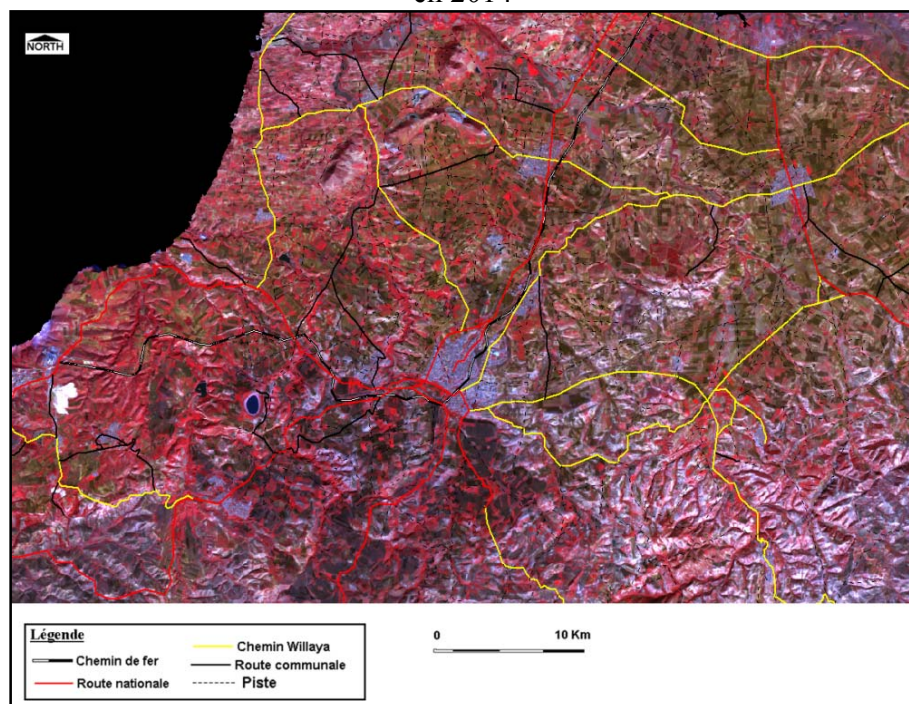
L'infrastructure routière est l'un des principaux éléments stratégiques pour le développement de la zone. Elle assure l'accessibilité aux centres urbains et ruraux et il réduit le coût du transport des déchets. Dans ce contexte, la cartographie des infrastructures routières, comme un critère important dans l'évaluation des sites de décharge, est une étape importante. Avec l'apparition des images satellitales à différentes résolutions spatiales, cette cartographie est devenue facile. Par conséquent, deux types de sources complémentaires ont été utilisés pour la réalisation du plan de l'infrastructure routière, qui sont les cartes topographiques à l'échelle 1/25 000 et les cartes routières.

La combinaison des images satellitales avec ces deux types de sources a permis d'établir des cartes de réseau routier, comportent 5 classes de routes : routes nationales, chemins de wilaya, routes communales, pistes et chemin de fer.

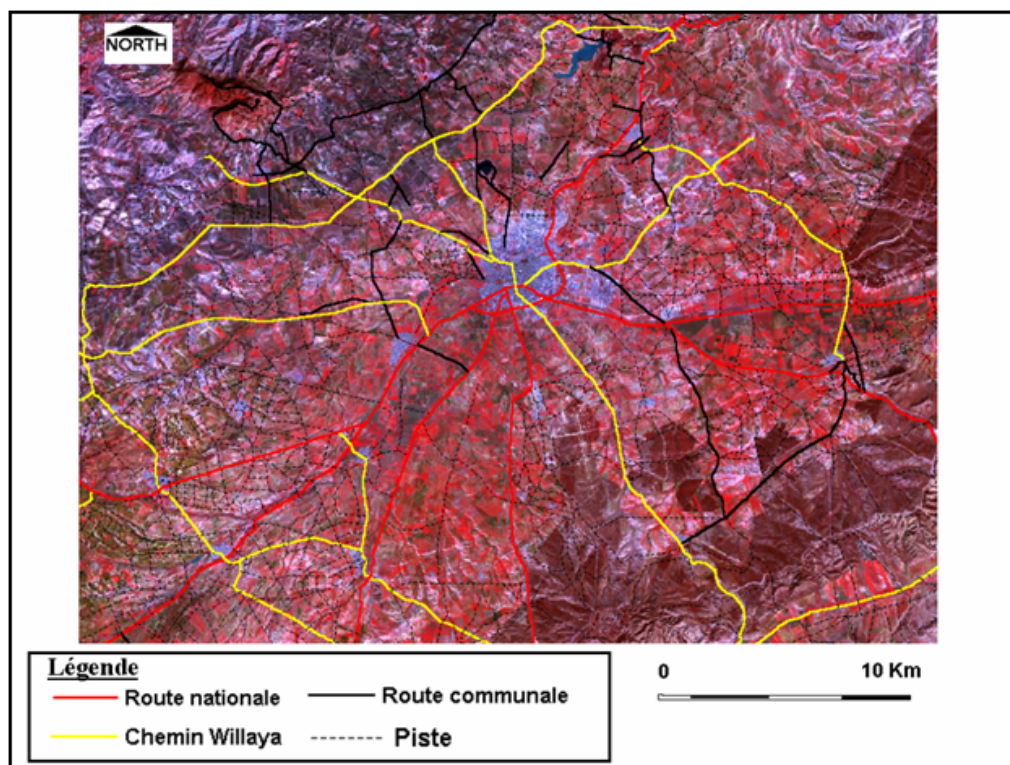
Carte 24. Carte de réseau routier de la zone d'El Kerma, à partir d'une image SPOT5 en 2016



Carte 25. Carte de réseau routier de la zone d'Ain Témouchent, à partir d'une image Landsat 8 en 2014



Carte 26. Carte de réseau routier de la zone de Sidi Bel Abbès, à partir d'une image Landsat 8 en 2014



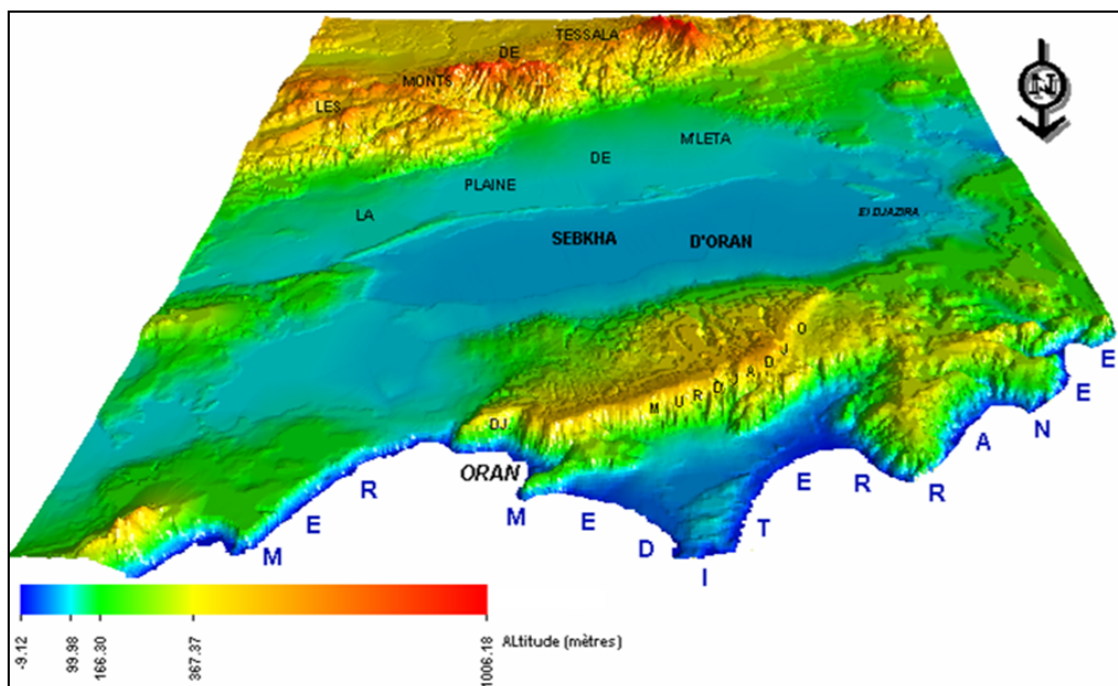
1.2. Modèles numériques de terrain (MNT) : données utiles pour l'analyse des terrains

Le MNT est une représentation numérique du terrain en matière d'altitudes. Il fournit des renseignements sur la forme et la position de la surface topographique pour une zone géographique donnée. « *Un MNT sera donc défini relativement à un système d'altitude et un système cartographique spécifique, il permet, ensuite, de construire un modèle conceptuel riche employé dans de nombreuses applications analysant des processus liés à la surface topographique* » (ROUSSEAU, 2004).

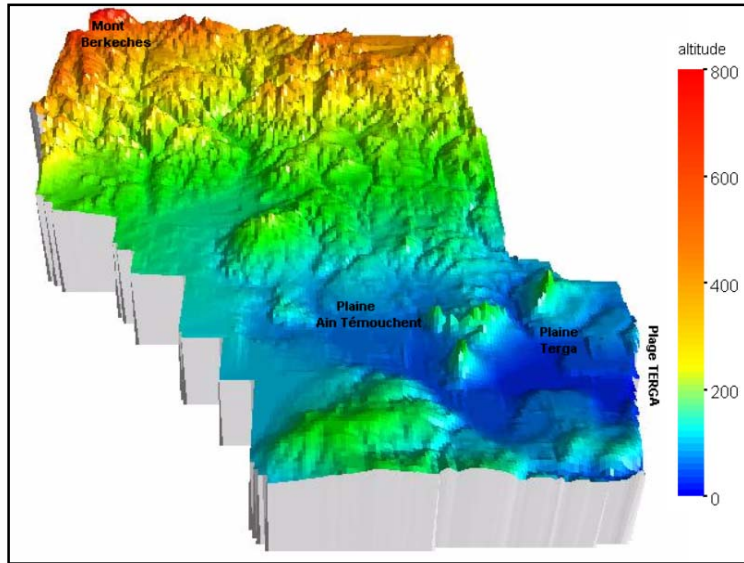
Un MNT est une représentation numérique simplifiée de la surface, en coordonnées altimétriques (le plus souvent exprimées en mètres par rapport au niveau de la mer), et planimétriques, calées dans un repaire géographique. Il permet de l'extraction des paramètres du terrain, de tracés des profils topographiques, des modélisations de l'écoulement de l'eau ou de la masse du mouvement, la création des cartes de relief, le rendu en visualisation 3D, la rectification géométrique de photographie aérienne ou d'imagerie satellitaire, les analyses de terrain en géomorphologie et géographie physique et l'analyse de surface.

Quelques agences cartographiques (américaines principalement grâce aux subventions dont elles disposent) mettent gratuitement à disposition du public des bases de données importantes, accessibles sur le Web. Comme la NASA (DEM ASTER, ERTM1, SRTM3, SRTM30). Dans le cadre de nous application, nous avons utilisé les données digital élévations modèles « DEM » Aster d'une résolution de 30 m, prises en 2002.

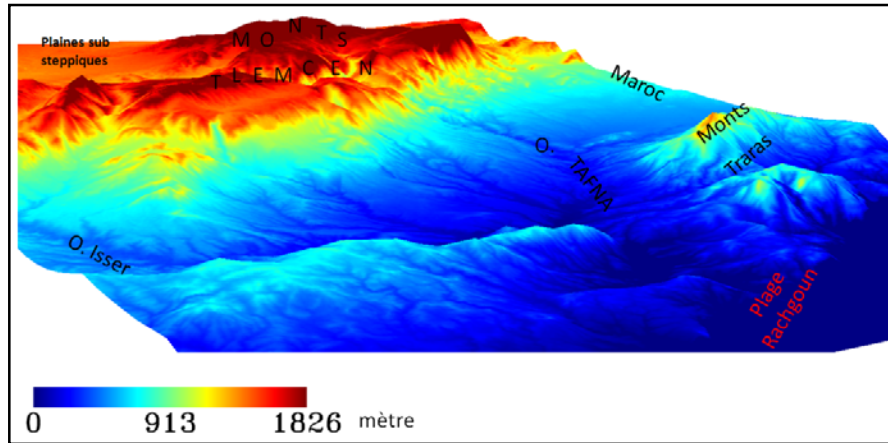
Figure 16 (A,B,C,D). MNT Aster en 3D de la zone d'étude



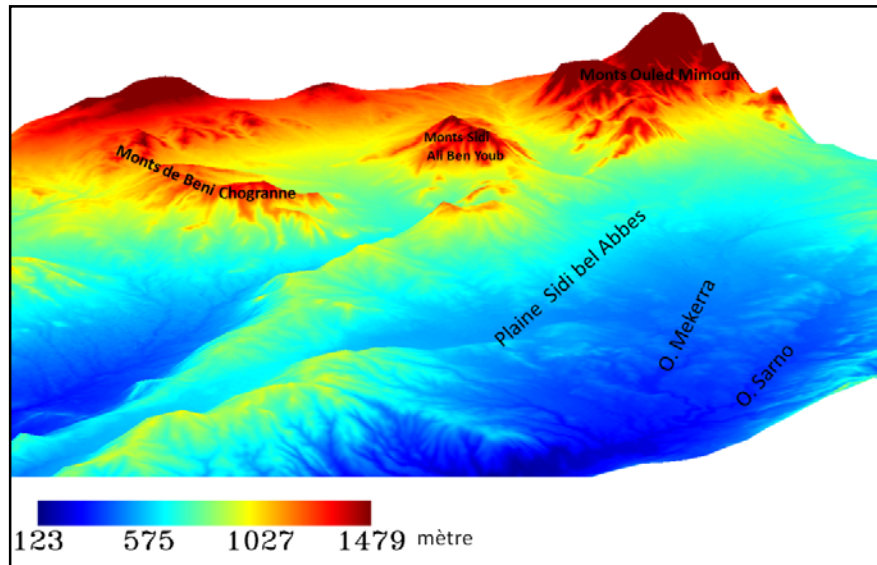
A. Littoral d'Oran



B. Bassin-versant d'Oued El Maleh



C. Bassin-versant d'Oued Tafna



D. Plaine de Sidi Bel Abbas

L'altitude est une factrice primordiale pour de nombreuses simulations (inondation, érosion, études de pollution, etc.). L'ampleur de la dispersion des polluants est en fonction de l'intensité et la durée des précipitations, de la surface, de la pente, de la couverture végétale, de la capacité d'absorption du sol et de la présence d'obstacles à l'écoulement et l'emmagasinement des eaux.

La dispersion des polluants peut être le fait de plusieurs événements : ruissellements, stagnation. Certains facteurs aggravent les ruissellements des polluants sont : l'existence ou non d'obstacles à la circulation de l'eau (objets géographiques), l'importance de la surface et de la pente des terrains. La masse d'informations environnementales précise permet de mieux connaître comment se comporte le transfert des polluants et prévoir leurs impacts dans un espace.

Dans notre cas, l'altitude n'est pas suffisante pour l'évaluation des risques environnementaux, la connaissance des pentes est très indispensable pour l'emplacement optimal d'une décharge, et pour l'infiltration des polluants.

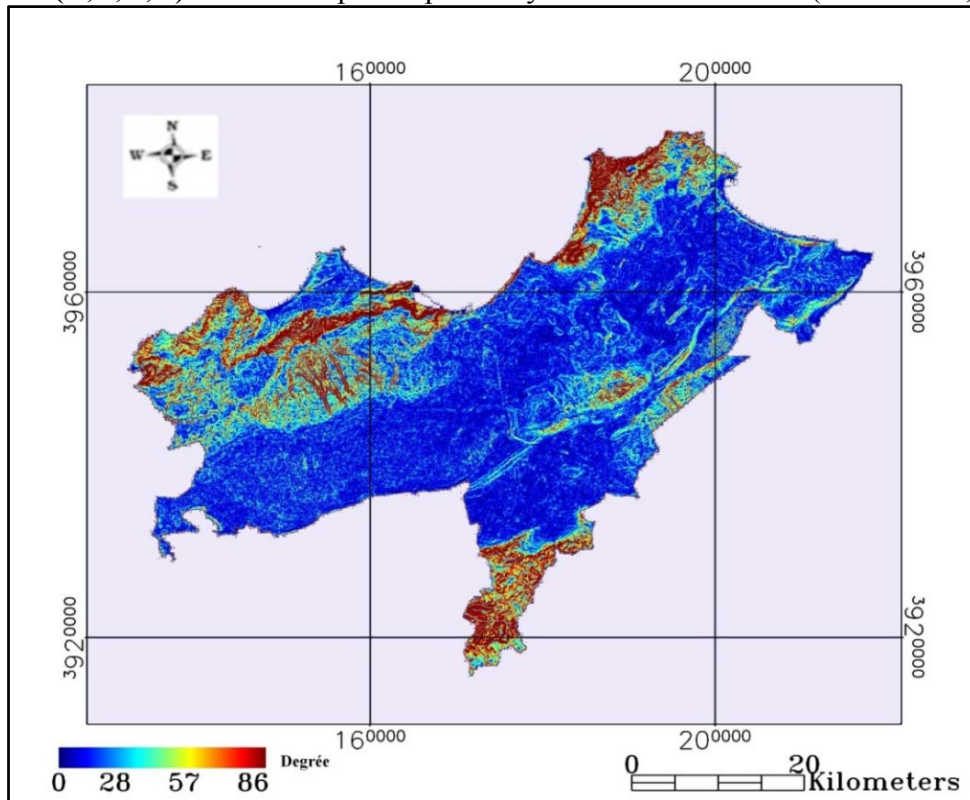
1.2.1. Pentes de terrain : facteur d'infiltration ou de ruissellement des polluants

La pente favorise le déplacement des eaux de pluie pénétrant dans les déchets, contribuant ainsi à la formation des eaux de lixiviations qui s'infiltreront à travers les sols (MEKAIKIA, 2007). Cette pente influe grandement sur l'infiltration et conditionne la vitesse du ruissellement.

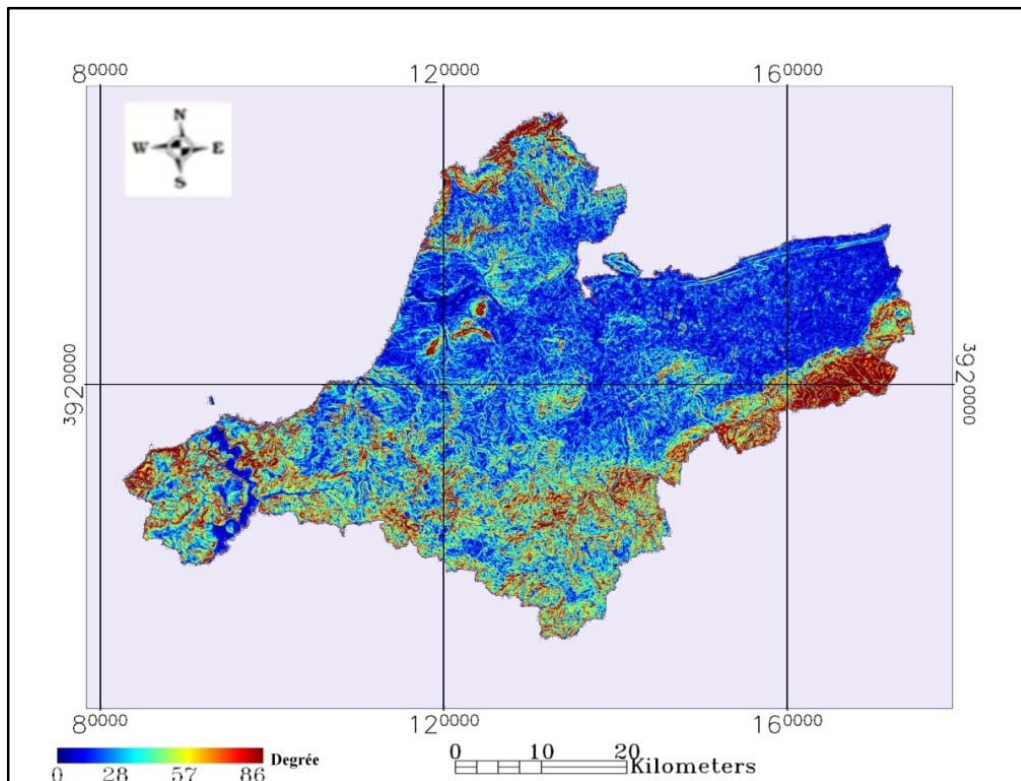
L'obtention de la carte numérique des pentes est une couche d'information utile pour l'évaluation d'un dépôt d'ordures ainsi que pour la cartographie de la vulnérabilité de la nappe à la pollution.

Lorsque la pluie tombe sur le sol, elle peut suivre différents cheminements, selon la nature de la pente, sur des terrains à faible pente une partie peut s'infiltrer dans le sol, sur des terrains à forte pente (versant) une partie ruisselle sur le sol et finit par rejoindre les cours d'eau et les barrages. Dans ce cas, les types de pollutions se différencient en fonction de la pente des terrains, sur des pentes faibles et sol perméable nous retrouvons la pollution des eaux souterraines, par contre, en terrains de pente forte et sol imperméable, les polluants vont être ruisselés et transportés en plans d'eau ou en eaux marines. À cet effet, il est primordial de réaliser les cartes de la pente. Nous avons calculé la pente des terrains en se basant sur le MNT DEM Aster, par l'utilisation de logiciel Arc Gis, surface analysis (carte 27 A,B,C,D).

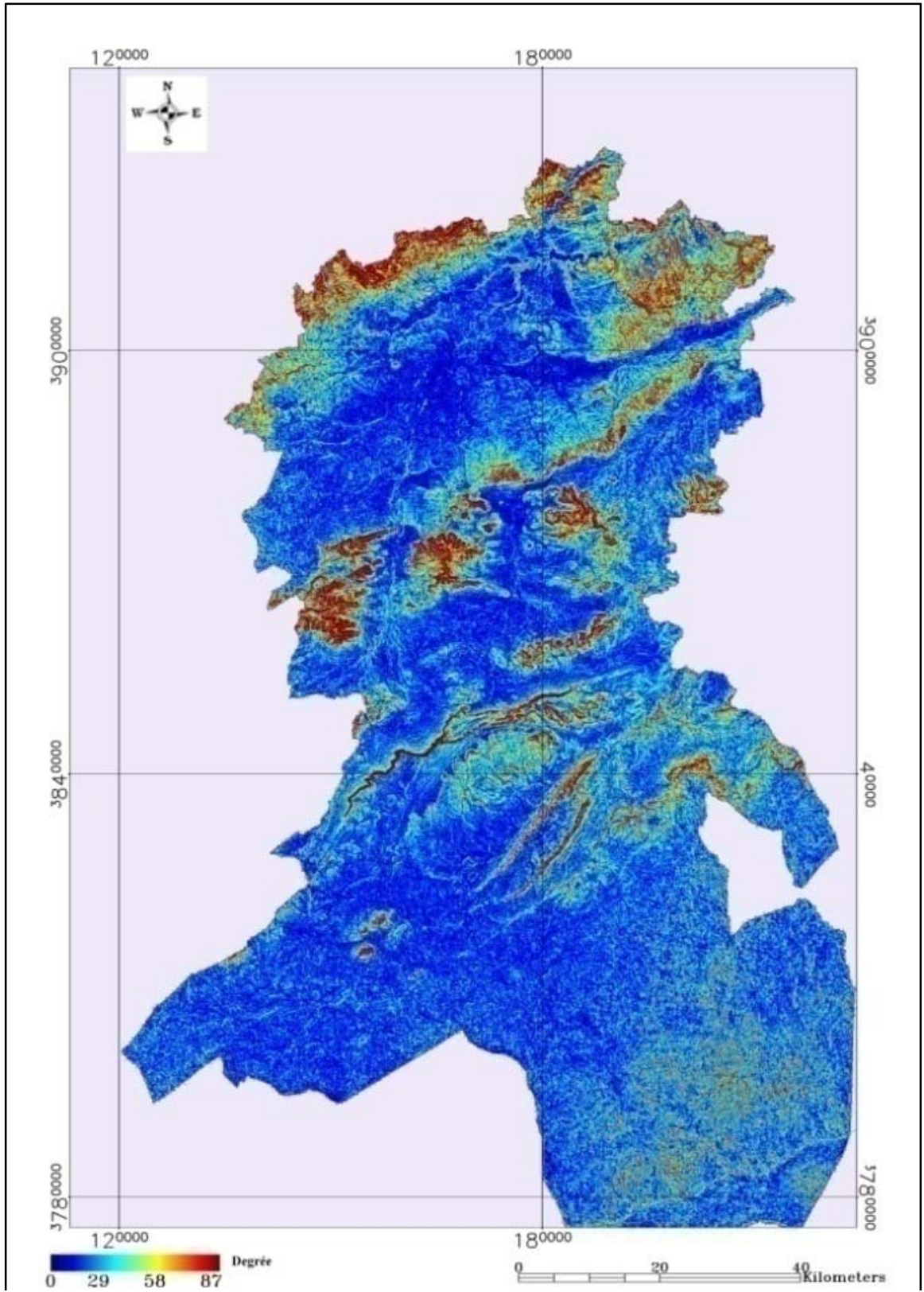
Carte 27 (A,B,C,D). Cartes des pentes par wilayas de la zone d'étude (MNT Aster, 2002)



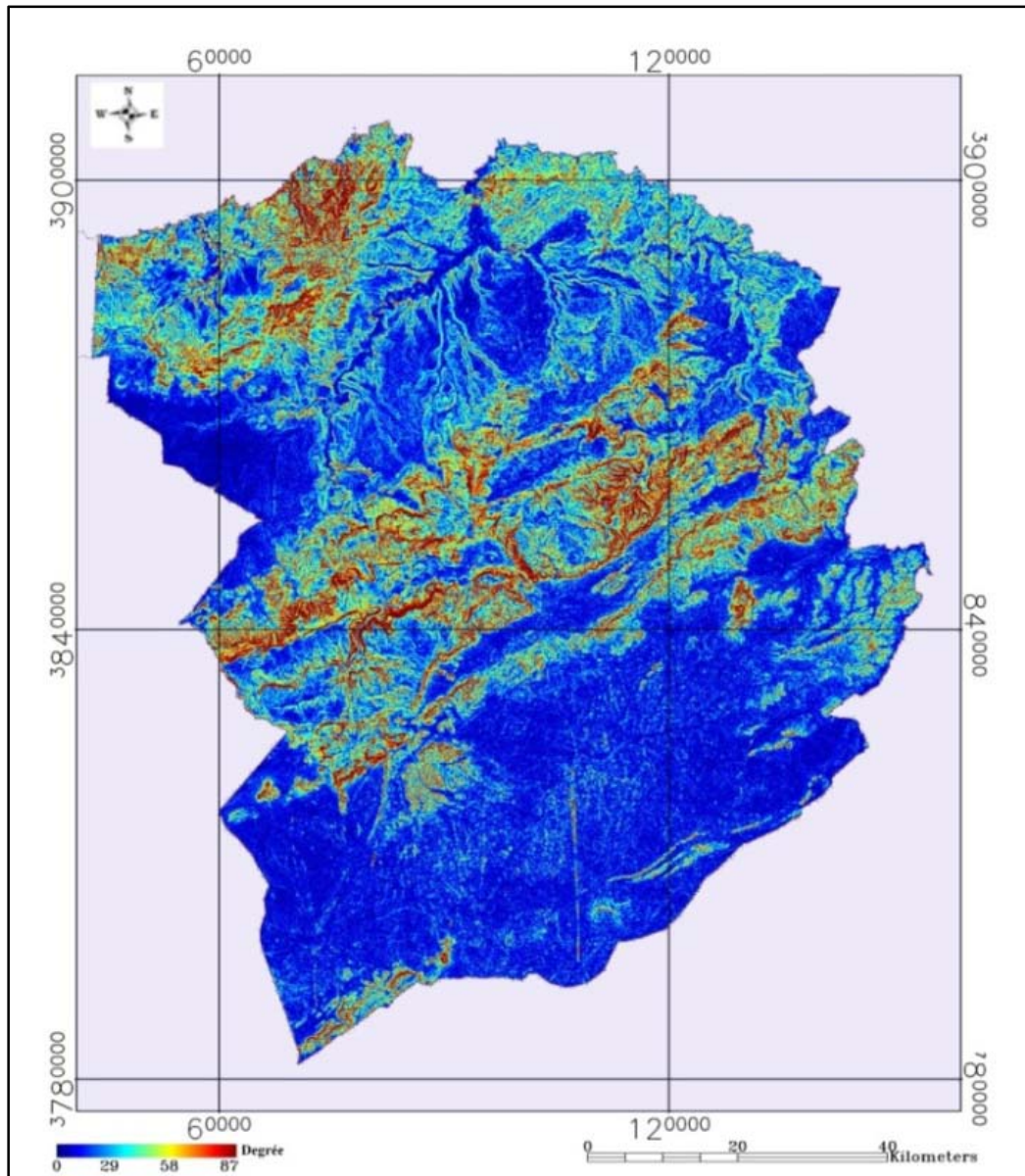
A. Wilaya d'Oran



B. Wilaya d'Ain Témouchent



C. Wilaya de Sidi Bel Abbas



D. Wilaya de Tlemcen

1.2.2. Extraction du réseau hydrographique à partir d'un MNT : milieu récepteur des eaux usées et source d'alimentation de la nappe

On désigne le réseau hydrographique comme un ensemble hiérarchisé et structuré de chenaux qui assurent le drainage superficiel, permanent ou temporaire, d'un bassin-versant. Le territoire de la zone d'étude regroupe trois grands bassins versants importants, c'est le bassin d'oued Tafna, le bassin d'oued Mekerra et le bassin du côtier Oranais. Ces cours d'eau présentent un écoulement permanent et temporaire, se sont les milieux récepteurs des eaux usées urbaines et industrielles, conduits à une forte dégradation des ressources en eaux de surface et souterraine.

La pollution des eaux de surface dans la zone d'étude provient de diverses sources, à savoir :

- les rejets d'eaux usées industrielles essentiellement via le réseau d'égouttage (quelques entreprises rejettent leurs eaux usées directement dans le canal) ;
- les rejets d'eaux usées domestiques essentiellement via le réseau d'égouttage ;
- les sources diffuses, comme les dépôts atmosphériques, lessivage de sols pollués, épandage d'engrais, sels de déneigement, transport, usure de matériaux de construction, etc.

Dans ce cas, la préservation des ressources en eaux est devenue une des préoccupations majeures des scientifiques, des gestionnaires et des décideurs. Un des aspects le plus important dans la gestion et la préservation des ressources en eau c'est, la cartographie du réseau hydrographique. Dans ce contexte, il est nécessaire d'établir le plan d'information du réseau hydrographique. En effet, avec l'apparition des Modèles Numériques de Terrain (MNT), la cartographie de ce réseau est devenue facile.

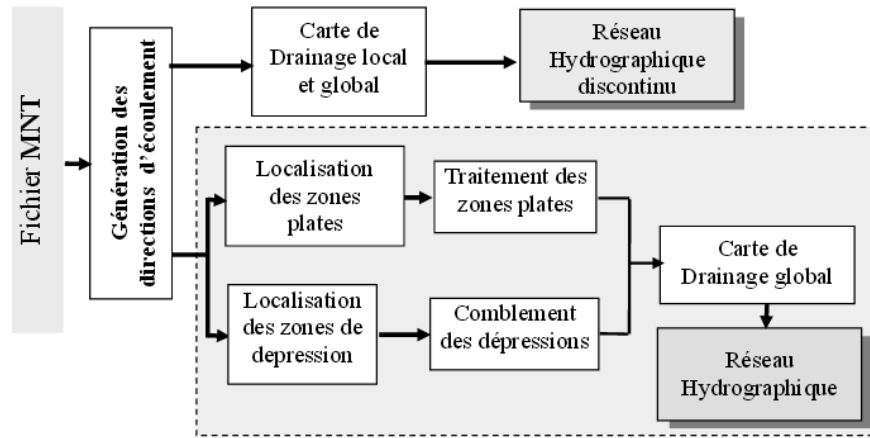
Les techniques d'extraction de réseau à partir d'un MNT se décomposent, essentiellement, en deux approches : celles qui reposent sur une analyse géomorphologique par caractérisation locale des variations altimétriques et celles à inspiration hydrologique, en se basant sur le suivi du ruissellement de l'eau.

Dans la première approche, plusieurs méthodes ont été développées (CHARLEUX-DEMARGNE JULIE, 2001), basées sur la morphologie du terrain, les paramètres descripteurs de la géométrie du voisinage, l'étude des profils, etc. Un inconvénient majeur de ces méthodes est la représentativité relative des maxima et minima locaux. Le réseau hydrologique extrait par ces méthodes est fragmenté et présente des discontinuités, le rendant inexploitable pour des applications ultérieures.

Quant à la deuxième approche, elles retiennent le principe d'un cheminement naturel des eaux entraînées par la gravité et guidées par la topographie. Elles s'appuient sur la détermination des directions d'écoulement de l'eau en chaque cellule de résolution ou pixel à partir des valeurs altimétriques du MNT, sachant que l'eau emprunte le chemin défini par la ligne de plus grandes pentes. Ainsi, les cellules se déversent les unes dans les autres en fonction de la pente locale, et de ceci un ensemble cohérent de talwegs principaux pourra être déduit.

Pour notre part, nous avons utilisé le processus d'extraction du réseau hydrologique basé sur une analyse hydrologique, qui utilise le MNT. Les étapes de traitement que nous proposons sont schématisées dans l'organigramme donné par la figure 17.

Figure 17. Organigramme du processus d'extraction du réseau hydrographique



La première étape du processus de l'extraction du réseau hydrographique est le remplissage. Afin de pallier les problèmes des discontinuités des chemins d'écoulement des eaux causées par les dépressions et les zones plates, nous avons traité le MNT en comblant les dépressions, qui piègent l'eau et en forçant l'eau à s'écouler dans une même direction à l'intérieur des zones plates dont la profondeur est inférieure à 100 m.

La deuxième étape du processus est l'extraction des directions d'écoulement. Nous avons, pour cela, utilisé une procédure basée sur l'exploration du voisinage immédiat correspond aux 8-connexités. L'algorithme permet de calculer les descentes altimétriques entre les altitudes du pixel central et ses pixels voisins et localiser le pixel (ou cellule de résolution) correspondant à la descente maximale. Les directions d'écoulement qui pointent vers les cellules correspondant aux descentes altimétriques maximales forment l'image des plans d'écoulement. Il y a 8 directions en sortie valide relative aux 8 cellules adjacentes dans lesquelles le flux peut circuler. Cette méthode, généralement appelée "modèle de flux à huit directions (D8)", repose sur l'approche de JENSEN ET DOMINGUE (1988).

Après, il est nécessaire de calculer le flux accumulé sous la forme d'une pondération cumulée de toutes les cellules s'écoulant dans chaque cellule en pente descendante du raster en sortie. Si aucun raster de pondération n'est fourni, on attribue la pondération 1 à chacune des cellules, et la valeur des cellules du raster en sortie correspond au nombre de cellules qui s'écoulent vers chaque cellule.

Les cellules présentant une accumulation de flux élevée sont des zones de flux concentré qui peuvent être utilisées pour identifier des canaux d'écoulement. Les cellules présentant une accumulation de flux nul sont des zones topographiques locales élevées, qui peuvent être utilisées pour identifier des crêtes.

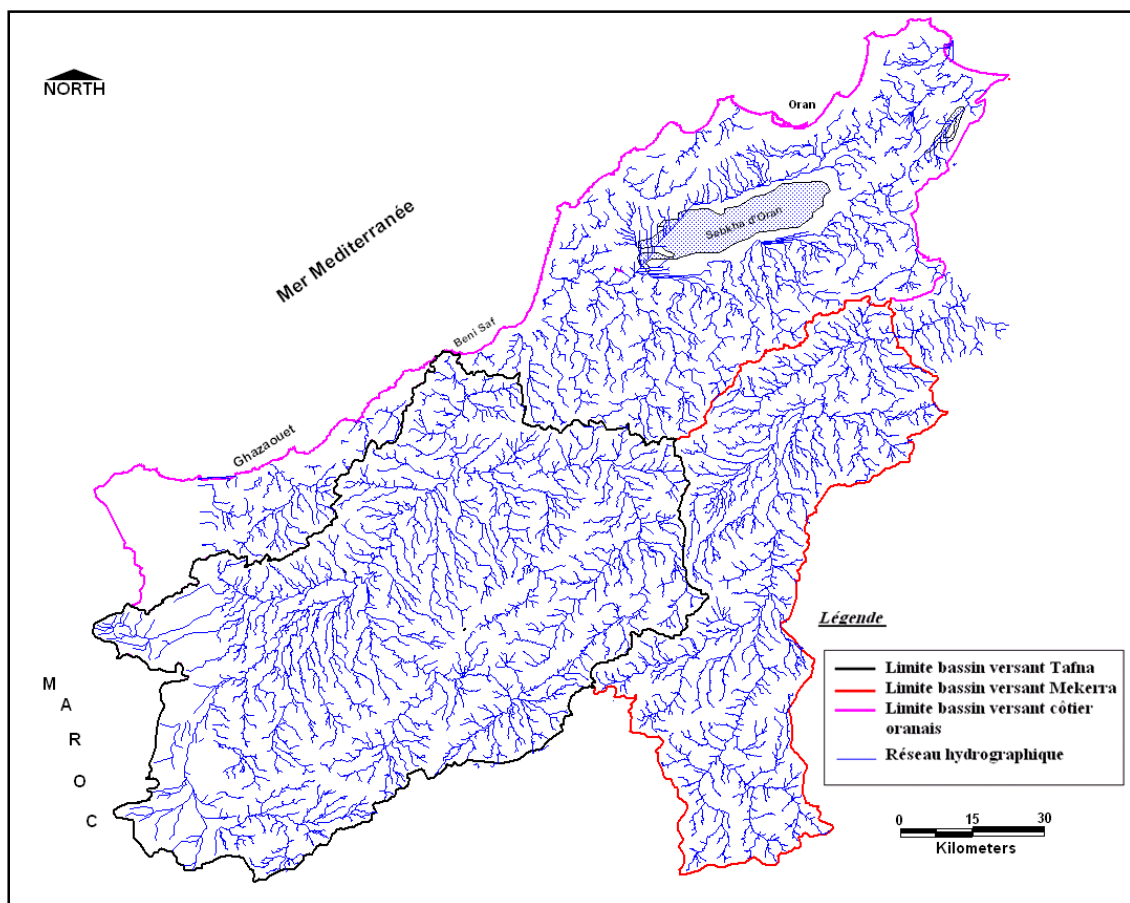
L'étape qui suit, c'est le calcul de condition Con, en fixant un seuil minimum sur la carte d'accumulation des flux, il faut alors prendre une valeur de seuil qui fasse en sorte que tous les ruisseaux réels soient représentés sur le réseau modélisé, quant à notre cas, un seuil de 2000 a été appliqué.

La dernière étape c'est le calcul de l'écoulement vers entité, cette étape consiste à convertir le fichier raster représentant un réseau linéaire en plusieurs entités représentant le réseau linéaire. L'algorithme utilisé par l'outil écoulement vers entité permet essentiellement de vectoriser des réseaux hydrographiques représentant un réseau linéaire pour lequel les directions sont connues. Cet outil est optimisé de manière à utiliser un raster de direction, pour permettre la vectorisation des cellules qui sont adjacentes.

Les résultats obtenus avec l'outil accumulation de flux peuvent être utilisés pour créer un raster de réseau hydrographique, en fixant un seuil pour sélectionner les cellules avec une accumulation de flux élevée. Par exemple, les cellules dans lesquelles plus de 100 cellules s'écoulent sont utilisées pour définir le réseau hydrographique. Utilisez l'outil Con pour créer un raster de réseau hydrographique, où des valeurs d'accumulation de flux de 100 ou plus passent à 1, et le reste est mis à l'arrière-plan. Le réseau hydrographique obtenu peut être utilisé dans l'outil Ecoulement vers entité.

À partir de l'extension hydrologie sous Arc Gis, nous pouvons délimiter les importants bassins-versants existant dans la zone d'étude. Afin d'analyser et d'évaluer l'état de la pollution et identifier les sources de pollution pour chaque bassin.

Carte 28. Délimitation des bassins versants dans la zone d'étude à partir d'un MNT

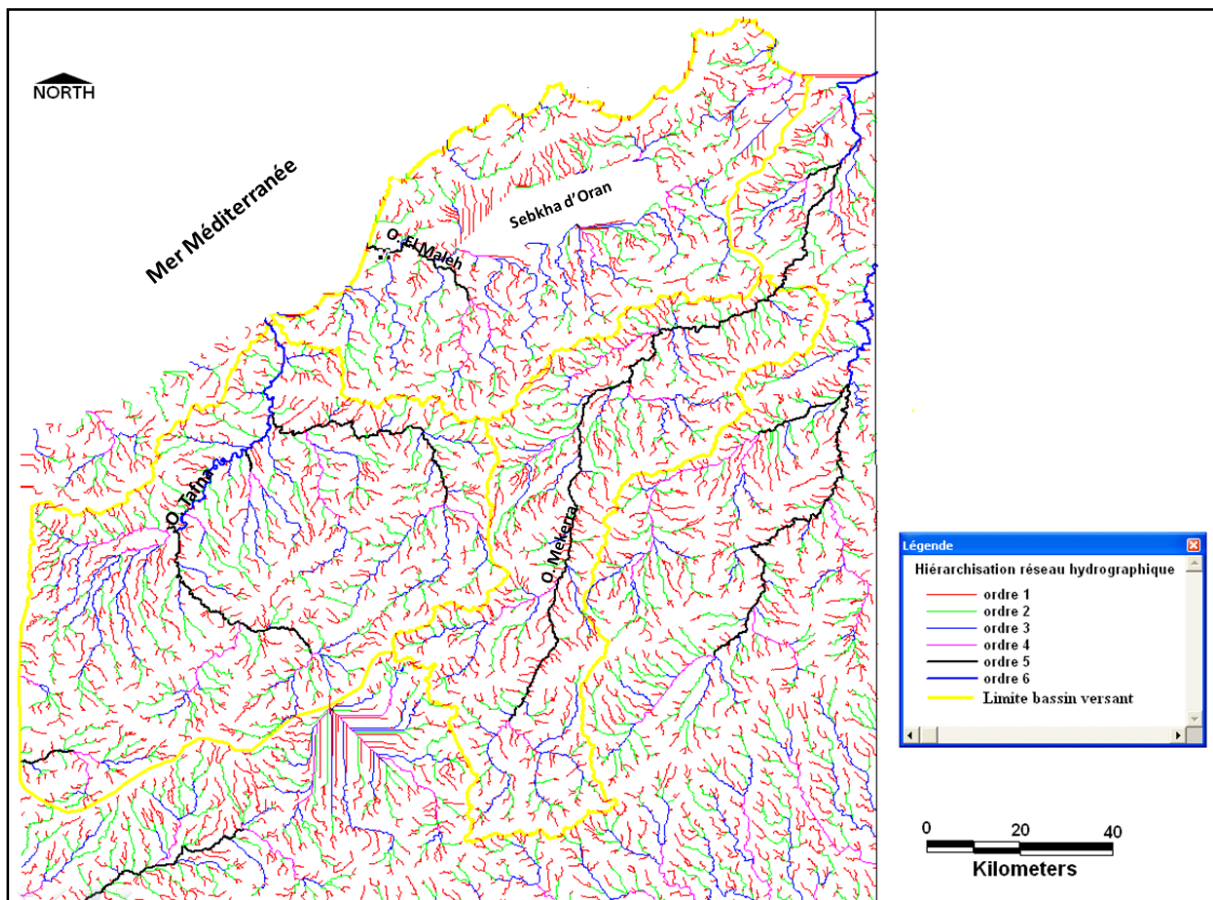


Le résultat obtenu est un réseau linéaire, ce réseau doit subir une hiérarchisation. La hiérarchisation d'écoulement est une méthode d'attribution d'un ordre numérique aux liaisons d'un réseau hydrographique. Cet ordre est un moyen qui permet d'identifier et de classer des types des cours d'eau, en fonction de leur nombre d'affluents. Certaines caractéristiques de cours d'eau peuvent être devinées, sans difficultés, d'après leur ordre (TARBOTON et al., 1991). Par exemple, les cours d'eau de premier ordre sont dominés par un flux superficiel de l'eau, ils ne présentent pas de flux concentrés en amont, par conséquent, ils sont les plus vulnérables aux problèmes de pollution et bénéficieront davantage de larges zones tampons riverains que les autres zones du bassin versant.

Un rejet des eaux usées dans un effluent de l'ordre 1 permet de contaminer tous les cours d'eau, par les faits de l'écoulement des eaux, par contre, un rejet sur un effluent d'ordre élevé, contamine l'aval du bassin et l'embouchure d'oued que ce soit la mer, plan d'eau ou sebkha. Ainsi, qu'une décharge localisée sur un cours d'eau dépend de l'ordre du réseau hydrographique.

Le principe utilisé pour l'attribution des numéros d'ordre est celui de Strahler (1957). Dans cette méthode, toutes les liaisons sans affluents sont classées avec la valeur 1 et sont connues sous le nom du premier ordre. L'ordre d'écoulement augmente lorsque des cours d'eau du même ordre se croisent. L'intersection de deux liaisons de premier ordre crée donc une liaison de deuxième ordre. L'intersection de deux liaisons de deuxième ordre crée une liaison de troisième ordre, et ainsi de suite. En revanche, l'intersection de deux liaisons d'ordre différent n'incrémente pas l'ordre. La méthode de Strahler est la méthode de la hiérarchisation d'écoulement la plus utilisée. Cependant, dans la mesure où elle incrémente l'ordre uniquement aux intersections du même ordre, elle ne tient pas compte de toutes les liaisons et peut-être influencées par l'ajout ou la suppression de liaisons. Pour la hiérarchisation du réseau hydrographique, nous avons utilisé l'outil ordre d'écoulement sous Arc Gis, il permet de classer le réseau automatiquement, le résultat est illustré en carte 29.

Carte 29. Réseau hydrographique hiérarchisé automatiquement de la zone d'étude



2. Apport des données cartographiques et statistiques : utilité et traitement

2.1. Cartographie des cartes lithologiques et de perméabilités : facteur d'infiltration ou de ruissellement des eaux

La lithologie est caractérisée par la granulométrie des terrains saturés. Elle intervient dans le piégeage des polluants qui peut s'échapper au pouvoir d'absorption du sol. Plus la granulométrie est fine, plus le piégeage du polluant est grand, plus le sol est riche en argile plus la perméabilité est élevée. Ceci favorise une protection des eaux contre la pollution (SINAN et al., 2003). Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des métaux lourds est importante et plus la protection des eaux souterraines est grande (EL MORJANI, 2002).

La nature des roches influe grandement sur le ruissellement et l'infiltration des eaux, au niveau des roches compactes (granite, gneiss, basalte, schiste) et en montagne l'eau ruisselle et creuse, ce sont les torrents, par contre, au niveau des roches imperméables (argile), et en plaine, elle s'écoule doucement ou elle stagne. Au niveau des roches perméables (sable, grès, alluvion) l'eau s'infiltré et constitue des nappes souterraines dans les pores de la roche. Au niveau des roches fracturées (calcaire fracturé par exemple), l'eau s'infiltré également, en général, très rapidement, et constitue,

dans les innombrables fractures et fissures ouvertes, des nappes d'eau souterraines (LUC DAVID, 2006).

La pollution du sol et des nappes est en relation directe avec la nature des roches, et donc aux natures des formations lithologiques, par exemple, dans un massif calcaire (on l'appelle karst) les réserves d'eau sont très importantes et constituent une ressource en eau potable, qu'il est possible d'exploiter à grande échelle. Cependant, l'eau s'infiltré dans les fractures sans être filtrée, ce qui rend la nappe particulièrement vulnérable aux pollutions.

Un site de la source de pollution doit être implanté sur des terrains empêchant l'infiltration des polluants, comme le cas du substratum d'une décharge, il doit être étanche et ne présente aucune fissure ni diaclase pour éviter tout type de pollution et de contamination des eaux souterraines. Dans le cadre de notre étude, il est fort utile d'établir une base de données sur les formations lithologiques, dans ce cas, nous avons établi des cartes géologiques du littoral d'Oran, de la plaine de Sidi Bel Abbes et du sous-bassin versant d'oued Sikkak (carte 30 A,B,C), à partir des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 et des cartes hydrogéologiques à l'échelle 1/100 000.

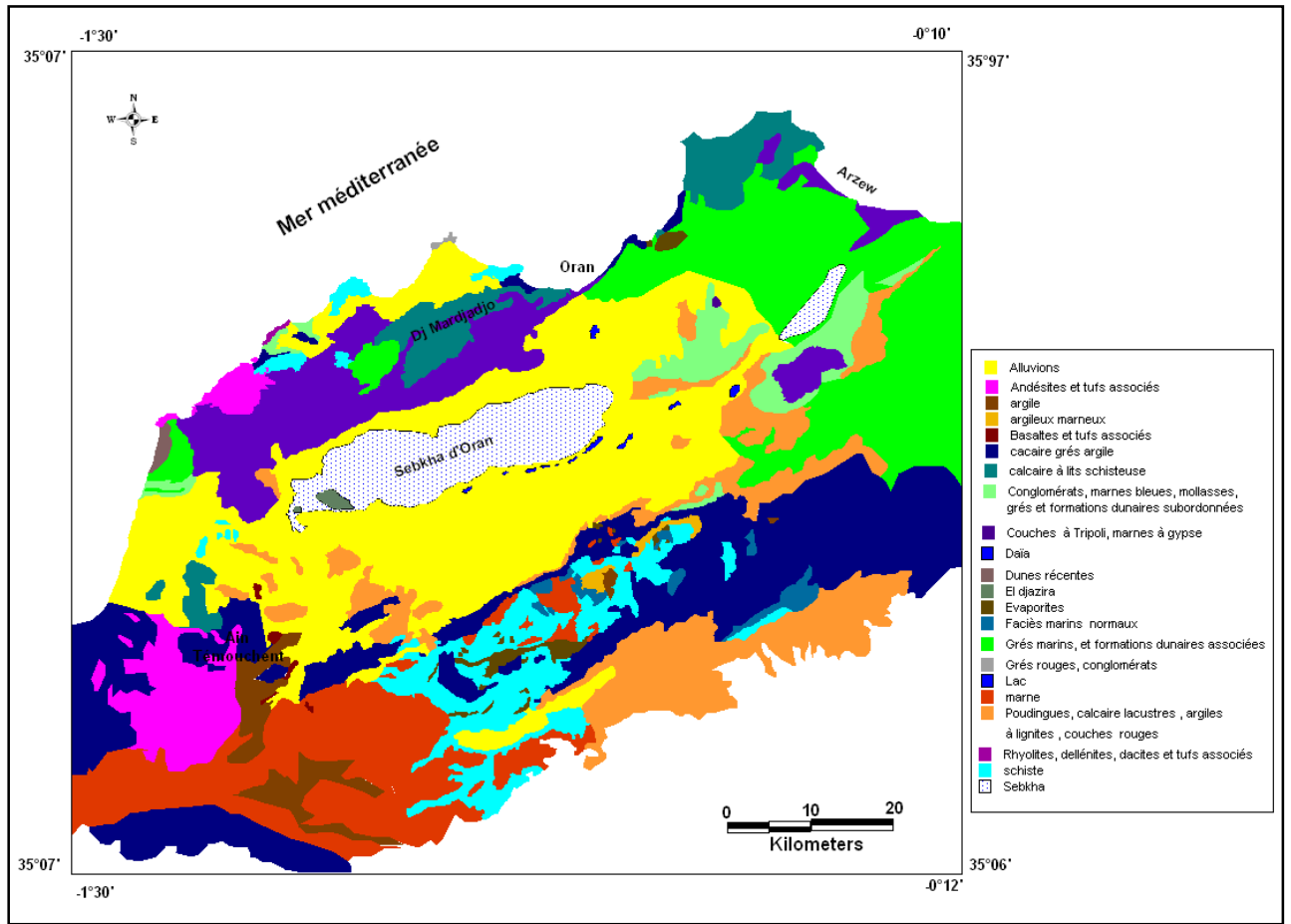
Le littoral d'Oran est constitué, essentiellement, par des formations alluvionnaires d'âge quaternaire au niveau des plaines, une autre série de tripoli marne à gypse affleure la partie Nord de la région au niveau du Dj. Murdjadjo. Les alluvions sont des sédiments des cours d'eau et des lacs composés, selon les régions traversées et la force du courant, de galets, de gravier et de sable en dépôts souvent lenticulaires, la fraction fine correspondant à des argiles et des limons. Les alluvions caillouteuses sont des alluvions contenant des galets.

Au Sud de la ville d'Ain Témouchent, on retrouve des formations volcaniques des andésites et des tufs, qui sont des roches magmatiques effusives, le Nord est constitué par des couches calcaire gréseux-argilos.

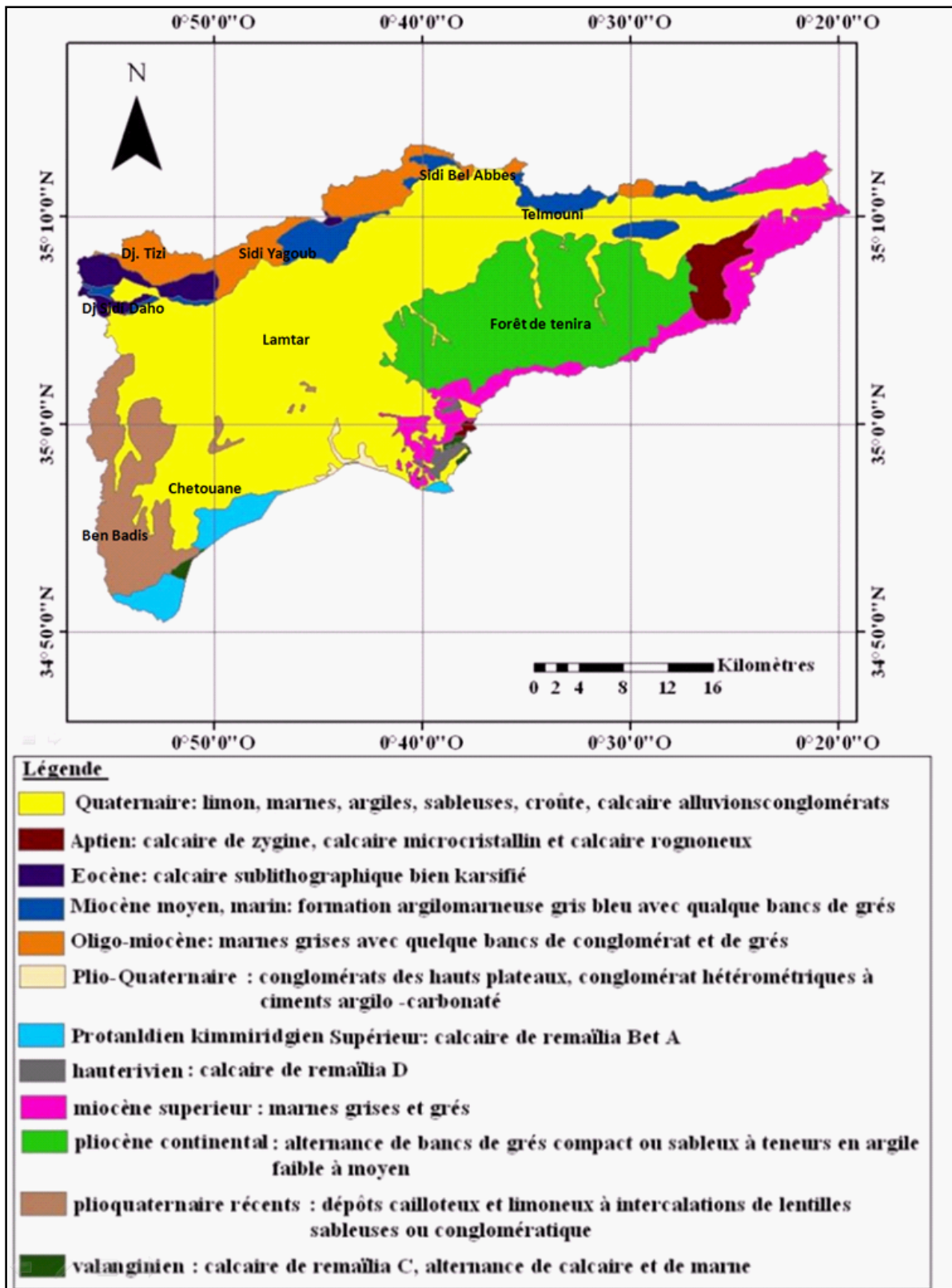
La plaine de Sidi Bel Abbes est constituée, en majeure partie, par une série de couches limons, marnes, argiles et sables. Elle est caractérisée par des roches sédimentaires d'âge quaternaire qui permettent d'infiltrer une quantité importante d'eau et présentent une source considérable d'eau souterraine.

La zone est constituée par des dolomies de Tlemcen, fissurées et perméables, au niveau de la ville de Tlemcen, elle affleure une série de grès tortorniens très perméable. Les grès de Boumediene affleurent la partie Sud de Tlemcen. Ces formations se caractérisent par l'existence des couches de marnes.

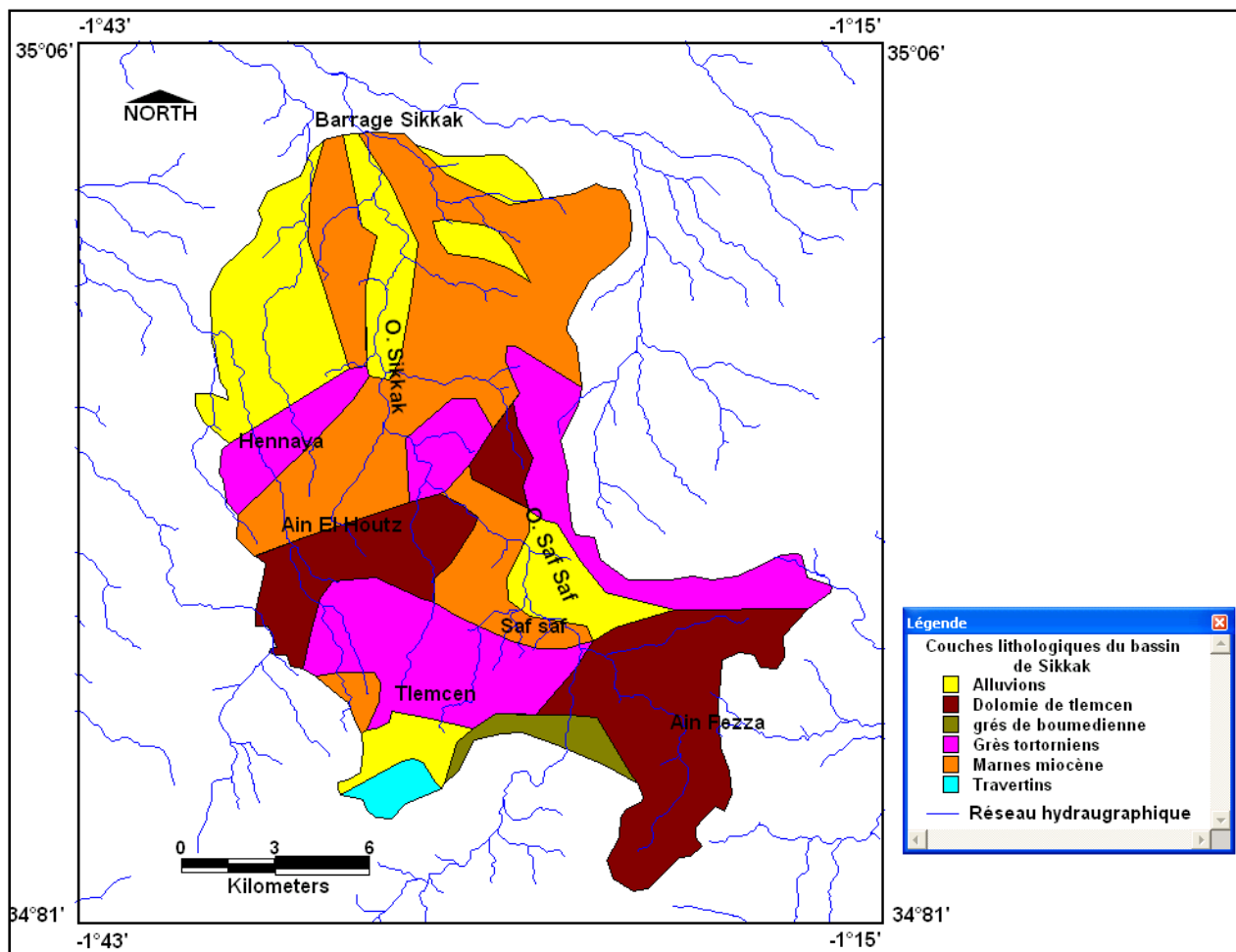
Carte 30(A,B,C). Cartes lithologiques de la zone d'étude



A. Littoral d'Oran



B. Plaine de Sidi Bel Abbès



C. Bassin d'oued Sikkak (Tlemcen), source: BOUANNANI, 2004

La contamination des eaux souterraines par les lixiviateurs des décharges a été étudiée dès la fin des années 70 (BAEDECKER et al., 1979). L'infiltration de ces lixiviateurs à travers les zones non saturées et saturées de l'aquifère engendre la formation d'un panache de contamination, orienté dans le sens de l'écoulement de la nappe d'eau souterraine.

En Algérie, on constate que l'implantation des décharges publiques a été faite sans tenir compte des risques de pollution des eaux souterraines par la percolation des eaux à forte charge polluante, à travers le sol et la zone non saturée (KHOULAID, 2005). Les impacts de cette percolation induisent une forte contamination du sol à perméabilité forte et des aquifères de faible profondeur. « La pollution, peut être, dans les nappes captives et dans les nappes libres. Mais, l'intensité de la pollution, le transport, la vitesse de propagation, la vitesse de destruction de cette pollution, dépendent essentiellement de la nature de l'aquifère » (LEBLANC, 1997).

Il est important d'analyser la profondeur de la nappe, car la pollution peut entrer par la surface du terrain. La nature de cette surface joue un rôle capital. Le terrain peut avoir une couverture de terre végétale agissant comme purificateur par sa teneur en microorganismes, en colloïdes minéraux et organiques, etc. S'il n'y a pas de couverture de terre végétale, la contamination sera d'autant plus

facile que l'on passe des terrains à perméabilité d'interstices aux terrains à perméabilité de fissures et de chenaux. La pollution peut entrer à une certaine profondeur sous le sol. Cela revient un peu au cas précédent, mais aggravé, car il est plus facile de produire une charge de polluant (cas des puits perdus par exemple). Un facteur important est la distance séparant la source de pollution de la surface de la nappe.

Analyser aussi la vitesse de propagation, car celle-ci entrera en ligne de compte dans le calcul de la décroissance de la pollution à partir du point de contamination. On aura donc à considérer la vitesse de filtration verticale dans la zone d'aération et la vitesse de propagation dans la nappe, en tenant compte de la vitesse de diffusion. Ainsi, l'intensité et la durée de la pollution, qui est le rapport de débits entre polluante et polluée. L'amortissement du polluant, c'est-à-dire, la diminution du polluant à partir du lieu de pollution. Diminution du polluant par rétention dans le terrain et diminution par destruction, physique, chimique ou biologique et l'extension du polluant dans les eaux souterraines, en distances, en largeurs et en profondeur (LIVET, 2004).

L'étude du facteur qui influe sur l'infiltration des polluants dans les aquifères est très nécessaire, et ne peut se faire qu'à partir de la réalisation des cartes de perméabilité des formations lithologiques. Le site d'une décharge doit être suffisamment étanche. Le caractère du sous-sol doit offrir une sécurité indispensable pour éviter tout risque de pollution des eaux souterraines, qui peuvent avoir de graves conséquences sur la santé humaine (BOUCHIKHI et al., 2006). La réalisation des cartes de perméabilité des sols a été basée sur l'analyse des couches lithologiques dans la zone d'étude.

La perméabilité du sol est la propriété qu'a le sol de transmettre l'eau et l'air, c'est un des critères les plus importants à prendre en considération pour l'étude des pollutions des eaux et des sols. Les sols sont généralement disposés en couches, et souvent la qualité du sol varie considérablement d'une couche à une autre. Il est important de déterminer dans les études des risques de pollution, comment se répartissent les couches perméables et imperméables.

De nombreux facteurs influent sur la perméabilité du sol, c'est surtout la texture du sol, la structure, la consistance des pores. Pour déterminer cette perméabilité, il convient d'analyser ces couches du point texture et structure. En général, plus la texture du sol est fine, plus la perméabilité est faible, la couche argileuse présente une texture fine donc la perméabilité est très faible, par contre, les alluvions, les sables, présentent une texture grossière, donc une forte perméabilité.

La porosité des roches détermine, elle aussi, le degré de la perméabilité des terrains (tableau 11) nous constatons que les roches de faible porosité sont de forte perméabilité, les roches de forte porosité sont de faible perméabilité.

À partir de ces caractères des roches, structure, texture et porosité, nous avons analysé les couches lithologiques existant dans la zone d'étude et nous avons déterminé la perméabilité des couches en trois degrés, perméable, semi-perméable et imperméable (carte 31 A,B,C.).

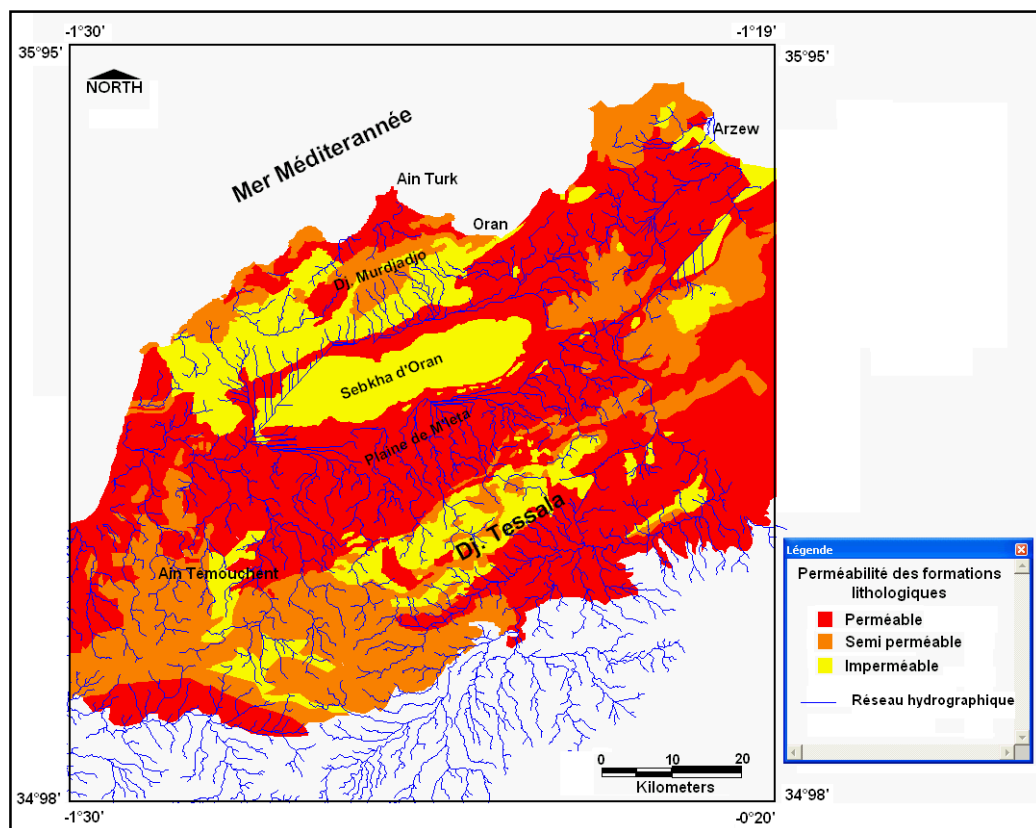
Tableau 11. Porosité, perméabilité et résistivité des différentes roches

Roches	Porosité totale (%)	Perméabilité (cm/s)	Résistivité (ohms*m)
Argilite	35	10^{-8} - 10^{-9}	70 à 200
Craie	35	10^{-5}	30 à 300
Tuf volcanique	32	10^{-5}	20 à 300
Marnes	27	10^{-7} - 10^{-9}	20 à 100
Grès	3 à 35	10^{-3} - 10^{-6}	30 à 800
Dolomite	1 à 12	10^{-5} - 10^{-7}	200 à 10'000
Calcaires	3	10^{-10} - 10^{-12}	200 à 10'000
Métaschistes	2.5	10^{-4} - 10^{-9}	300 à 800
Gneiss	1.5	10^{-8}	1'000 à 20'000
Quartzite	<1	10^{-10}	1'000 à 10'000
Granite	1	10^{-9} - 10^{-10}	1'000 à 15'000
Gabbro	1 à 3	10^{-4} - 10^{-9}	6'000 à 10'000
Basalte	1.5	10^{-6} - 10^{-8}	800 à 15'000

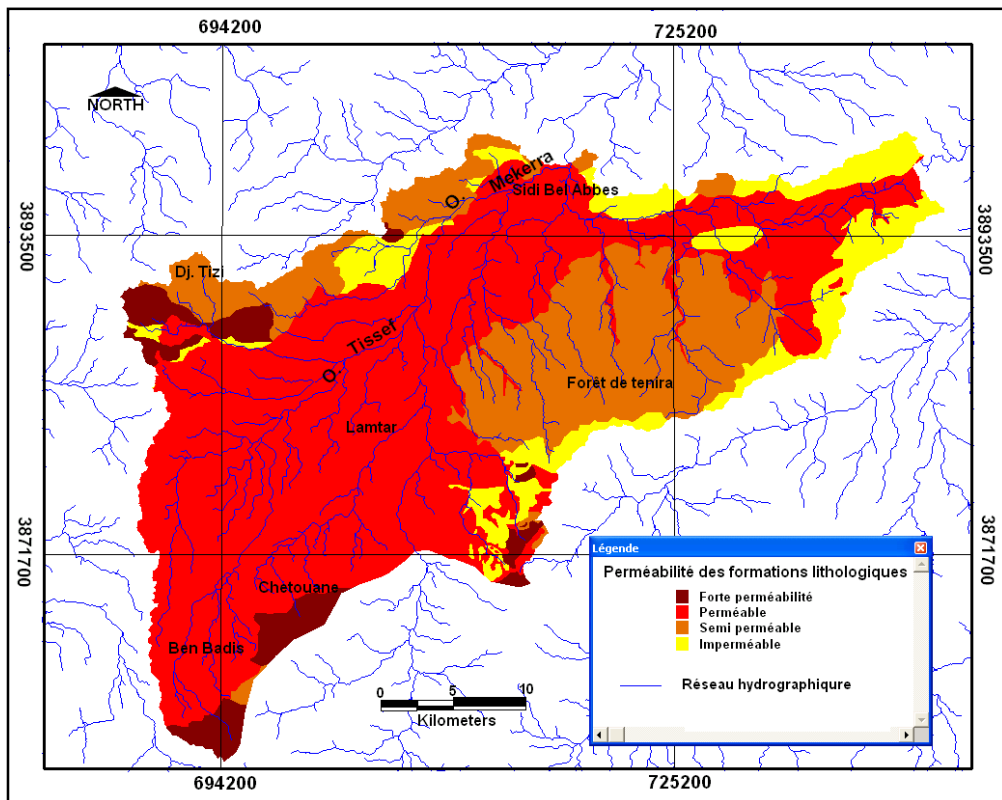
Source : CHAPPELLIER, 2015

Carte 31 (A,B,C). Cartes de la perméabilité des formations lithologiques dans la zone d'étude.

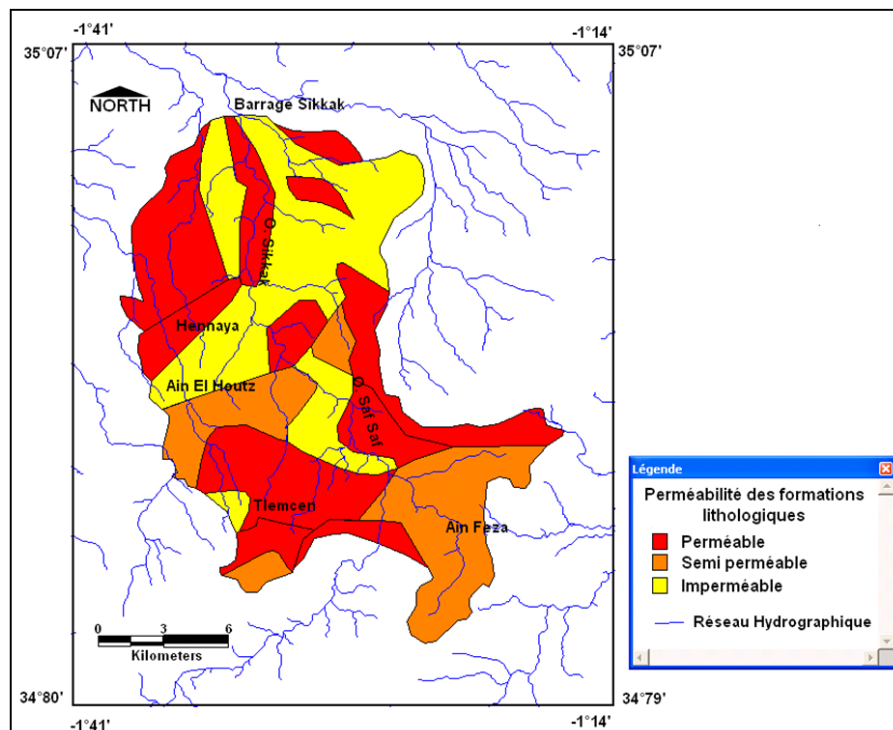
A. Perméabilité dans le littoral d'Oran



B. Perméabilité dans la plaine de Sidi Bel Abbès



Source : SOURISSEAU, 1973
 C. Perméabilité dans le bassin d'oued Sikkak



Source : BOUANNANI, 2004

2.2. Piézométrie et profondeur de la nappe : paramètres de la pollution des eaux souterraines

Les nappes sont alimentées par infiltration des eaux pluviales. Elles doivent donc impérativement être protégées contre les sources de pollution, d'autant que le renouvellement de ces eaux souterraines peut être très lent et que les pollutions y sont alors persistantes. Ces pollutions proviennent essentiellement de rejets des assainissements urbains et industriels, lixiviats des décharges d'ordures ménagères ou industrielles, retombées atmosphériques, des fumées industrielles et domestiques, lessivage des engrais, etc.

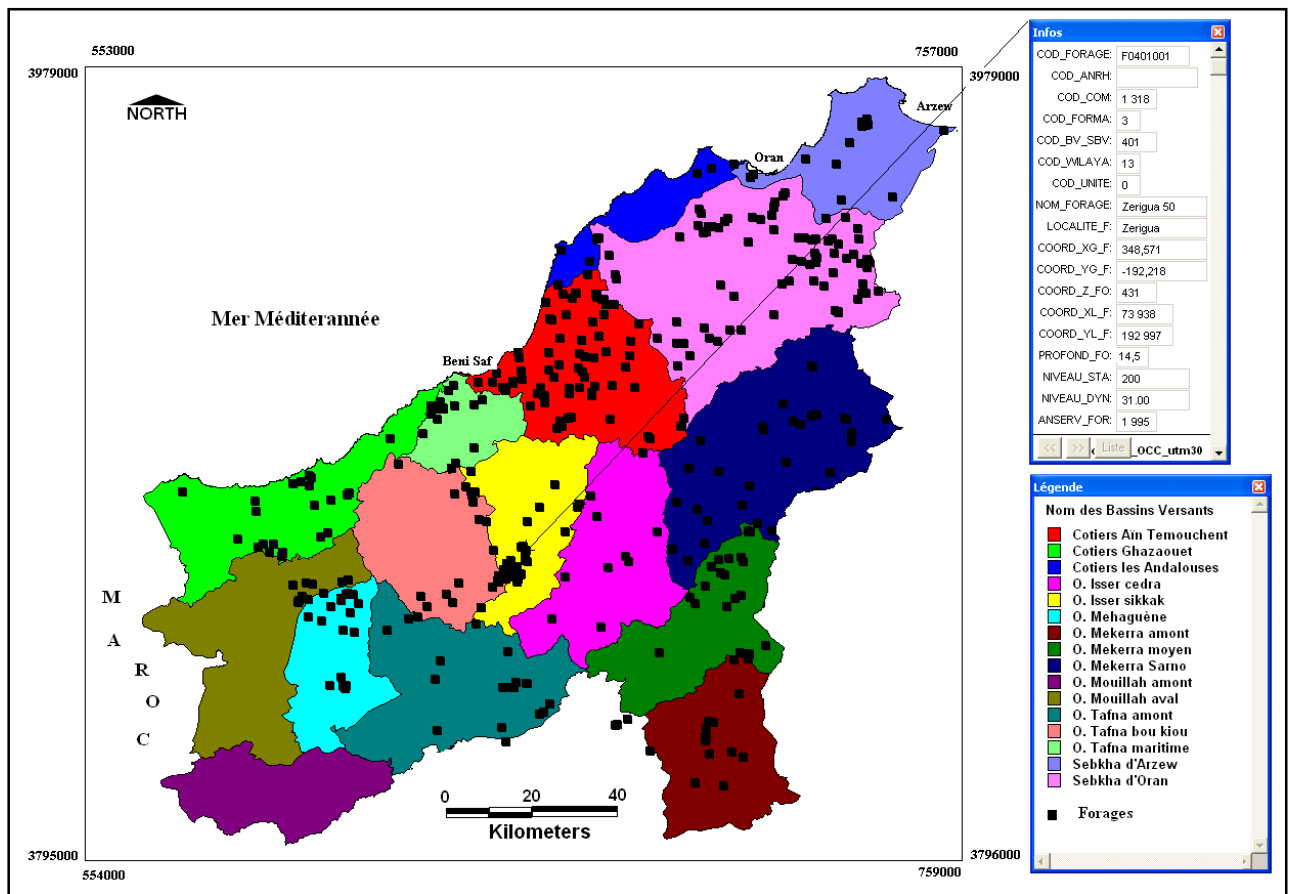
Pour mieux protéger les nappes, les sources de pollution doivent être impérativement réduites, afin de stopper les flux de polluants parvenant aux nappes. Cette protection nécessite la connaissance approfondie de l'hydrogéologie de la zone. Une étude hydrogéologique est très indispensable dans les études de la pollution, cette étude comporte la piézométrie et la profondeur de la nappe.

Les cartes piézométriques représentent la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques. Elles présentent les conditions des limites hydrodynamiques. Sont des documents de base pour l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitatives et conductrices du réservoir et du comportement hydrodynamique des aquifères. C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

La vitesse d'écoulement des eaux souterraines conditionne les phénomènes de dilution, dégradation et fixation des polluants. Elle est lente dans les aquifères poreux homogènes et très rapides en milieu karstique ou clans des extrémités de coulées. Le transfert d'une même masse d'eau pourra alors demander une ou plusieurs années dans l'aquifère alluvial et quelques jours à quelques heures dans l'aquifère très fissuré (LIVET, 2004).

Nous avons réalisé une analyse de profondeur de la nappe de la plaine de M'leta et d'El Kerma, ainsi que la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbas, la plaine d'Hennaya et Maghnia et la zone d'Ain Témouchent. Nous avons basé sur les données des compagnes piézométriques qu'ont été fournies par l'ANRH en décembre 2011. Pour la réalisation de ces documents de base (profondeur de la nappe), nous avons basé sur les données de 162 forages de la wilaya de Sidi Bel Abbas, 62 forages de la wilaya d'Oran, 118 forages de la wilaya d'Ain Témouchent et 168 forages de la wilaya de Tlemcen, répartie sur toute la zone d'étude. La variable utilisée pour la description de la nappe est la profondeur.

Figure 18. Localisation des forages selon les bassins versants dans la zone d'étude (ANRH, 2011)



L'analyse des cartes piézométriques aboutit à l'identification des zones privilégiées pour l'implantation des stations d'essais et des ouvrages de captages. Elle contribue, également, à la prescription des mesures de protection de la qualité des eaux souterraines captées pour l'alimentation humaine.

Les études piézométriques de la nappe alluviale de la sebkh'a d'Oran montrent que les écoulements des nappes superficielles quaternaires sont dirigés vers le Nord en direction de la sebkh'a. Les écoulements sont rapides à l'amont, ils deviennent de plus en plus lents au fur et à mesure que l'on se rapproche de la sebkh'a. La recharge de la nappe de M'léta se fait essentiellement à partir des eaux pluviales qui s'infiltrent sur l'ensemble de l'impluvium. Les oueds participent principalement à la recharge. Cette dernière est facilitée par la bonne perméabilité des formations alluvionnaires formées d'éléments grossiers (cônes de déjection des oueds).

Au Nord, entre Misserghin et Ain Beïda, on note la présence d'un petit dôme piézométrique dû probablement à une remontée des calcaires sous-jacents. Généralement, les côtes piézométriques, en dehors des zones de pompages, ont des valeurs plus élevées en hautes eaux. Les battements de la nappe sont plus importants et plus irréguliers près des affleurements calcaires. Ils peuvent atteindre dans la zone du pont Albin 5 à 6 m, par contre, plus en aval, ces battements sont moins

importants de l'ordre de 0.5 à 1.5 m. Nous remarquons que les courbes sont généralement à très faible concavité orientée vers l'aval, l'écoulement se fait généralement vers le Nord. Ceci ne peut que favoriser l'infiltration des polluants dans la nappe phréatique.

Dans la zone de Tafraoui, une partie de l'écoulement se fait vers le Nord, en direction de l'oued Tlelat. L'autre partie se fait vers le Nord-ouest soit sub parallèlement à l'oued Tafraoui, à l'ouest de cette zone (Arbal), l'écoulement souterrain coïncide globalement avec la direction des oueds et où l'on remarque à une zone de drainage des eaux souterraines. Une troisième zone s'individualise dans la zone d'Ain Larbaa. Cette zone est séparée de la deuxième par une ligne de partage des eaux assez nette. Dans cette zone, l'écoulement de direction Nord-est se fait sub parallèlement. Le drainage se fait vers la sebkha.

L'analyse piézométrique de la plaine de Sidi Bel Abbes relève que l'écoulement convergeant vers un seul exutoire dans la Mekerra, c'est le lieu-dit le Rocher et ligne de partage des eaux Nord-sud située à l'Ouest de la plaine et passant à quelques mètres de Ben Badis et Hassi Zehana. Les zones de bordures sont caractérisées par de forts gradients hydrauliques où la nappe est rapidement drainée (Sidi Ali Boussidi, Ben Badis). Par contre, les interfluves et les zones d'accumulations ou d'alimentations (le Rocher, Sidi Yacoub, Bedrabine, Tabia) accusent des gradients plus faibles. On observe un battement de la nappe dans presque sa totalité. L'amplitude des variations des niveaux piézométriques est de l'ordre de quelques mètres au Nord et une dizaine de mètres au centre et au Sud. Les formations d'âge plio-quadernaire qui remplissent la grande plaine de Sidi Bel Abbes sont le siège d'un écoulement souterrain transitant principalement par les alluvions plus ou moins cimentées et les conglomérats des chenaux aquifères (YOUSFI, 2008).

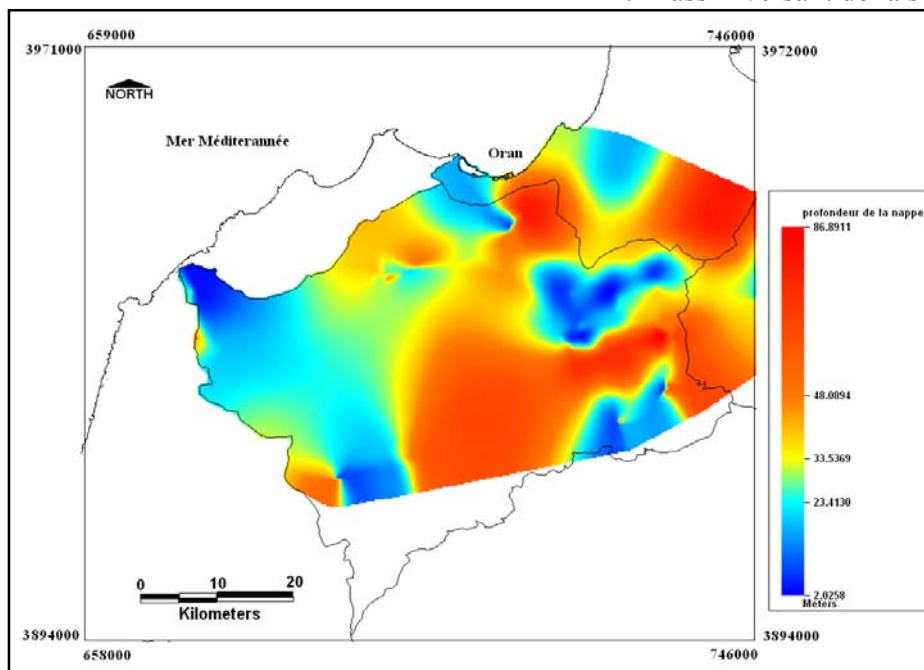
Au niveau de la plaine d'Hennaya, l'analyse piézométrique montre que l'écoulement de la nappe se fait du Sud jusqu'à la zone de drainage au Nord. Les apports proviennent du Sud sans échange latéral. L'équidistance des isopièzes au Sud est plus faible qu'au Nord. Au Nord, le gradient hydraulique est beaucoup plus faible par rapport au Sud. Ceci est dû à la perméabilité des grès qui est plus faible que celle des conglomérats (BEMMOUSSAT, 2012).

Pour la plaine de Maghnia, entre les hautes eaux, les moyennes eaux et les basses eaux, la nappe garde la même structure, les mêmes sens d'écoulement et les lignes de partage des eaux ne sont pas modifiés, mis à part la baisse générale de la surface piézométrique entre mars et novembre. L'examen des courbes isopièzes met en évidence l'existence d'une direction générale d'écoulement du Sud vers le Nord. Au Nord et à l'Ouest, les isopièzes sont assez espacées, tandis qu'au Sud et au Sud-est, elles se rapprochent pour donner des gradients hydrauliques plus importants. Nous pouvons remarquer aussi le caractère drainant de l'oued Ouerdefou à l'Est de la nappe ainsi que celui du Mouillah à l'Ouest. Aussi, les zones d'alimentations latérales sont localisées :

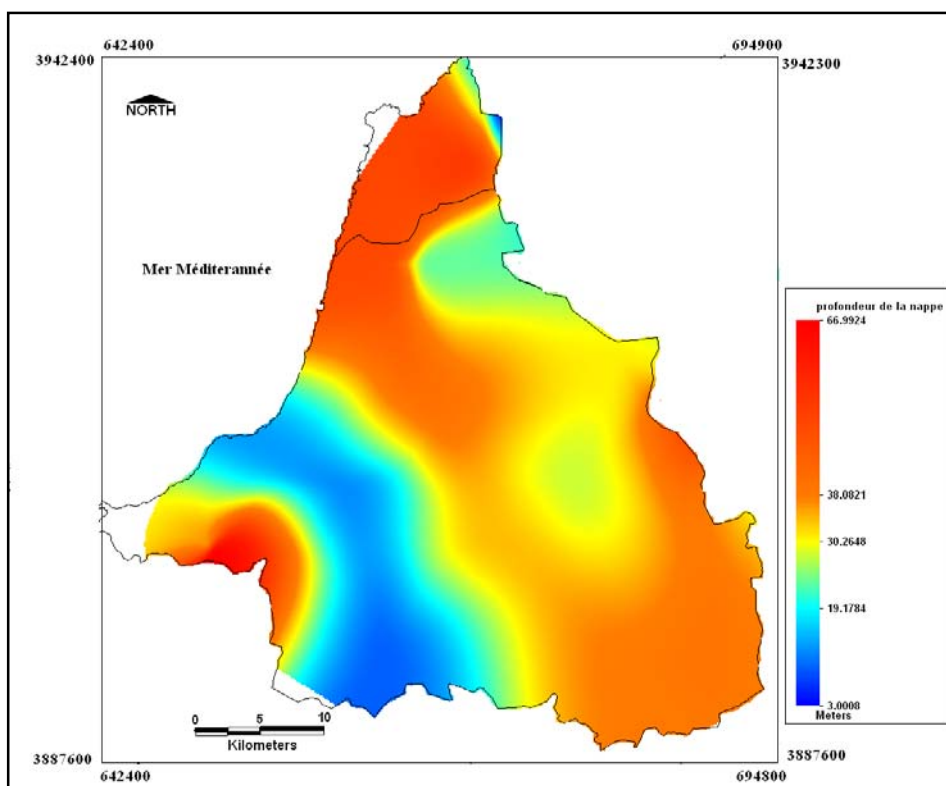
- À l'Ouest et au Sud-ouest par une alimentation venant du Maroc.
- Au Sud-est par la surcharge des nappes jurassiques des monts de Tlemcen (alimentation de la nappe par trop-plein).

Figure 19 (A,B,C,D,E). Cartes des modèles numériques de profondeur de la nappe dans la zone d'étude

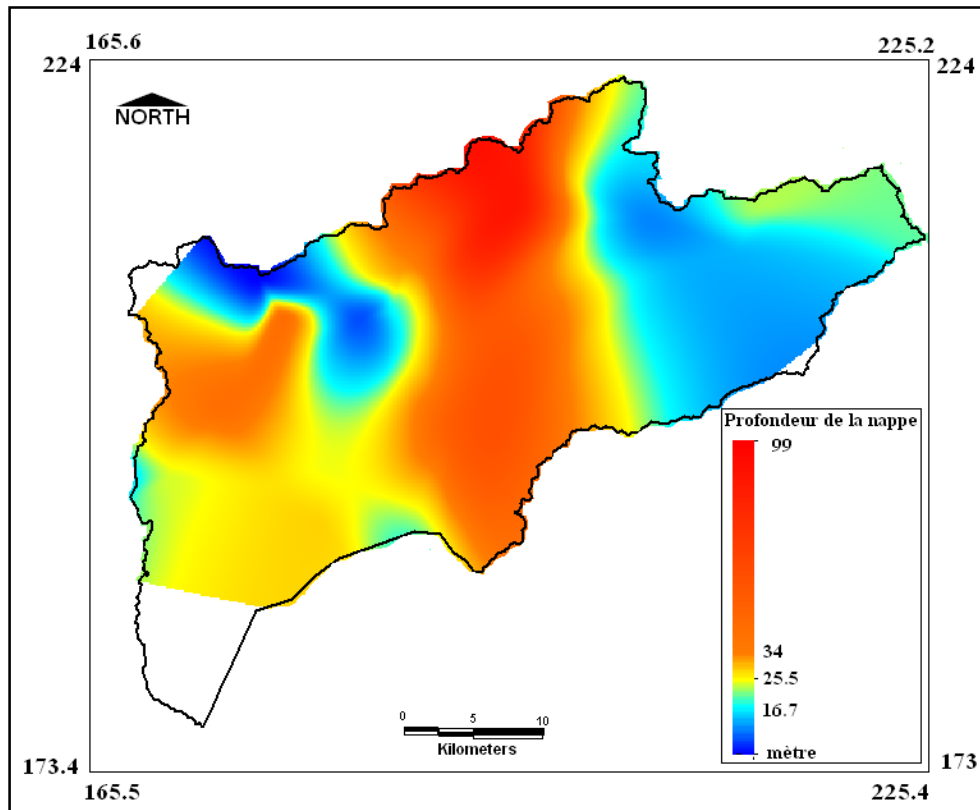
A. Bassin-versant de la sebkha d'Oran



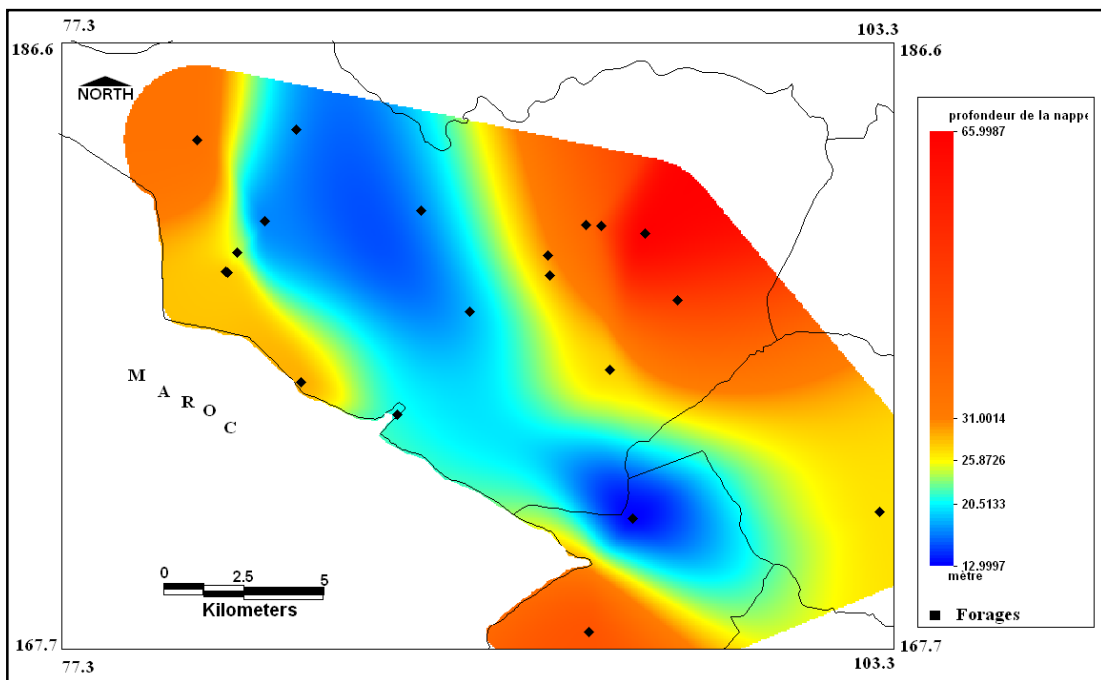
B. Bassin-versant du côté d'Ain Témouchent



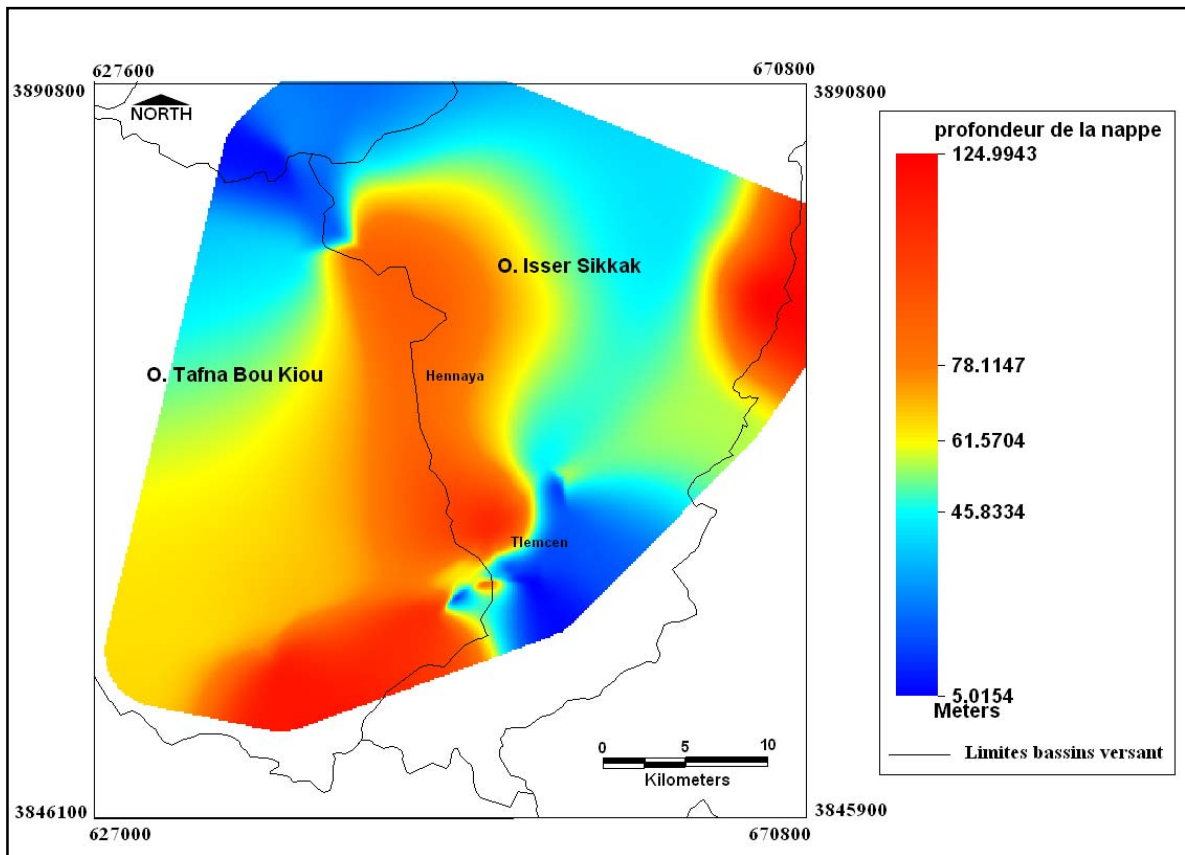
C. Plaine de Sidi Bel Abbas



D. Plaine de Maghnia



E. Bassins-versants d'oued Sikkak et Bou Kiou



Source : données ANRH (2011), traitement personnel (2017)

Au Sud, on note des isopièzes qui se referment mettant ainsi en évidence un drainant alimenté par les nappes du jurassique par l'intermédiaire de la faille N 70°E. Elle est ascendante bordant la plaine et responsable du découpage de la région en horst et graben. La surface piézométrique et le substratum de la nappe sont sous forme des blocs diagrammes (BABA HAMED, 2007).

Les nappes peuvent être contaminées par des substances chimiques polluantes qui vont s'infiltrer à travers la zone non saturée pour rejoindre la nappe. Dans ce domaine, la profondeur de la nappe joue un rôle très important dans cette contamination, les nappes libres de faible profondeur sont exposées facilement à la pollution, par contre, les nappes de forte profondeur, les eaux polluées prennent du temps pour atteindre la nappe. Une nappe d'eau souterraine est marquée par une certaine inertie, et la régénération d'une nappe dégradée par une pollution est beaucoup plus longue que celle d'un cours d'eau. Dans ce cas, il est impératif d'établir les cartes de profondeur de la nappe, afin de cerner les nappes qui peuvent être exposées facilement aux risques de la pollution.

On détermine la profondeur d'un aquifère (donc de sa zone saturée) grâce au niveau piézométrique. Celui-ci correspond à une profondeur, par rapport à la surface du sol, de la limite entre la zone saturée et la zone non saturée dans une formation aquifère (en mètres). On distingue

les **nappes libres** (non recouvertes, alimentées sur toute leur surface), des **nappes captives** (recouvertes totalement ou partiellement par une couche de terrain imperméable; nappes sous pression).

On distingue la nappe de la plaine de M'leta et d'El Kerma, la nappe alluvionnaire de la plaine de Sidi Bel Abbes, la nappe alluvionnaire de la plaine d'Hennaya, la nappe alluviale de la plaine de Maghnia et la nappe de plateau d'Ain Témouchent comme des nappes libres de faible profondeur. Ce paramètre a été obtenu par interpolation des puits et forages utilisés pour cette étude. L'interpolation est faite par la méthode IDW pour obtenir des courbes d'iso-profondeurs. Par la suite, nous avons utilisé la méthode de triangulation pour transformer ces courbes en un modèle numérique de profondeur de la nappe (figure 19 A,B,C,D,E). Ces cartes traduisent la faible profondeur de la nappe au niveau des zones suivantes :

- Entre 0 à 15 m au niveau de l'Est de la sebkha d'Oran (plaine d'El Kerma), le Nord de la sebkha, la zone de Tafraoui et oued Tlelat ainsi que la nappe de Brédea et la zone d'Ain Larbaa.
- Entre 3 à 17 m dans la partie d'Ain Kihel, Sidi Ben Adda, Beni Saf et l'Est de Bouzedjar, presque tout le territoire de la plaine de Sidi Bel Abbes.
- Pour la plaine de Sidi Bel Abbes, les faibles profondeurs entre 2 à 20 m se localisent dans la partie Nord-ouest au niveau du Sidi Ali Boussidi et Sidi Dahou, au Sud Tabia et Sidi Ali Ben Youb, à l'Ouest au niveau du Telmouni et Sfisef, ainsi qu'au l'Est de la ville de Sidi Bel Abbes.
- Pour la zone de Tlemcen, les faibles profondeurs entre 5 à 20 m sont au niveau de la ville de Tlemcen et Chetouane et la zone de Remchi.
- Pour la plaine de Maghnia, la faible profondeur entre 12 à 20 m se trouve au niveau du Nord de Beni Bousaid et le centre et le Nord de la plaine de Maghnia.

Ces zones de faible profondeur de la nappe présentent un risque majeur de dégradation des eaux souterraines et sont très vulnérables à la pollution, en cas de sources de pollution (décharges et eaux usées) ces eaux deviennent très polluées.

Conclusion du 2^{ème} chapitre : un traitement et une analyse d'une base de données multi-sources sous un SIG permet l'évaluation de la gestion des déchets

Au cours de ce chapitre, nous avons porté une attention particulière à la réalisation d'une base de données nécessaire pour l'évaluation de la gestion environnementale, en général, et à la gestion des déchets solides et liquides en particulier. En effet, face à la complexité et la diversité de ces données, nous avons dû consacrer beaucoup d'efforts à la collecte, la saisie, l'analyse et la gestion ainsi qu'à la maîtrise d'un grand nombre d'outils informatiques.

Dans ce cadre, nous avons utilisé des données spatiales et exogènes multi-sources, données de télédétection optiques et les modèles numériques de terrains, données exogènes comme les données topographiques, géologiques, climatiques, hydrogéologiques et statistiques. Ces documents (occupation du sol, la détection des décharges publiques, cartes des infrastructures routières, carte des pentes, données hydrologiques, données lithologiques et la perméabilité de terrains, données hydrogéologiques, données sur la production des déchets solides et liquides) intégrés dans un SIG, aident à l'analyse et l'évaluation environnementale d'un site pollué (sites de décharge et milieu récepteur des eaux usées), cette base de données présente des documents précieux d'aide à la décision pour les gestionnaires de protection de l'environnement et d'aménagement du territoire.

Les études préalables pour l'ouverture d'une décharge contrôlée, dont il s'agit de recherche de sites ou étude d'impact, pourront apparaître longues et coûteuses à l'exploitant. Il faut garder à l'esprit qu'elles sont nécessaires et utiles tant à l'exploitant qu'à la collectivité, pour préserver la santé des populations et l'hygiène du milieu naturel, ainsi que préserver les ressources naturelles. L'élaboration des études des sites de décharge et des milieux récepteurs des eaux usées nécessitera des études plus ou moins spécialisées, et ce ne peut se faire qu'à partir de la télédétection et la réalisation d'une base de données à référence spatiale. Nous avons établi une base de données multi-sources à partir des techniques variées, dans le but d'une analyse multicritères pour les études des décharges et rejets des eaux usées ainsi que la réalisation des plans d'aménagement.

Les plans d'occupation du sol à partir des images satellitales permettent de décrire le contraste bien net de type d'occupation entre le Nord de la zone d'étude (le littoral) et le Sud, nous constatons une forte concentration des espaces urbanisés dans le Nord par rapport au Sud, conduit aux plusieurs difficultés dans la gestion des déchets dans le Nord. Les espaces forestiers sont localisés en particulier dans les zones montagneuses, une occupation importante des terrains agricoles dans les zones de plaines. La zone de Tlemcen est très marquée par l'existence des barrages qui constituent les principales ressources d'alimentation en eau potable et d'irrigation qu'elles doivent être préservées. Au niveau du Sud, la steppe est très touchée par les phénomènes d'ensablements et la croissance des sols nus.

Par l'utilisation des modèles numériques de terrains ASTER, il nous a permis de réaliser des cartes des pentes automatiques et une extraction facile automatique du réseau hydrographique. Les zones de plaines présentent des pentes faibles, ces dernières favorisent l'infiltration des eaux pluviales et

donnent assez de temps pour alimenter la nappe, dans le cas d'une source de pollution, la contamination des eaux souterraines est facile.

Les eaux usées sont évacuées dans les réseaux hydrographiques, la hiérarchisation de chevelu hydrographique est une nécessité dans les études des milieux récepteurs, car un rejet dans une cour d'eau d'ordre 1 ou 2 favorise la contamination de tous les oueds, par contre le rejet dans une cour d'eau d'ordre élevé (cours d'eau principal et permanent) présente une pollution des barrages, lacs, sebkha et la mer.

L'utilisation des données géologiques, dans le cadre des études de pollution, présente plusieurs points avantageux, notamment, qu'elles nous aident à la réalisation des cartes lithologiques, l'analyse des couches lithologiques permettra de réaliser des cartes de perméabilité des terrains, et donner une analyse des zones les plus perméables et donc les zones de risques de pollution des eaux souterraines.

À partir des données hydrogéologiques, on a pu délimiter les zones de nappes phréatiques, présentes des faibles profondeurs, ces nappes sont très exposées au risque de pollution par rapport aux nappes profondes.

Généralement, on peut dire que ce chapitre a répondu aux besoins vitaux de collecte et de traitement de la base de données en utilisant les SIG et la télédétection, afin de faciliter l'évaluation des sites de décharge et l'analyse de milieux récepteurs des eaux et décrire leurs impacts, et enfin l'élaboration des plans d'aménagement dans les chapitres suivants.

Chapitre 3

Décharges publiques et centres d'enfouissements techniques, entre faisabilité et respect de l'environnement

Introduction

La méthode la plus privilégiée pour l'élimination des déchets reste la mise en décharge. Les décharges sont dans un état d'insalubrité très prononcée et constituent, de ce fait, un danger permanent pour l'environnement et pour la santé publique. L'enquête réalisée par les services du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) fait ressortir plus de 3200 décharges sauvages implantées à travers le territoire national, dont 350 au niveau des 40 grandes villes du pays (ONS, 2015), occupant une superficie de plus de 150 000 ha et situées le plus souvent sur des terres agricoles ou d'élevage ou le long des oueds.

La problématique des décharges est un sujet complexe et délicat en raison des dangers sanitaires que ces derniers représentent et elles prennent une dimension sociale, psychologique et identitaire. Plusieurs dommages à différents niveaux résultent de l'émergence de ces décharges, ou dans la plupart des cas sont reliés à la dévalorisation des lieux, aux nuisances sanitaires et à la défiguration des paysages. Ce qui nous mène à analyser les raisons pour lesquelles les tentatives de transformation de ces décharges sont infructueuses.

« La décharge par définition est un lieu où l'on se débarrasse, dépose ou jette des ordures, des déblais. Ceci dit, elle représente l'élément physique le plus apparent dans le circuit de la gestion des déchets » (CHBAT, 2010). La plupart des décharges en Algérie sont sauvages, ayant obtenu ensuite l'approbation et l'autorisation des autorités administratives à déposer les déchets dans des sites à ciel ouvert.

Dans le but d'analyser la problématique de la gestion des déchets et plus particulièrement la mise en décharge, ainsi que l'étude des sites de ces derniers dans la zone d'étude, nous avons développé une démarche d'analyse des sites, en se basant sur les traitements de la base de données à référence spatiale, établie en deuxième chapitre et ainsi que l'utilité des systèmes d'informations géographiques dans l'analyse de cette problématique.

Le sujet de l'étude des décharges, en se basant sur les SIG et la télédétection, a été traité au niveau international, nous citons ANDRE et HOUTAIN (1999), qui ont établi une étude sur la sélection des sites de décharge dans la région Wallonne (Belgique). CHBAT (2010) a étudié le thème des paysages de décharges publiques urbaines au Liban. KOUAME et al., (2007) ont abordé ainsi un autre thème, qui est la gestion des déchets solides dans le district d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire), en basant sur l'apport d'un SIG et les méthodes d'analyse multicritère. ANDLAUER, VAUTIER (2013) ont traité le thème de la recherche d'un site favorable pour une décharge bio active en Suisse.

EL HMAIDI et al., (2015) ont établi une étude sur l'apport du SIG et de l'analyse multicritère dans le choix des sites, application pour l'installation de la décharge publique de la ville d'Agourai (province d'El Hajeb, Maroc). DAGHARI et al., (2010) en Tunisie, ont abordé l'étude de la décharge de déchets ménagers et assimilés qui est une source de nuisance et par l'apport de la télédétection et les SIG. EL MORJANI (2002) de l'université de Genève a réalisé une thèse de doctorat sur la problématique d'une conception d'un système d'information à référence spatiale pour la gestion environnementale, application à la sélection de sites potentiels de stockage de déchets ménagers et industriels en région semi-aride (Souss, Maroc).

En Algérie, la problématique de l'étude des décharges publiques basée sur les SIG et la télédétection n'est pas largement abordée, nous pouvons citer quelques travaux, tels que l'étude de MEHDI MEKAIKIA (2007) qui traite les caractéristiques de la décharge publique de la ville de Tiaret et son impact sur la qualité des eaux souterraines. Ainsi que les travaux MEZOUARI (2011) sur la conception et l'exploitation des CET en Algérie et limitation des impacts environnementaux.

L'importance de l'étude des décharges et leurs faisabilités environnementales au niveau international, nous amènent à réaliser une analyse et une évaluation des décharges dans la région Nord-ouest Algérien et voir l'apport des nouvelles techniques comme les SIG et la télédétection. Pour cette analyse, nous avons pris des zones pilotes, les importantes décharges publiques et centres d'enfouissement techniques, qui sont :

- La décharge publique d'El Kerma qui représente une véritable menace écologique de la sebkha d'Oran même après sa fermeture.
- Le centre d'enfouissement technique d'Ain Témouchent, c'est un site au milieu d'une zone urbaine, ce choix d'étude n'est pas aléatoire, car il présente un danger permanent pour l'homme et les ressources en eaux.
- Le centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbas, qui est une décharge sauvage aménagée, mais localisée très proche de la ville de Sidi Bel Abbas.
- Le centre d'enfouissement technique de Tlemcen, ce dernier par les rejets du lixiviat non traités ou traités par lagunage présente un danger de pollution des ressources en eaux de surface et souterraine.

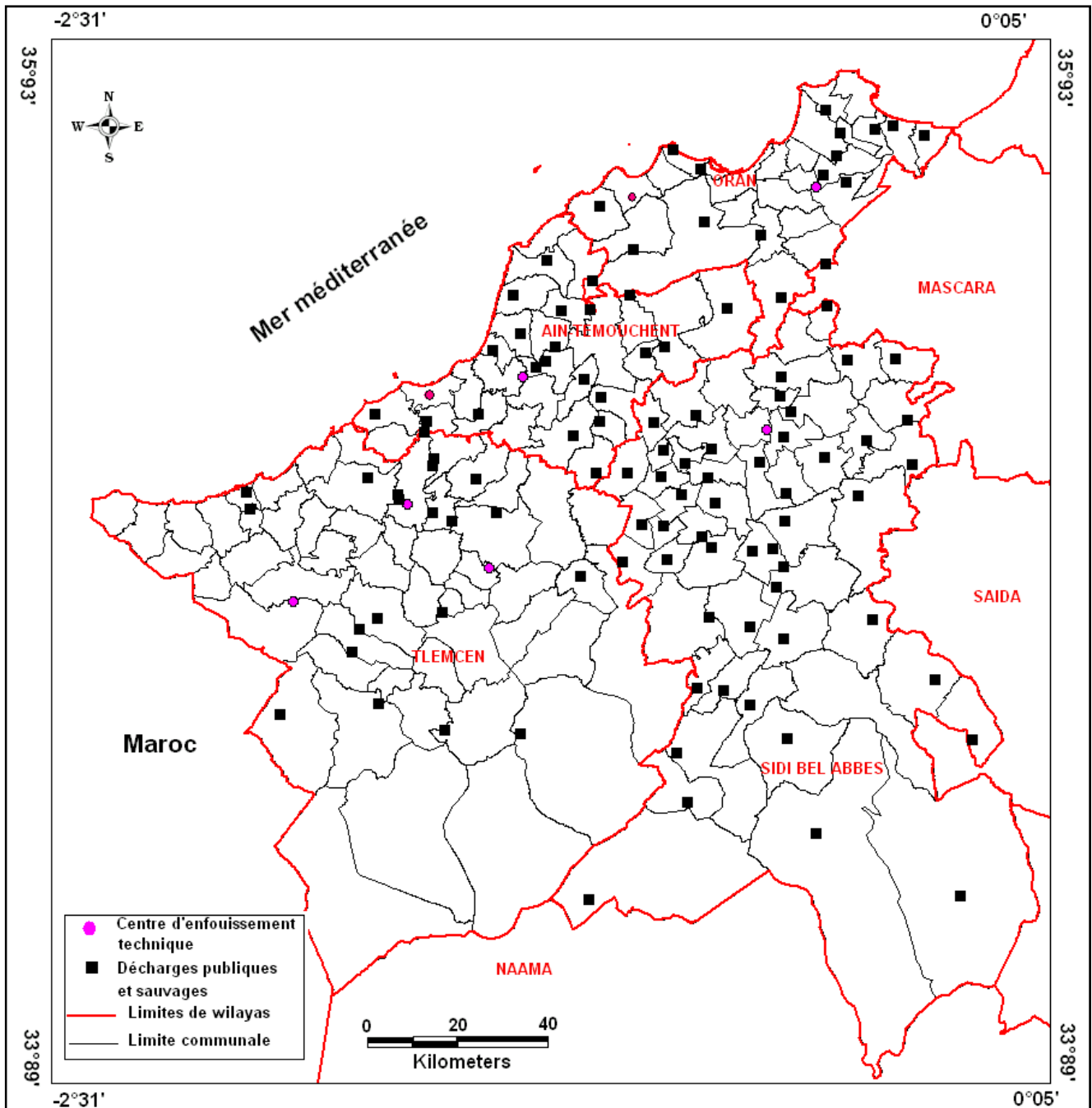
I. Contextes géographiques régionaux et locaux des décharges et des centres d'enfouissement techniques dans la région d'étude

Les décharges contrôlées constituent le maillon ultime et indispensable de toute filière de traitement des déchets urbain. C'est aussi l'étape ultime pendant laquelle les déchets sont en contact permanent avec le milieu naturel pour une très longue période. Ces décharges présentent différents éléments de risques pour la santé et pour l'environnement, comme les biogazs, les lixiviats, les émissions de bioaérosols et les nuisances. Avec un accroissement de la population urbaine et une augmentation de la charge produite, on assiste à une forte prolifération des décharges dans la zone d'étude, et par conséquent à un impact significatif sur l'environnement.

Vu les conséquences de cette prolifération au cours de ces dernières années, les gestionnaires ont pris conscience de la gestion des décharges, particulièrement dans les grandes villes où l'impact de

mise en décharge sur l'eau et le sol est devenu préoccupant (MEHDI MEKAIKIA et al., 2007). La zone d'étude porte un nombre élevé de décharges contrôlées et sauvages et un nombre faible des centres d'enfouissement techniques (carte 32).

Carte 32. Localisation géographique des décharges et centres d'enfouissement techniques dans la zone d'étude



A. Wilaya d'Ain Témouchent : nombre important de décharges sauvages par rapport aux décharges contrôlées sur des terrains agricoles et proche des agglomérations

Dans la wilaya d'Ain Témouchent, on retrouve 27 décharges, d'une superficie totale de 65.48 ha selon la direction de l'environnement (tableau 12), dont 23 sont sauvages installées sans aucune étude d'impact, ainsi que deux centres d'enfouissement techniques de Sidi Ben Adda et de Sidi Safi.

Tableau 12. Décharges dans la wilaya d'Ain Témouchent

Décharges	Superficie en ha	Type de la décharge
Ain Témouchent (Sidi Yamina)	12	Décharge contrôlée
Sidi Ben Adda	10	CET
El Maleh	2	Décharge sauvage
Terga (Belgourinette)	2	Décharge sauvage
Chaabet El Ham (ghar Lamdel carrière)	1	Décharge contrôlée
Oued kihel	5	Décharge sauvage
El Amria (sebkha)	2	Décharge sauvage
Bouzedjar (route vers houaoura)	2	Décharge sauvage
Oued Boudjemaa (forêt)	2	Décharge sauvage
El M'said	1	Décharge sauvage
Hassi El Ghella (sebkha EAC 7)	1	Décharge sauvage
Hammam Bou Hadjar (EAC berahal)	4	Décharge contrôlée
Oued Berkeche	2	Décharge sauvage
Chentouf (carrière)	2	Décharge sauvage
Hessasna (est de la ville)	2	Décharge sauvage
Ain El Arbaa (sebkha)	2	Décharge sauvage
Tamazourah (El Halfaoui)	1	Décharge sauvage
Sidi Boumedienne	2	Décharge contrôlée
Oued Sebbah	1	Décharge sauvage
Beni Saf (carrière au Nord)	2.5	CET
Emir AEK (carrière)	4	Décharge sauvage
Oulhaça (Regnagna)	1	Décharge contrôlée
Sidi ouriache (M'sad)	0.5	Décharge sauvage
Ain Kihel	1	Décharge contrôlée
Aghlal	1.08	Décharge sauvage
Ain tolba (côté RN35)	1.5	Décharge sauvage
Aoubellil	5.4	Décharge contrôlée

Source : Direction de l'environnement d'Ain Témouchent, 2013

La décharge publique d'Ain Témouchent (Sidi Yamina) a généré largement des problèmes comme :

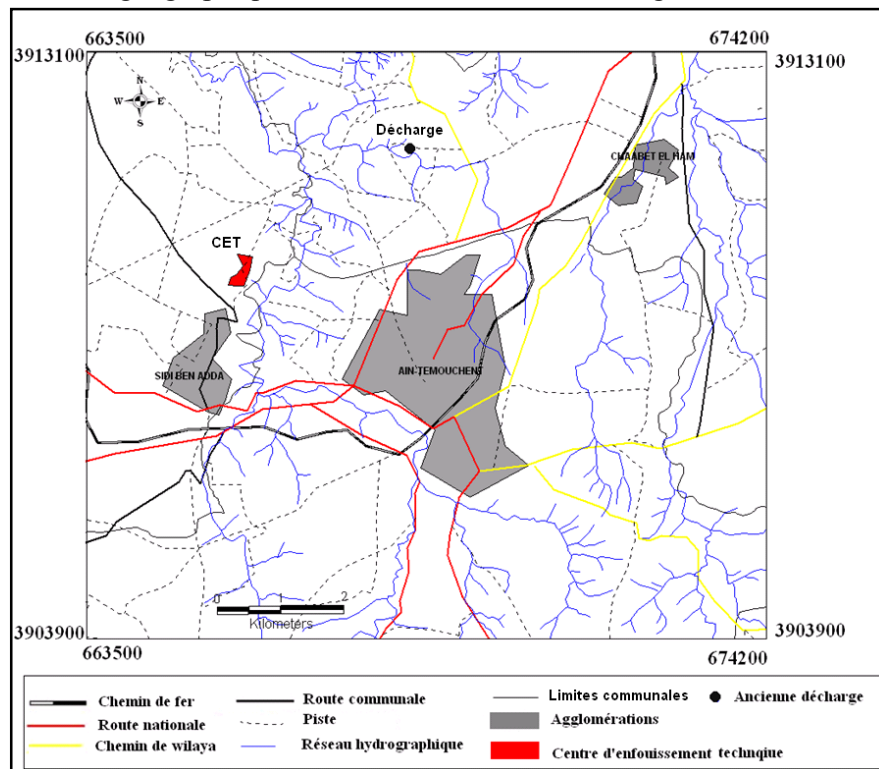
- les nuisances sonores provoquées par le transport et l'exploitation, la pollution olfactive (flux d'émanation des odeurs nauséabondes des agglomérations de proximité) ;
- les chemins d'accès extérieurs et intérieurs sont très difficiles, une absence des normes de sécurité et d'hygiène ;
- la présence de la décharge dans un périmètre agricole avec les risques de contamination des ressources en eau ;
- la morphologie est inadaptée pour l'implantation de la décharge ainsi que la présence de la décharge à proximité d'un écosystème fragile.

- la décharge est non contrôlée et constitue un gîte important de moustiques, oiseaux et d'animaux errants, le développement anarchique de tri informel (présence de chiffonniers, etc.) ainsi que le passage des camions transporteurs des déchets à proximité du camping le plus important de la ville.

Tous ces aspects ont conduit à la fermeture de cette décharge en 2011, mais elle est encore exploitable d'une façon illicite et anarchique, la décharge a été mise en exploitation le 01 octobre 1997, elle est d'une superficie de 12 ha, située à 3 km Nord-est de la ville d'Ain Témouchent, à 2 km de la route nationale n°2 qui relie Oran-Tlemcen. La décharge Sidi Yamina a été autorisée à exploiter, mais non contrôlée où elle reçoit les différents types de déchets solides résidentiels, industriels, hospitaliers, de démolition et de construction, produits par les communes d'Ain Témouchent, de Chaabet El Ham et de Sidi Ben Adda.

Vu les conséquences de cette décharge, les autorités locales ont procédé à la création d'un centre d'enfouissement technique au niveau de Sidi Ben Adda, mise en service en 2011, prend en charge les déchets ménagers des collectivités locales d'Ain Témouchent, Sidi Ben Adda, Chaâbet El L'ham, El Malah, Terga et Ouled Kihel, localisé à 4 km Nord-ouest de la ville d'Ain Témouchent, les coordonnées géographiques sont : latitude 35°18'19'' Nord et longitude 1°10'53'' Ouest (carte 33), limité au Nord par des terres agricoles une exploitation agricole collective (EAC), au Sud par l'oued Sennane, à l'Est par des terres agricoles (EAC) et à l'Ouest par la route de Terga, dont l'état foncier du site est une exploitation agricole collective (EAC).

Carte 33. Situation géographique du CET et l'ancienne décharge d'Ain Témouchent en 2016



Source : traitement personnel

B. Wilaya d'Oran : 26 décharges présentent des impacts sur les ressources en eaux, les terrains agricoles, l'esthétique du paysage et la santé humaine, nécessitent une réhabilitation et une fermeture

Concernant la wilaya d'Oran, elle comporte 17 décharges publiques contrôlées et 9 décharges sauvages, ainsi que deux centres d'enfouissement techniques d'Hassi Bounif et d'El Ançor (tableau 13).

Tableau 13. Caractéristiques des décharges publiques et sauvages dans la région d'Oran en 2013

Communes	Localisation de la décharge	Surfaces en ha	Volume de déchets m ³	Impacts	Recommandations de la direction de l'environnement
Gdyel	Ben M'louk Lac Telamine	6	120 000	Présence d'une nappe phréatique peu profonde qui est en relation directe avec les déchets quant le niveau piézométrique remonte	La fermeture de cette décharge est d'une urgence et le traitement du site
Hassi Mefsoukh	Hai Bouamama le long de la voie ferrée	1	10 000	Nuisances olfactives par occasion sur hai Bouamama	La fermeture est obligatoire vu le danger qu'elle constitue pour les utilisateurs de l'autoroute
Ben Freha	Hassiane El Toulal	4	30 000	Nuisances olfactive sur l'agglomération de Hassiane El Toulal	Ce site pourrait convenir à une décharge pour inertes, en créant un accès à partir CW 41 pour éviter la traversée de l'agglomération de Hassian El Toulal
Sidi Ben Yebka	Dj. Chemar Gourine	2	60 000	Dégrade l'esthétique du paysage	Ce site est devenu un CET intercommunal
Bethioua	Domaine Mohamed Ben Ras	1	20 000	Constitue un danger pour l'utilisateur de l'autoroute d'Oran par le dégagement de la fumée	Ce site pourrait convenir à une décharge pour les inertes des communes situées aux alentours
Ain El Bia	Domaine des trois martyrs	1.5	20 000	Nuisances affectives occasionnelles sur l'autoroute et agglomération El Ayaida	Site à réhabilité pour les matériaux inertes
Mersa El Hadjadj	Domaine Sidi Aboud	2	50 000	Terre agricole en voie de dégradation	Ce site devra être éradiqué et réhabilité
Boufatis	Plateau des plâtriers à 500 m de Boufatis sur la route de Sig-Oran	2	4 000	Dégradation du paysage	Ce site devra être éradiqué et réhabilité
Ain Turk	Cap-Falcan	3	60 000	/	Site à remettre en état par recouvrement
Ain El Kerma	Dj. Houissy	2	2 000	/	Site à éradiquée et à réhabiliter
Misserghin	1.2 km au sud du	1	20 000	Présence d'une nappe	Site à éradiquée et

	CW 33 à la droite de Misserghin			alluvionnaire à moins de 10 m de profondeur	réhabilité pour l'intégrer à l'écosystème de Sebkha
Boutelilis	1 km au Sud de Boutlelis à moins de 200 m au bord de la sebkha	1.5	30 000	Présence d'une nappe alluvionnaire de 10 m de profondeur	Décharge à éradiquer et réhabilité le site pour l'intégrer au paysage de l'écosystème de Sebkha
Oued Tlelet	Sur RN 13 à 4.4 km de la ville	2	50 000	Présence d'une nappe phréatique à moins de 10 m de profondeur	La décharge à éradiquée et le site à réhabilité
Tafraoui	3 km au sud de l'agglomération chef lieu dans oued Beilem	2	8 000	Présence d'une nappe phréatique à moins de 10 m de profondeur	L'éradication et le nettoyage du site est d'une urgence à prendre en charge
Mersa El Kebir	03 km d'Ain Zouhour	2	30 000	Pollution des eaux superficielles	Site à réhabilité en espace de boisement
El Ançor	01 km à la sortie Ouest de la ville	4	8 000	Présence d'une nappe phréatique à moins de 10 m de profondeur	Fermeture de cette décharge et le site à réhabilité
El Kerma	1.7 km de l'agglomération d'El Kerma	85	1 200 T/j	Présence d'une nappe alluvionnaire de 10 m de profondeur	Aménagement de la décharge : construction d'une clôture. La réhabilité en espace vert

Source : direction de l'environnement d'Oran, 2013

Selon la direction de l'environnement, la majorité des décharges présentent un impact considérable sur les ressources en eaux souterraines et superficielles ainsi qu'une forte dégradation des terrains agricoles, l'esthétique du paysage et un grand impact sur la santé humaine. Les recommandations de la direction de l'environnement exigeant que les décharges nécessitent une réhabilitation, et même une fermeture immédiate. La décharge publique d'El Kerma et l'une des décharges qui représente actuellement une source majeure dégradant l'environnement, malgré l'après-fermeture officielle.

La wilaya d'Oran comporte un centre d'enfouissement technique d'Hassi Bounif, d'une superficie de 85 ha, sa mise en exploitation est le 2 mai 2012, reçoit les déchets de 13 communes de la wilaya, qui sont : Oran , Es Senia, El Kerma, Sidi Chami, Bir El Djir, Hassi Bounif, Hassi Ben Okba, Boufatis, Benfreha, Gdyel, El Braya, Hassi Mefsoukh et Oued Tlelat, présente une capacité totale de 12.1 million de m³ de déchets.

Un autre centre d'enfouissement technique d'El Ançor (photo1), qui a été inauguré par le Wali d'Oran le 02 mars 2011, sa mise en exploitation est le 08 mai 2011, le site d'El Ançor a pour mission la gestion de l'ensemble des activités d'un centre d'enfouissement technique de classe II pour des déchets ménagers. Un CET de classe II quand on y reçoit des déchets domestiques ou industriels banals et de classe I, quand on y reçoit des déchets industriels dangereux. Ce CET est destiné à traiter les déchets ménagers et assimilés générés par les sept communes du groupement d'Oran Ouest, Mersa El Kebir, Ain El Turck, Bousfer, El Ançor, Boutlelis, Messreghine et Ain El Kerma. Il reçoit une moyenne de 130 tonnes de déchets ménagers par jour, dont 69.61 % sont de nature organique, sa capacité est de 1 million m³ et sa superficie est de 20.35 ha.

Photo 1. Centre d'enfouissement techniques (CET) d'El Ançor
(Cliché: Bentekhici Nadjla, février 2016)



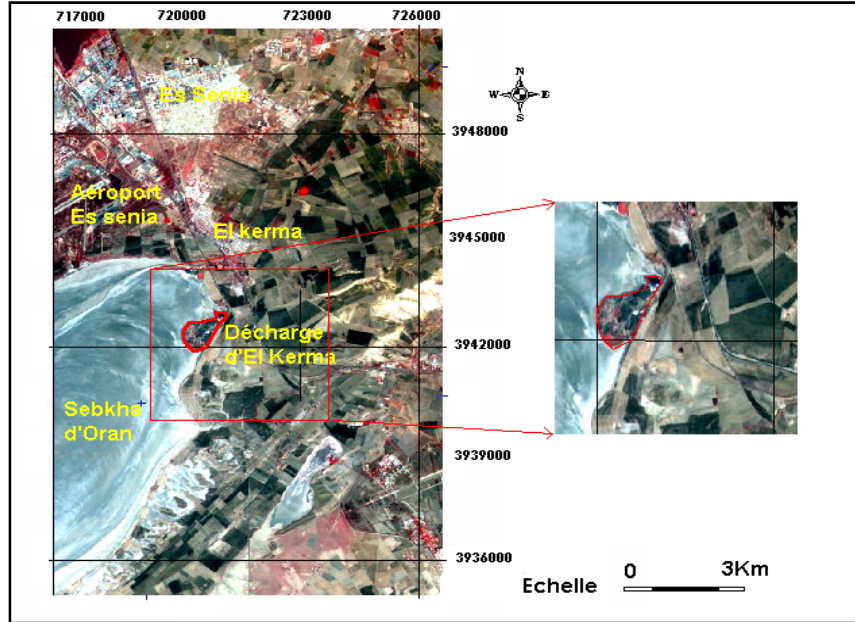
Nous constatons que malgré l'existence des CET, les communes concernées par ces derniers ont été autorisées toujours à réutiliser les anciennes décharges, comme la décharge d'El Kerma et d'Ain Turk.

Après la fermeture de l'ancienne décharge située entre le petit lac et la daya Morsley en 1984, la décharge d'El Kerma a été ouverte par un arrêté de wilaya n°311/DRAL /SAL /MG du 11 février 1987 (EPIC, 2007). La décharge d'El Kerma est située sur la bordure orientale de la grande sebkha, au Sud-ouest de l'agglomération d'El Kerma, à environ 1.7 km, localisée à 12 km de la ville d'Oran, à 15 km de Bir El Djir, à 8 km de Sidi Chami et à 4 km d'Es Senia. Limitée à l'Ouest par la grande sebkha d'Oran, à l'Est par les terrains agricoles, au Nord le village d'El Kerma et au Sud par l'amant du Hamoul et la plaine de la M'leta, sa superficie est de 85 ha, dont les coordonnées géographiques (projection UTM zone 30, CLARK 1880) sont (figure 20):

X= 720480 m, Y = 3942410 m.

Suite à l'ouverture du centre d'enfouissement technique d'Hassi Bounif, la décharge d'El Kerma a été fermée par un arrêté de la wilaya.

Figure 20. Situation géographique de la décharge publique d'El Kerma



Source : Image satellitale Aster, 2002

Figure 21. Vue satellitale de la décharge publique d'El Kerma (Google Earth 2016)



Photo 2. La décharge publique d'El Kerma (clichée : Bentekhici Nadjla, janvier 2010)



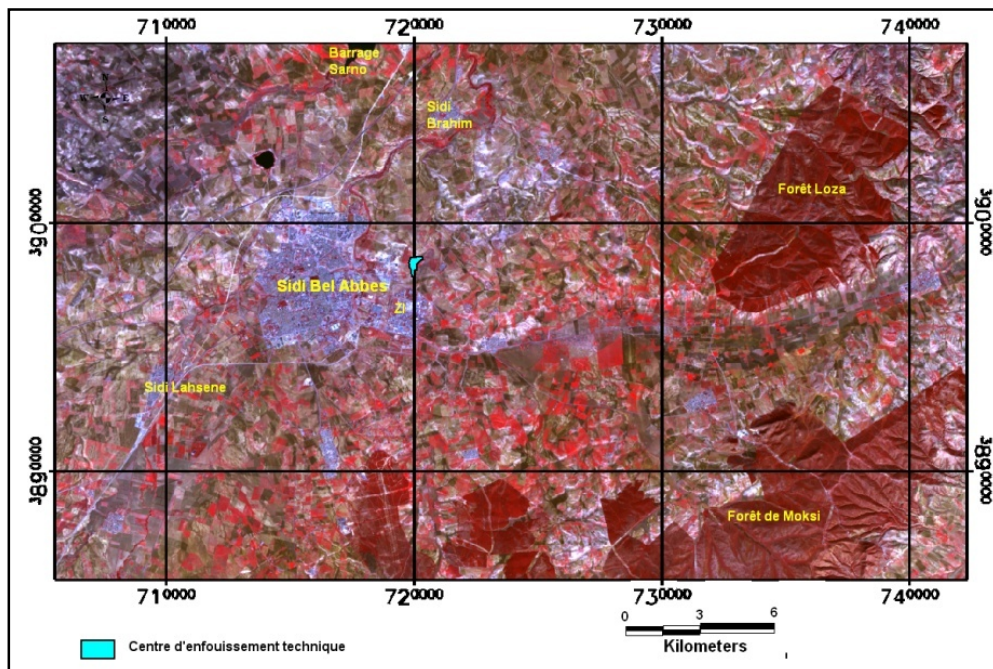
C. Wilaya de Sidi Bel Abbas : amélioration de la gestion des déchets par la réalisation d'un centre d'enfouissement technique (CET)

Au niveau de la wilaya de Sidi Bel Abbas et dans le cadre de l'amélioration de la gestion des déchets, les services locaux de l'environnement ont procédé à la réalisation d'un centre d'enfouissement technique (CET) de Sidi Bel Abbas, qui est en état d'exploitation. Ce centre est localisé au Nord-est de la ville et au Nord de la zone industrielle, à côté du chemin de wilaya n° 80 qui mène à Zarouala, présente une capacité de stockage estimée à 274 000 m³ et une superficie de 24 ha, sa mise en exploitation le 20 mars 2011. Le centre reçoit quotidiennement l'équivalent de 437 tonnes de déchets ménagers alors que sa capacité de traitement n'accède pas les 200 T/j, des déchets proviennent des communes de Sidi Bel Abbas et de Sidi Lahsene, d'un volume composé de déchets hospitaliers, agricoles, industriels et ménagers, selon la direction de l'environnement de la wilaya de Sidi Bel Abbas en 2016. Les coordonnées géographiques du CET, projection UTM zone 30 WGS 84, sont (carte 34) :

$$X = 719900m \quad Y = 3898300m$$

Les déchets réceptionnés sont gérés de manière traditionnelle sous forme de dépôts sur des terrains vagues (50 %), enfouissement (4 %) et incinération à l'air libre (46 %). Bien que la nature de ces déchets soit dans une large proportion (80 à 95 %) de nature organique (direction de l'environnement de Sidi Bel Abbas 2016). La manière d'exploitation du centre présente des répercussions négatives sur la population de Sidi Bel Abbas, d'ordre psychosocial, médical, et conséquences environnementales (pollution de l'atmosphère, des sols et de l'eau), voire même économique (perte des 2/3 des déchets qui sont entièrement recyclables).

Carte 34. Localisation du centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbas



Source : Image satellite Landsat, 2014

Figure 22. Vu satellitale du CET de Sidi Bel Abbas (Google Earth 2016)



Photo 3. CET de Sidi Bel Abbas
(Clichée : direction de l'environnement de Sidi Bel Abbas, 2013)



D. Wilaya de Tlemcen : 19 décharges et 24 dépotoirs sauvages couvrant une superficie de 85.8 ha menacent l'environnement de la wilaya

À Tlemcen, la gestion des déchets ménagers est perçue comme un problème d'environnement, elle constitue aussi une question de développement durable et d'aménagement du territoire. Dans cette wilaya, on recense 19 décharges et 24 dépotoirs sauvages (tableau 14) couvrant une superficie de 85.8 ha (direction de l'environnement de Tlemcen, 2015).

Tableau 14. Décharges et dépotoirs sauvages dans la wilaya de Tlemcen

Nom des Communes	Nom de la décharge	Superficie décharge (ha)
Ghazaouet	Ghazaouet	3
Ghazaouet	Souahlia	2
Ghazaouet	Dar Yaghmoracen	0.5
Ghazaouet	Tient	0.5
El Gor	El Gor	2
El Aricha	El Aricha	2
Remchi	Remchi (Zone Nord - Est)	2
Tlemcen	CET Saf Saf (Tlemcen)	25
Ain youcef	Ain youcef	2
Sbaa Chioukh	Sbaa Chioukh	2.5
Beni Ouarssous	Bordj Arima	1.5
El Fehoul	El Fehoul	2
Sabra	Sabra	1
Maghnia	Maghnia	4
H.Boughrara	H.Boughrara	1.5
Sebdou	Sebdou	5
Remchi	Sidi Ahmed	Manque d'information
Remchi	Sidi Bounouar	0.5
Remchi	Gouassir	0.3
Remchi	Bourouaha	0.3
Remchi	Fatmi Larbi	0.4
Remchi	Zaghou	1
Remchi	Dahmane	1
Remchi	Ouled Hadj Messoud	1
Ain Youcef	Ain Waheb	1
Ain Youcef	Ahmed Betayeb	Manque d'information
Sbaa Chioukh	Boulefred	1
Sbaa Chioukh	Sidi Ali	0.3
Sbaa Chioukh	Sidi Cherif	0.4
Sbaa Chioukh	Ain Amouche	0.2
Sbaa Chioukh	Abdejellil	0.2
Sbaa Chioukh	Sidi Miloud	0.2
Beni Ouarssous	Sidi Bendiaf	1.5
Beni Ouarssous	Boukiou	1.5
Beni Ouarssous	Tizaghene	1
El Fhoul	Benchaib	1.5
El Fhoul	Yazero	1
El Fhoul	Mekamet	1
Sabra	Koudia	0.5
Mansourah	Terny	2
Mansourah	S/A/Rahmane	10
Mansourah	Ounadjela	1
Bouhlou	Bouhlou	0.5

Source : direction de l'environnement de Tlemcen, 2015

L'élimination des déchets pose un sérieux problème à Tlemcen, avec le volume important estimé à environ 664.39 tonnes/jour évacué vers les décharges sauvages, les autorités locales de la gestion des déchets ménagers ont été obligées de faire face à cette situation. Ces autorités, on met certaines améliorations de la gestion par la mise en œuvre du programme national ambitieux pour la gestion intégrée des déchets municipaux (PROGDEM). Ce PROGDEM vise principalement à rendre les agglomérations de Tlemcen plus propres et à améliorer le cadre de vie du citoyen. À l'heure actuelle, 19 communes, abritant plus de 67% de la population de la wilaya, ont bénéficié de projets relatifs à l'amélioration de la gestion des déchets solides ménagers. Ces communes ont été constituées préalablement en groupements urbains autour des principaux chefs-lieux de la wilaya, comme Tlemcen, Maghnia, Ghazaouet, Remchi, et Sebdou. Pour l'application du PROGDEM, la wilaya de Tlemcen a bénéficié de trois centres d'enfouissements techniques (CET), afin d'éliminer les déchets des communes Tlemcen, Maghnia et Remchi.

Le centre d'enfouissement technique (CET) de Tlemcen reçoit les déchets des communes Chetouane, Mansourah, Amieur, Aïn Fezza, Hennaya, Remchi et Tlemcen, totalisant 24 agglomérations, qui dépassent les 400 tonnes/jour, implanté à Saf Saf. Ce centre mis en exploitation en 2010, occupe une superficie de 25 ha, situé à Dj. El Hadid dans la commune de Chetouane, à 7 km de la ville de Tlemcen. C'est un centre d'enfouissement technique de classe II, d'une durée de vie dépasse les vingt années, à l'horizon 2022, prend en charge environ 1 475 000 tonnes/an de déchets.

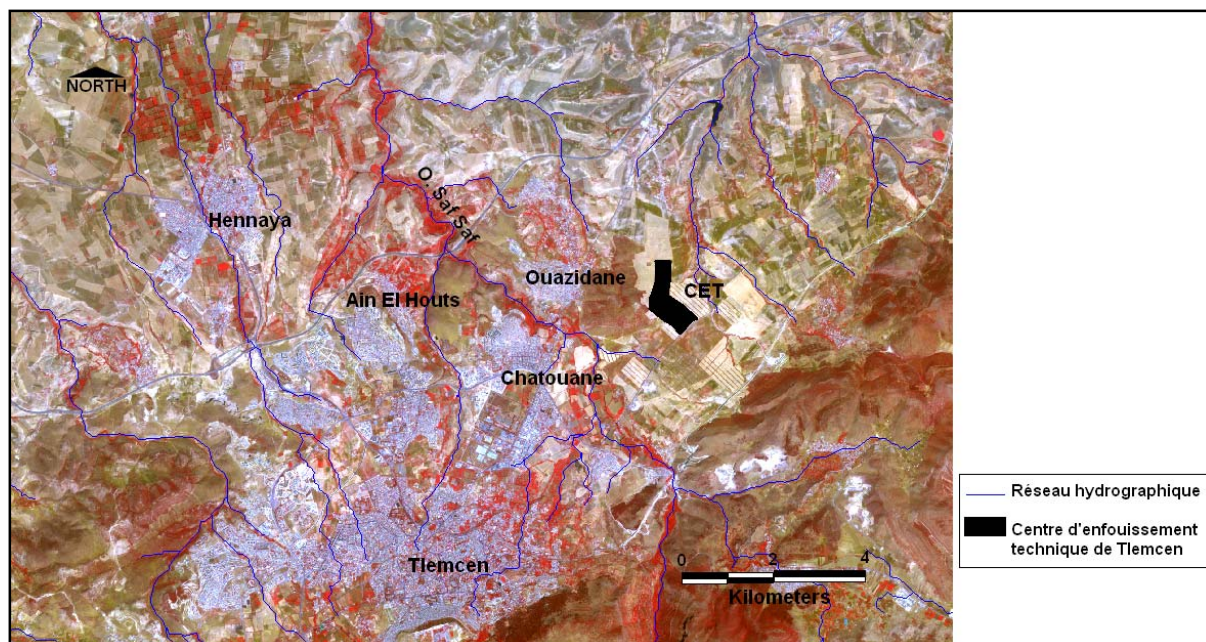
Le CET réalisé à Saf Saf a permet de résoudre les problèmes de la gestion des déchets à Tlemcen, mais par conséquent, il conduit à l'apparition de plusieurs nuisances telles que les odeurs nauséabondes à longueur de journée, les fumées asphyxiantes, les déchets emportés par le vent, ce qui influe sur le cadre de vie des habitants. Ce site a été proposé par le bureau d'études technique de Tlemcen (BET) et retenu par le comité technique de la wilaya pour l'étudier, et ce dans le cadre de la fermeture de la décharge non contrôlée de Saf Saf, située au Sud du CET, d'une distance de 7 km de Tlemcen. Cette décharge a été fermée à cause sa situation alarmante, n'était pas aménagée et n'a soumis à aucun contrôle, mais elle est autorisée, reçoit les déchets solides produits par les communes Tlemcen, Chatouane et Mansourah. La décharge a été ouverte en 1983, caractérisée par une évacuation aléatoire des déchets. La situation alarmante de cette décharge a conduit à la réalisation du centre d'enfouissement technique, dont leurs coordonnées géographiques, selon la projection UTM zone 30, sont :

X = 658780 m, Y = 3 866 750 m.

Photos 4. Plusieurs Photos de la décharge sauvage de Saf Saf avant la fermeture en 2008
(Clichée : CET de Tlemcen)



Figure 23. Localisation du CET de Tlemcen



Source : image satellitale du capteur sentinel, 2016

À Maghnia, le problème des décharges sauvages devrait être solutionné avec le projet de réalisation d'un centre technique, qui prendra en charge les déchets solides urbains de la zone de Hammam Boughrara et Maghnia. Le CET Maghnia-Hammam Boughrara a été choisi sur le lieu-dit « Tourba » d'une superficie de 37 ha, pour une capacité globale de 1 240 000 m³ et une quantité des déchets enfouis de 4 546 tonnes/an, le centre est en cours de réalisation. Un autre CET Ghazaouet-Nedroma en cours d'achèvement, choisi sur le lieu-dit « Onk El Djmel » au niveau de la commune de Souahlia, d'une capacité totale de 1 500 000 m³ et une quantité de déchets enfouis estimée à 29 930 tonnes/an.

Finalement, nous pouvons dire que la zone d'étude est exposée à un sérieux problème en matière d'élimination des déchets solides, due principalement à la mauvaise prise en charge et l'élimination des déchets urbains. Les décharges sauvages sont caractérisées par l'entreposage des déchets de toutes natures, génère des nuisances de plusieurs ordres et poses de graves problèmes d'hygiène et de salubrité. Malgré l'ouverture de sept centres d'enfouissement techniques dans les wilayas d'Ain Témouchent, d'Oran, de Sidi Bel Abbes et de Tlemcen, les anciennes décharges restent encours exploitables et n'ont subi aucune réhabilitation.

II. État des lieux en matière d'exploitation et de gestion des décharges et centres d'enfouissements techniques

« L'expérience algérienne en matière de traitements et d'élimination des déchets reste en fait très limitée, alors que le volume de déchets ne cesse d'augmenter, sous la double pression de la croissance économique et du développement des infrastructures » (MEZOUARI, 2011). À ce jour, la principale voie de traitement des déchets est la mise en décharge, mais, elle aboutit souvent à des décharges incontrôlées, dans la zone d'étude sur le nombre important des décharges retrouvées, on retrouve un nombre faible de décharges contrôlées et des CET par rapport aux décharges sauvages.

L'exploitation des CET est caractérisée par des difficultés en matière de traitement des lixiviats et des biogaz, à titre d'exemple les centres d'enfouissements techniques de Sidi Ben Adda de Tlemcen et de Sidi Bel Abbes, leurs exploitations ne remplissaient pas certaines conditions requises à un bon fonctionnement, ils présentaient également des malfaçons qui viennent d'être résorbées.

Citant le cas du CET de Sidi Ben Adda, au niveau de la wilaya d'Ain Témouchent, nécessite des mesures importantes comme :

- le raccordement électrique des CET;
- la réalisation d'une clôture végétale et des plantations ;
- l'amélioration des voies d'accès et leur alimentation en eau potable.

La direction de l'environnement de la wilaya d'Ain Témouchent a également prévu la réalisation de deux-ponts bascules pour le pesage des déchets ménagers et la création de deux décharges inertes qui permettront à l'exploitant de disposer des terres de couverture nécessaires aux opérations d'enfouissement. Le CET d'Ain Témouchent nécessite des équipements d'exploitation complémentaires, notamment les navettes, les tracteurs agricoles, le CET est caractérisé par

l'absence d'équipement d'exploitation, d'un centre de tri et d'un casier ou alvéole pour enfouir les déchets ménagers. Leur site présente un danger d'électricité par la présence des réseaux d'électricité à haute tension à 100 mètres du site, côté Nord-est. Nous remarquons aussi que malgré l'existence du CET, les sept communes concernées par ce dernier ont été autorisées à réutiliser les anciennes décharges.

Le CET de Sidi Ben Adda est composé d'un poste de garde installé à l'entrée du CET, à son niveau se fait le premier contrôle visuel des déchets, afin d'assurer qu'ils sont conformes aux normes d'acceptation signalées dans une plaque à l'entrée. D'un pont-bascule afin de prévenir l'évolution de quantités à enfouir, et par conséquent l'âge du CET. D'un casier d'enfouissement où le diversement des déchets pour leur enfouissement se fait. Dès le camion se décharge à l'entrée du casier, un deuxième contrôle visuel se fait, ensuite les agents commencent le tri manuel pour faire séparer les matériaux recyclables, et enfin d'un centre de tri pour trier les déchets multi matériaux, issus d'une collecte brute, ainsi que les déchets banals issus des activités commerciales et industriels. Le centre contribue à atteindre les objectifs de recyclage, à diminuer l'emploi de matière premières vierges, à détourner une fraction de flux de déchets ménagers de la mise en décharge.

Le stockage des déchets revient à concentrer dans un volume réduit un ensemble varié de matériaux évolutifs. Dès la phase de dépôt, les déchets sont soumis à des processus de dégradation liés à des réactions bio-physico-chimiques complexes. Une partie des produits de la dégradation se retrouve en phase gazeuse, c'est le **biogaz**, l'autre est transportée par les eaux de pluie qui s'infiltrent dans les déchets, c'est les **lixiviats**. Le traitement cette dernière est quasiment inexistant, les bassins sous-dimensionnés devant servir à la décantation mécanique des eaux qui percolent au travers du massif des déchets dans les casiers, mais ces bassins ne remplissent plus leur mission et les lixiviats sont rejetés directement dans l'environnement immédiat (oued Sennane).

Photo 5. Le casier d'enfouissement de CET de Sidi Ben Adda
(Clichée : Bentekhici Nadjla, aout 2017)



Figure 24. Les compositions du CET de Sidi Ben Adda



Source: image Google Earth, 2016

Photo 6. Centre de tri du CET de Sidi Ben Adda
(Clichée : Bentekhici Nadjla, Aout 2017)



Un autre exemple, qui pose plusieurs problèmes, doit être cité, c'est la décharge publique d'El Kerma, dans la wilaya d'Oran, cette ancienne décharge, malgré sa fermeture, connut toujours des problèmes d'exploitation et de gestion, elle est toujours exploitable d'une façon anarchique, selon nos sorties sur le site, nous avons trouvé des tonnes des produits cosmétiques périmés rejetés dans cette décharge, proviens du port sec d'Oran tout à côté de la décharge.

Le port sec d'Oran est une nouvelle enceinte économique qui a été créée par l'entreprise Maghrébine de Transport et Auxiliaire (MTA), une filiale de Mediterranean Shipping Company (MSC) dans la zone industrielle d'Es Senia en 2010, sur une superficie de 5 ha, d'une capacité d'accueil de 2 800 conteneurs, afin de réduire la tension sur l'enceinte portuaire. Mais nous avons remarqué que les produits refusés d'admission au port sec d'Es Senia sont rejetés en majorité au niveau de la décharge d'El Kerma.

L'existence à côté de cette décharge, le grand marché de gros d'El Kerma des fruits et des légumes conduit au rejet de dizaines de tonnes de débris, dont 80% sont composés de légumes et fruits, ils se sont jetés quotidiennement dans cette décharge sans autorisation. Ce grand marché est situé sur la RN4, sur un périmètre de 30 ha, ouvert en 1 juin 2012, le coût global du projet de ce marché est estimé à 1.2 milliard de dinars.

Figure 25. Localisation du port sec d'Es Senia et le marché du gros des légumes et fruits par rapport à la décharge d'El Kerma



Source : image Google Earth, 2017

La localisation de la zone industrielle d'Es Senia tous près de la décharge publique d'El Kerma conduit toujours à un rejet des déchets industriels dans cette décharge d'une façon illicite. Cette zone industrielle a été créée par arrêté n°158 du ministre des TP du 23/01/1976, sur une superficie de 288 ha, le propriétaire du terrain c'est l'URBOR d'ORAN, sa mise en service été en 1977, la zone industrielle comporte 3 entreprises dans la filière de travail de surface, deux entreprises d'activité de papeterie, 9 industries dans la filière d'agro-alimentaire, une en pharmaceutique, quatre en filière mécanique et métallique, 25 entreprises en production de plastique, 5 dans la production de textiles, 9 qui ont comme activité tannerie et enfin, une dans la production de verre (direction de l'environnement d'Oran, 2016). Certaines industries rejettent encore leurs déchets solides dans la décharge d'El Kerma.

Figure 26. Localisation de la zone industrielle d'Es Senia par rapport à la décharge d'El Kerma



Source : image Google Earth, 2017

L'exploitation anarchique de l'ancienne décharge d'El Kerma nécessite en urgence une réhabilitation, un projet d'aménagement du site de cette ancienne décharge a été proposé en 2013, selon la direction de l'environnement, il est en état d'étude par le ministère de l'environnement, ce projet à double vocation « aménagement urbain » et « écotourisme », qui figurait en bonne place sur la nomenclature des opérations structurantes de la métropole d'Oran. Ce projet est doté d'une enveloppe financière de 2 milliards de DA du fonds national de l'environnement. L'étude confectionnée par un bureau d'étude tunisien (BET) avait été approuvée au niveau du ministère de l'environnement, en attendant une décision officielle.

Le projet de réhabilitation du site avait été présenté, en milieu de l'année 2013, au siège de la wilaya d'Oran, par ce bureau d'études tunisien. Ce projet vise à améliorer le cadre de vie des riverains et la valorisation de ce site à court et moyen termes, à dépolluer le site pour éliminer toutes ses nuisances, le site sera réintégré dans le paysage immédiat, afin de lui donner une vocation éco-touristique et une valeur ajoutée en terme d'aménagement. Mais à ce jour, les travaux n'ont pas encore été lancés. Avec le manque de réhabilitation et l'aménagement de cette décharge, elle constitue toujours une menace pour l'environnement, notamment en raison de la pollution des eaux de la sebkha d'Oran et les odeurs qui gênent les populations de l'agglomération d'El Kerma.

Après la fermeture officielle de cette décharge, elle continue de susciter de vives inquiétudes parmi la population locale. Des individus continuent de déverser illégalement leurs déchets, alors

que d'autres, en quête d'objets récupérables, mettent le feu régulièrement au niveau du site. À ce fait, la nécessité de lancer ce projet de l'aménagement du site est prioritaire.

Dans le but de protéger l'environnement et préserver la santé des citoyens de l'agglomération d'El Kerma, une association a été créée nommée « El Fadjr », cette association qui ressemble les citoyens de cette agglomération, ils ont établie différents tâches pour manifester contre la pollution générée de l'ancienne décharge, les membres de l'association écologique « El Fadjr d'El Kerma » se sont réunis en mois de juin 2015 avec le président de l'assemblée populaire communale d'El Kerma. La rencontre était une occasion pour traiter et aborder plusieurs points liés au cadre de vie des habitants, relatifs à la détérioration actuelle de l'environnement local, le maire d'El Kerma et les représentants de l'association ont décidé de prendre plusieurs mesures concrètes à l'issue de cette rencontre. Dans ce cadre, un arrêté communal a été pris pour interdire tout dépôt de remblais et les déchets de nature organique au niveau de l'ancienne décharge, afin d'éviter les mauvaises odeurs dégagées. Ces odeurs et fumées irritent le plus les riverains et qui leur causent de sérieux problèmes de santé, comme l'attestent les chiffres effarants divulgués par des sources sanitaires et qui concluent que les insuffisances respiratoires touchent la majorité des populations de l'agglomération. Les odeurs nauséabondes qui se dégagent de la décharge continuent d'empoisonner la vie des habitants de cette localité. Cette association a interpellé les autorités pour trouver une solution à ce problème et mettre fin au problème de la décharge.

Des dizaines d'habitants d'El Kerma ont manifesté le mois d'avril 2012 devant le siège de l'APC, après la fermeture officielle de cette décharge, afin d'exiger de leurs élus d'entreprendre des démarches pour sa fermeture finale, et comptent maintenir la pression sur les responsables locaux auxquels revient la mission d'éradiquer cette décharge. Par ailleurs, une délégation composée de représentants des habitants a été reçue par la direction de l'environnement pour demander des explications sur le retard de la fermeture effective de la décharge, en mettant en avant l'état de santé de plusieurs habitants atteints de maladies respiratoires et autres dermiques, en raison des effets néfastes de ce site. Les membres de la délégation ont également abordé avec les responsables de la direction de l'Environnement, la mise en œuvre du projet de la réhabilitation de la décharge. Selon les éléments de cette association, la fermeture de la décharge n'a pas été respectée, chaque jour, des dizaines de camions viennent décharger des tonnes de déchets sur le site avant de laisser place à ceux qui viennent fouiner dans les ordures à la recherche de ce qui peut être récupérable.

En plus de l'ancienne décharge d'El Kerma, au niveau de la zone d'étude, nous pouvons citer un autre cas d'un centre d'enfouissement technique réalisé ces dernières années et qui présente des nuisances, c'est le cas du CET de Tlemcen, leur exploitation est caractérisée par le stockage des déchets réceptionnés dans un « casier » étanche, ce casier est fait d'une membrane étanche, tout posé sur un sol d'argile (terre peu perméable), les eaux qui traversent le casier, les «lixiviats», sont récupérées et orientées vers les bassins de lagunage.

Le CET est équipé par une clôture, un bloc administratif et parking, un poste de garde, poste de contrôle, un pont-basculé, un hangar de tri, ou fait le tri des déchets afin d'isoler les matériaux

recyclables de la matière organique et de minimiser ainsi la quantité à enfouir, ce hangar n'est pas opérationnel, un casier en exploitation d'une capacité de 400 000 m³ occupants 3 ha, il est réalisé avec des terrassements en terrain meuble et dur et des remblais de digues, le casier est desservi par un réseau de drains pour l'évacuation des eaux de percolation des déchets, qui est raccordée à une station de lagunage et enfin un bassin de récupération de lixiviat qui comporte cette station composée de trois bassins, d'un volume total de 3 120 m³ avec une profondeur de 1.2 m et une superficie de 2 600 m² (direction de l'environnement de Tlemcen, 2016). C'est un traitement par lagunage artificiel dont la qualité des eaux rejetées reste polluante, les eaux du lixiviat sont évacuées vers un effluent d'oued Sikkak. La station emmagasine les lixiviats venant du casier par le biais de deux drains.

photos 7 (A,B). Poste de contrôle et pont-bascule du CET de Tlemcen
(Clichée : CET de Tlemcen, 2016)



A. Poste de contrôle



B. Pont bascul

Photo 8. Réseau de drains des lixiviats
(Clichée: CET de Tlemcen, 2016)



Photo 9. Casier de CET de Tlemcen
(Clichée: CET de Tlemcen, 2016)



Les ordures ménagères déposées en décharges et en CET se composent de matières putrescibles (déchets organiques) rapidement fermentescibles et des matières cellulosiques (papiers, bois) plus lentement fermentescibles. En anaérobie les matières organiques fermentent et dégagent des gaz comme le méthane (CH₄), le gaz carbonique (CO₂), et d'autres gaz sont également présents avec des proportions plus faibles : l'oxygène, l'azote, la vapeur d'eau et à l'état de trace : mercaptan RSH, les composés organiques volatils (CHIRIAC, 2004). La composition du biogaz évolue au cours des différentes phases de biodégradation qui se déroulent dans la décharge (REINHART et TOWNSEND, 1998) et l'analyse de ce dernier permettra de quantifier l'air extérieur infiltré qui contribuera à la dilution du biogaz (GACHET, 2005).

En suivant les lois et les normes d'exploitation des CET et des décharges, les lixiviats et le biogaz générés par la dégradation des déchets doivent être surveillés et contrôlés, dont l'analyse des biogaz et des lixiviats sont à la charge de l'exploitant du CET, mais malheureusement, cette surveillance est totalement absente au niveau du CET de Tlemcen. Les acteurs qui répartissent les tâches de l'exploitation et la gestion du CET représentent le secteur public par les autorités locales comme la commune (APC) et les établissements publics industriels et commerciaux (EPIC).

Le suivi des paramètres quantitatifs et qualitatifs relatifs aux flux entrants (déchets, eaux de pluie, etc.) et sortants (lixiviat, biogaz, etc.) est obligatoire dans un CET qui permet d'avoir suffisamment d'informations pour une gestion efficace et durable du site. La surveillance doit s'effectuer sur les zones de stockage des déchets (alvéoles d'enfouissement), mais aussi sur les zones de stockage temporaire des déchets avant enfouissement. En plus, cette surveillance doit cibler d'autres lieux sensibles de l'ouvrage (stockage temporaire et traitement du lixiviat, dispositifs de traitement ou de valorisation du biogaz).

Les règles générales d'exploitation sont :

- il ne peut être exploité qu'un casier ou un alvéole par catégorie de déchet ;
- les déchets sont déposés en couches successives et compactés sur site ;

- les déchets sont recouverts régulièrement de matériaux inertes pour limiter les infiltrations et empêcher les nuisances (envols de déchets, émanations de gaz, etc.) ;
- Fermeture des alvéoles.

Dès qu'un casier est rempli, une couverture finale de protection est mise sur les déchets. Ceci permet de réduire les volumes du lixiviat, de faciliter la gestion post exploitation, de mieux contrôler la migration du biogaz, mais surtout d'isoler le massif de déchets de l'environnement extérieur et de limiter ainsi les entrées d'eau.

Finalement, nous pouvons dire que la gestion et l'exploitation actuelle d'élimination des déchets au niveau de la décharge d'El Kerma, le CET d'Ain Témouchent, de Sidi Bel Abbes et de Tlemcen reste informelle, car les différents secteurs de traitement ne disposent d'aucune stratégie de traitement, de revalorisation et / ou d'élimination des déchets. L'exploitation des CET connaît de nombreux problèmes de contrôle, de matériel et de gestion des composantes rejetés dans la nature. L'enfouissement technique reste un mode important d'élimination des déchets, il doit permettre, non seulement, une gestion efficace des déchets, mais aussi le traitement après drainage et récupération des deux effluents que sont le biogaz et les lixiviats (TREBOUET et al., 1998). Les cas des CET exposés montrent le traitement des composantes rejetées est presque absent. Ajoutant à ce manque, le point le plus préoccupant est celui du choix des sites, les sites des CET sont des décharges sauvages non aménagées, installées sans aucune étude d'impact et représentent d'énormes risques sur l'environnement, sur les ressources naturelles et en particulier sur la santé de l'homme.

III. Évolution qualitative et quantitative des déchets : une production en relation avec les modes de consommation, la nature des villes et l'évolution démographique

Le développement urbain rapide dans la zone est devenu parmi les sérieux défis environnementaux, dans la mesure où il est synonyme de production accrue de déchets urbains (DICKERSON, 1999), en quantité et en composition, en raison de la croissance démographique et la hausse du niveau de vie. Parallèlement à cette croissance, se pose la question de la gestion des déchets qui ne représente pas une priorité pour les gestionnaires, par rapport à d'autres problèmes aussi importants, comme l'éducation, l'approvisionnement en eau et la santé.

Les déchets solides urbains résultent de la consommation des ménages, des établissements publics, locaux commerciaux et des entreprises. Les quantités de déchets produites varient d'une ville à une autre, en fonction de plusieurs facteurs comme la croissance démographique et les modes de consommation. Il est à souligner que les villes du littoral Oranais, plus dense en population, génèrent des quantités de déchets nettement supérieures à celles des hauts plateaux. En effet, les facteurs géographiques, climatiques, économiques, raciaux, culturels sociaux et démographiques sont déterminants dans la quantité et la composition des déchets générés par une communauté donnée.

1. Aspect quantitatif : forte population et importante production de déchets ménagers

Selon la loi Algérienne 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, les déchets incluent « *tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer* ». Ces déchets peuvent être d'origines diverses : industriels, artisanaux, domestiques. En effet, toutes les activités humaines produisent des déchets, même celles liées à la nature avec les déchets verts. Les déchets ne se limitent pas seulement aux déchets ménagers et assimilés, en effet, la construction et du bâtiment, les activités économiques et industrielles produisent la majorité du tonnage des déchets, de plus, les déchets liés aux activités de soins sont particulièrement suivis pour leur dangerosité.

Les déchets sont générés de façon continue, en quantité croissante avec le développement du mode de vie des sociétés (AINA, 2006 ; ALOUEIMINE, 2006). Ils sont hétérogènes et leur composition quantitative varie en fonction de l'espace (d'une société à une autre, d'un pays à un autre, d'une ville à une autre, d'un ménage à un autre, etc.) et du temps (jours de la semaine, saison, année, etc.) (BUENROSTRO et BOCCO, 2003). Les facteurs géographiques, climatiques, économiques et démographiques sont déterminants dans la quantification de déchets générés par une communauté (BUENROSTRO et BOCCO, 2003 ; DONG et al., 2003 ; WARITH et al., 2005). La connaissance de la quantité de déchets produits dans un milieu est essentielle pour la planification d'un système de gestion, afin de prévoir à mieux la dimension de la collecte et des installations de traitement et le centre de stockage de déchets (CHARNAY, 2005 ; AINA, 2006).

Le climat influe sur le mode d'alimentation de la population et, par conséquent, influe sur la production de déchets dans l'environnement. En Algérie, la production moyenne des déchets ménagers est de 0.7 kg/hab/jour en saison sec, alors qu'elle est de 1 kg/hab/jour en saison des pluies (CHARNAY, 2005; AINA, 2006). L'Algérie, à l'instar des autres pays du monde, la croissance démographique, l'urbanisation de plus en plus forte et les transformations socio-économiques que connaît le pays ces dernières années, sont accompagnées par des changements notables au niveau des quantités des déchets produits. La quantité de déchets ménagers et assimilés a connu une augmentation substantielle. Elle est estimée à environ 10.3 million de tonnes en 2013. Cette production dépassera 12 million de tonnes en 2020, et approchera les 17 million de tonnes en 2030, selon l'Agence Nationale des Déchets (Algérie).

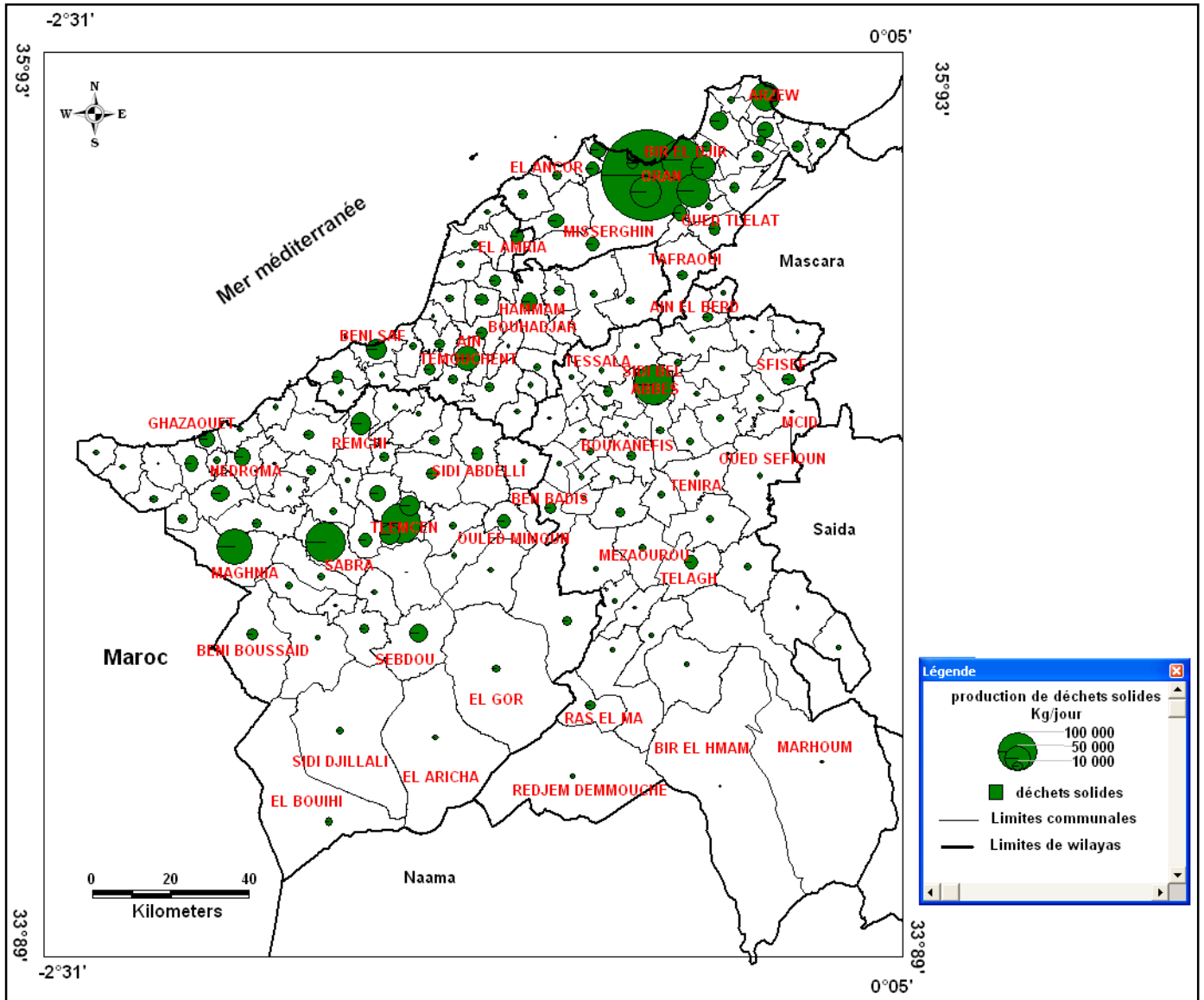
Devant la complexité de production de déchets et leurs gestions, l'heure est aujourd'hui à la gestion des déchets et à l'assainissement solide. Devant cet état, il est nécessaire d'analyser quantitativement les déchets solides produits. La production des déchets par habitant et par jour est très variable d'une ville à une autre et elle est en moyenne de 0.8 kg/hab/j dans les villes moyennes et de 1.2 dans les grandes villes (MATE, 2009). Nous avons basé sur les données de la population par communes en 2014, ainsi que sur le ratio de production de déchets du ministère de l'environnement (tableau 15), pour établir l'estimation de la quantité des déchets produits par jour dans la zone d'étude (carte 35).

Tableau 15. Taux de production de déchets en Algérie

Type de villes	Taux de génération de déchets kg/hab/j		
	1980	2002	2005
Villes moyennes	0.5	0.6	0.8
Grandes villes	0.76	0.9	1.2

Source : Rapport sur l'état de l'environnement en Algérie du MATE, 2009

Cartes 35. Production de déchets solides par communes en 2014



Les agglomérations de la zone d'étude comme Oran, Bir EL Djir, Arzew, Ain Témouchent, Sidi Bel Abbès, Tlemcen, Maghnia et Sebra, produits en 2014, un volume important de déchets dépasse 40000 kg/j. Cette production s'appelle à connaître un accroissement rapide, en raison de l'évolution du ratio de production individuelle et de l'essor démographique. Dans la wilaya d'Oran, la majorité des communes rejette de déchets dépassant les 20 000 kg/j.

La zone sub-steppique est caractérisée par une production moyennement faible de déchets, qui n'atteint pas les 10 000 kg/j, nous constatons qu'au niveau de la wilaya de Sidi Bel Abbes, seul le chef-lieu de la wilaya produit de quantité importante, qui soit 237 400 kg/j en 2014, par contre, les autres communes n'atteignent pas les 20 000 kg/j.

En 2014, la population dans la ville d'Oran a été estimée à 658 251 habitants avec un taux de production de déchets pour une grande ville de 1.2 kg/hab/j, alors que les déchets produits par jour sont environ 789 901 kg/j, c'est un volume important pose plusieurs problèmes de collecte, d'élimination et de mise en décharge. La commune de Bir El Djir, elle seule produit près de 323688 kg/j, sans parler des autres communes telles qu'Es Senia, Sidi Cham, etc. Ce volume de production voit une augmentation successive avec la croissance démographique.

Ain Témouchent rejette en moyenne 91 200 kg/j de déchets solides urbains, Tlemcen produit environ 188 000 kg/j. Tous ces déchets solides produits sont rejetés soit en centres d'enfouissement techniques, soit en décharges contrôlées, soit en décharges sauvages, mettant les ressources naturelles en danger de pollution.

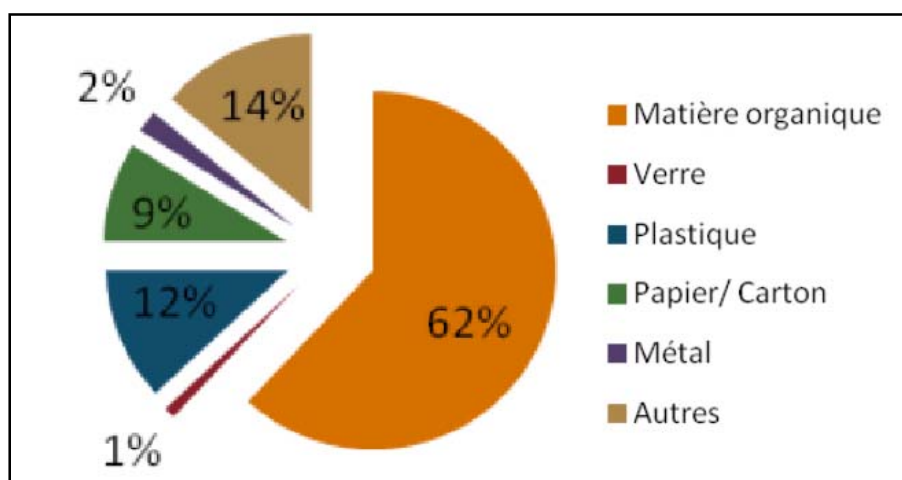
2. Aspect qualitatif : déchet en majorité de nature organique

La forte hétérogénéité des déchets provient d'une multitude de paramètres : le lieu géographique, le climat, la saison, la situation économique, la structure de l'habitat, les équipements collectifs, le niveau de vie de la population. Cette hétérogénéité est la source de la difficulté de trouver des solutions optimales de traitement.

L'étude de la composition des déchets est une étape essentielle pour une bonne gestion, et ce, pour plusieurs raisons, dont notamment, le besoin d'estimer la quantité des matériaux produites, d'identifier leur source de génération, de faciliter le design des équipements des procédés de traitement, de définir les propriétés physiques, chimiques et thermiques des déchets et de veiller sur la conformité avec les lois et règlements locaux. La disponibilité de ces informations capitales permet essentiellement d'identifier la nature des déchets réceptionnés par les décharges et les centres d'enfouissements techniques dans la zone d'étude, ainsi qu'évaluer leurs risques vis-à-vis des ressources naturelles et l'homme.

En effet, au niveau du centre d'enfouissement technique de Tlemcen, reçoit une composition des déchets ménagers très diversifiés, les résultats des tris des déchets des communes montrent que la matière biodégradable générée pendant la période 2010-2014 est 62%, suivie la matière plastique 12 %, le carton-papier 9 %, les métaux 2 %, le verre 1 % et les autres compositions 14 % (direction du CET de Tlemcen, 2016).

Figure 27. Composition des déchets réceptionnés par le CET de Tlemcen en 2016



Source : direction de l'environnement de Tlemcen, 2016

Le centre d'enfouissement technique d'El Ançor reçoit en moyenne, en 2014, par les sept communes de l'Ouest de la wilaya d'Oran, des matières biodégradables générées sont de 69.61%, le taux de plastique est de 14.46%, le taux de carton-papier 7.53%, le textile 2.52%, les métaux 3.01 %, le verre 1.81 %, le bois 0.53 % et les autres 0.54% (MEDAFER, 2014).

Dans toute la zone d'étude, les déchets ménagers sont principalement constitués de déchets putrescibles, dont leurs pourcentages dépassent les 50 % pour les centres d'enfouissements techniques, ainsi qu'un pourcentage qui varie entre 10 à 20 % de plastique.

Le développement de l'industrie alimentaire et de l'emballage a modifié sensiblement la composition des ordures ménagères ainsi que les habitudes de consommation en Algérie. La matière organique est toujours le principal composant des déchets ménagers et ça restera les conséquences de ce développement.

Une autre filière de déchets qui est les déchets spéciaux (DS) et les déchets spéciaux dangereux (DSD), selon la direction de l'environnement de la wilaya d'Oran, une production annuelle plus de 200 000 tonnes de DS et DSD, avec une absence totale de structures pour les traiter. Ce volume appelé à croître avec le processus d'industrialisation que connaît la wilaya d'Oran, ainsi que les autres wilayas de la zone d'étude. Les prévisions selon les gestionnaires de l'environnement portent sur une production moyenne de déchets industriels DS et DSD de l'ordre de 134 600 tonnes par an à l'horizon 2025, dont plus de 4 000 tonnes de classe "S" et 130 600 tonnes de classe "SD".

Avec l'absence d'incinérateurs, des CET de classe I destinée principalement aux déchets dangereux, des DS et les DSD et des filiales de traitement spécialisées dans la zone d'étude, une partie de ces déchets se retrouve dans les décharges sauvages et les centres d'enfouissements techniques de classe II. L'absence de prise en charge de ces déchets, selon les normes requises, engendre des risques de contamination de l'air, du sol et de l'eau, ayant des répercussions sur la santé de la population.

3. Les déchets des centres d'enfouissements techniques et de la décharge d'El Kerma : une production des lixiviats et des biogazs

La décharge et les centres d'enfouissement techniques reçoivent des déchets de diverse nature (matières faiblement ou rapidement biodégradables, matières plastiques, métaux, verres et céramiques) et des microorganismes endogènes (qui proviennent des déchets, de l'atmosphère environnante ou du sous-sol de la décharge). La présence des matières biodégradables et l'influence des paramètres externes, telles que la pluviométrie et la température, sont à l'origine de processus chimiques, physiques et biologiques, s'influençant réciproquement et engendrant des flux de gaz et de liquide.

Les flux entrant dans les décharges et les CET correspondent à l'eau ainsi qu'à l'apport des déchets. L'eau, élément ayant la plus grande influence sur l'évolution des déchets, est issue de trois sources principales, le ruissellement arrivant à la décharge, les précipitations et l'eau constitutives des déchets, le mélange de l'eau avec les déchets, conduit à l'apparition de la percolation. Cette dernière dans les décharges et les CET est très chargée bactériologiquement et chimiquement de substances tant minérales qu'organiques. Elle peut atteindre les eaux de surface et les eaux souterraines et donc constituée un élément polluant, tant par leur aspect quantitatif que qualitatif (éléments écotoxicologiques). L'eau traversant la couche de déchets, elle se charge en substances polluantes, telles que la matière organique soluble résultant de l'activité biologique de la décharge et du CET, des constituants inorganiques, comme les métaux lourds (provenant notamment des piles) et des germes qui peuvent être dangereux pour la santé et l'environnement. Il est difficile d'estimer avec précision la composition de la percolation des déchets, car elle dépend de la nature des déchets, du volume des précipitations, ainsi que du stade de dégradation atteint.

Le plus grand risque lié à la lixiviation des déchets est la contamination des eaux souterraines. Cela aurait pour conséquence de polluer les puits destinés à la consommation humaine et à l'irrigation. Signalons également que la pollution des réserves d'eau potable par des microorganismes pathogènes est susceptible de provoquer des épidémies et des maladies à transmission hydriques. À cet effet, il est devenu primordial de déterminer la nature quantitative et qualitative des lixiviats des centres d'enfouissements techniques étudiés et de l'ancienne décharge d'El Kerma. Cette nature est essentielle, dans le but de caractériser la charge polluante et d'estimer les risques que présentent ces lixiviats sur la qualité des eaux souterraines.

Pour la détermination de la nature des lixiviats au niveau de la zone d'étude, nous avons pris, premièrement, le cas des lixiviats de la décharge publique d'El Kerma. Dans ce cas, plusieurs campagnes de mesures et de prélèvements de ces lixiviats ont été réalisées, pendant les années 2005, 2006, 2007 et 2012, par le laboratoire de physico-chimie des matériaux, catalyse et environnement du département de chimie industrielle, université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf d'Oran (USTO). Les paramètres ont été déterminés selon la méthode standard pour l'analyse des eaux usées.

Tableau 16. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des lixiviats de la décharge d'El Kerma (2005, 2006, 2007, 2012)

Paramètres	Valeur moyenne	Paramètres	Valeur moyenne
T (C°)	23.7	Phénol (mg/l)	37
PH	8.19	Phosphore total (mg/l)	0.6
Conductivité électrique (ms/cm)	120.3	Sodium (mg/l)	1764
Turbidité (NTU)	732	Potassium (mg/l)	745
MES (mg/l)	1149	Calcium (mg/l)	584
DCO (mg d'O ₂ /l)	19333	Magnésium (mg/l)	645
DBO ₅ (mg d'O ₂ /l)	3301	Fer total (mg/l)	7.77
COT (mg/l)	343	Plomb (mg/l)	0.17
Ammonium (mg/l)	2726	Cuivre (mg/l)	0.6
Azote organique (mg/l)	1142	Zinc (mg/l)	0.33
Nitrate (mg/l)	0.92	Manganèse (mg/l)	0.14
Nitrite (mg/l)	43	Cadmium (mg/l)	0.4
Chlorure (mg/l)	3397	Nickel (mg/l)	1.28
Sulfate (mg/l)	1717	Chrome (mg/l)	0.005
Phosphate (mg/l)	1.48		
Hydrocarbure totaux (mg/l)	35.7		

Source : laboratoire de physicochimie des matériaux, catalyse et environnement du département de chimie industrielle (USTO).

L'examen des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des lixiviats de la décharge d'El Kerma (tableau 16) montre que la percolation des déchets accuse une charge polluante très élevée. La conductivité électrique indique une forte minéralisation, cette minéralisation est principalement attribuable aux paramètres chlorures, sulfates, ammonium et sodium. Les valeurs moyennes des paramètres pH, MES et turbidité montrent le caractère basique des lixiviats et leurs fortes charges minérales et organiques. Concernant la charge organique, les teneurs moyennes de la DCO et de la DBO5 dénotent que le lixiviat de la décharge est en phase intermédiaire, voire à sa fin. L'analyse de la composition en métaux lourds a mis en évidence l'importance de la charge métallique de ces percolât, le fer est le métal le plus abondant, ceci est vraisemblablement dû au rejet des déchets contenant de fer dans la décharge, notamment, les déchets industriels provenant de la zone industrielle d'Es Senia, ainsi que, nous remarquons la présence des métaux toxiques, comme le nickel, le cuivre et le cadmium qui présentent des teneurs relativement importantes.

En Algérie, les normes des lixiviats des décharges n'ont pas été établies, si on compare avec la norme actuelle des rejets d'effluents liquides industriels, les lixiviats de la décharge d'El Kerma sont comparables à des rejets industriels complexes (BENNAMA, 2010).

L'autre cas étudié, c'est le percolât du centre d'enfouissement technique de Sidi Ben Adda, pour cela, nous avons basé sur l'étude de CHADLI (2015), qui porte sur l'analyse des lixiviats à partir des prélèvements des échantillons en mois d'octobre 2014, analysés au niveau du laboratoire de SONATRACH raffinerie d'Arzew RAIZ. Les résultats de ces analyses montrent que ce percolât

est comparable à des rejets industriels complexes, contenant à la fois des substances contaminants organiques et inorganiques (tableau 17). Leur déversement dans la nature permet la contamination des eaux de la nappe des roches volcaniques exploitées à l'alimentation en eau potables.

Tableau 17. Analyse physico-chimiques des lixiviats du CET de Sidi Ben Adda (octobre 2014)

Paramètres	Valeurs	Paramètres	Valeurs
Température (°C)	12	Magnésium (mg/l)	18
PH	5.91	Sulfites (mg/l)	0
Conductivité (s/cm)	4760	Sulfates (mg/l)	217
Dureté total TH (mg/l)	560	MES (mg/l)	61
Chloride (mg/l)	715.68	DCO (mg/l)	219.3
Calcium (mg/l)	380	DBO ₅ (mg/l)	110

Source : CHADLI, 2015

La faible température des lixiviats analysés favorise le développement des microorganismes dont elle active les réactions d'oxydation et la déminéralisation de la matière organique biodégradable. La conductivité électrique permet d'évaluer la minéralisation et d'estimer la totalité des sels solubles dans l'eau, elle présente des valeurs importantes indiquent la forte minéralité de ces lixiviats, ceci est due aux teneurs élevées en chlorure, calcium, sulfate et magnésium. La DBO₅ présente une faible concentration due à la charge métallique toxique inhibitrice du développement de bactéries, la DCO et la DBO₅ décrits la jeunesse du CET de Sidi Ben Adda, contrairement à la décharge d'El Kerma où la DCO et la DBO₅ dans les lixiviats sont très importants, indiquent l'ancienneté de la décharge d'El Kerma.

Un autre cas a été étudié, c'est la nature des lixiviats du centre d'enfouissement technique d'El Ançor. Dans ce contexte, nous avons pris des analyses physico-chimiques réalisées en 2014, par le laboratoire de physicochimie des matériaux, catalyse et environnement du département de chimie organique industrielle (USTO). Ces analyses sont mentionnées en tableau 18.

Tableau 18. Analyse physico-chimiques des lixiviats du CET d'El Ançor en 2014

Paramètres	PH	Conductivité (s/cm)	MES (Mg/l)	DCO (Mg/l)	DBO ₅ (Mg/l)	Ammonium (Mg/l)	Phosphore (Mg/l)	Nitrate (Mg/l)	Nitrite (Mg/l)	Phosphate (Mg/l)	Sodium (Mg/l)
Valeurs	8.2	17160	140	5980	3827	3065	185	300	300	1.5	6900

Source : MEDAFER, KHEMISSI, 2014

Les analyses montrent des concentrations importantes pour tous les éléments, la conductivité électrique présente des valeurs élevées, vu la présence des minéraux issus des ordures dans les lixiviats. La concentration des matières en suspension est de 140 mg/l, supérieure à la norme des rejets d'effluents liquides industriels. La valeur de la DCO est 50 fois plus élevée que la norme fixée, la DBO₅ présente une teneur qui dépasse largement la valeur admissible. L'ammonium atteint 3 065 mg/l, c'est une valeur élevée par rapport à la norme. Cette composition chimique des lixiviats générés par les ordures ménagères du CET d'El Ançor dépend essentiellement des matières putrescibles qui dépasse 50 % des déchets rejetés en CET. Ces analyses montrent la

jeunesse du lixiviât, présente une teneur considérable en matière organique, vue la forte demande chimique en oxygène (DCO).

Le rejet de ces lixiviâts collectés non traités en zone naturelle, selon les cas exposés, présente un risque majeur de pollution des ressources en eau, notamment, avec le manque énorme de traitement, il existe un traitement au niveau des CET, mais par lagunage, dont les rejets restent polluants.

Photo 10. Les bassins de lixiviâts du CET de Tlemcen
(Clichée : CET de Tlemcen, 2016)



Un autre point essentiel qui doit être cité, c'est la production de biogaz, issu du mélange de l'eau avec les déchets. Sa composition en molécules majeures est le méthane, le gaz carbonique, l'oxygène et l'azote, outre ces composants majeurs, le biogaz véhicule également une multitude de substances organiques. Cette composition est très variable, dépend, notamment, de l'âge de la décharge et du CET, ainsi que la nature des déchets. L'origine de cette composition est d'une part, les processus particuliers de dégradation biologique et/ou chimique de certains déchets et d'autre part, le largage de gaz provenant de la mise en décharge de déchets, comme les solvants, aérosols, etc. Toutefois, il est important de noter que plusieurs de ces composés sont relativement nocifs. Les risques liés au biogaz sont des risques humains, toxicité des substances trace, asphyxie pour les populations riveraines, explosion du méthane, incendies, ainsi que des risques de pollution atmosphérique (gaz à effet de serre) (BROZ, 2006).

En effet, les CET disposent des sources importantes de gaz qui peuvent être récupérées pour répondre aux exigences énergétiques du pays, mais malheureusement, la zone d'étude est très en retard dans ce domaine. Dans ce cas, il est important d'installer, en amont, des drains pour capter ce biogaz, dans le but de pallier toute nuisance, de mettre en place, en aval, une torchère pour le traiter par combustion, dont la chaleur peut être transformée en électricité ou en vapeur. De nombreuses recherches scientifiques, au niveau international, ont prouvé l'importance des CET comme sources importantes de gaz. Les biogazs qui résultent de la fermentation des déchets

organiques en l'absence d'oxygène sont des gaz polluants, composés de **50 % de méthane, 35 % de gaz carbonique et 15 % d'azote**.

Le biogaz doit être collecté et traité, ce qui permettra la réduction des nuisances olfactives, la sécurité du site et sa valorisation. Au niveau des sites de décharge et des CET, nous avons remarqué l'existence des installations de systèmes de récupération de biogaz, malheureusement, avec des équipements incomplets pour sa fonctionnalité. La production potentielle théorique est d'environ 400 m³ de gaz par tonne de déchets, dans les conditions d'enfouissement et d'exploitation des CET des pays en voie de développement, on peut compter à récupérer environ 150-200 m³ /T (MEZOUARI, 2011), mais bien sûr avec un drainage parfait, ce qu'il n'est pas le cas des CET de la zone d'étude, aucune installation de récupération des biogazs n'est fonctionnelle. Les quantités de biogaz générées au niveau des CET de la zone d'étude sont méconnues, et aucune étude de prédiction de leur production n'a effectivement été réalisée.

Photo 11. Système de récupération des biogaz au CET de Tlemcen

(Clichée : CET de Tlemcen, 2016)



IV. Méthodes d'évaluation des sites d'implantation des décharges et des centres d'enfouissements techniques

Si la mise en décharge demeure le moyen le plus économique et donc le plus utilisé pour l'élimination des déchets, comparativement à d'autres modes, elle présente, cependant, des risques potentiels de dégradation de l'environnement, par l'émanation d'odeurs nauséabondes, la production des biogazs et surtout de percolât qui véhiculent une importante charge polluante. À cet effet, il est important que l'emplacement d'une décharge soit adéquat et ne présente aucun impact sur l'environnement et la santé humaine. La faisabilité d'un site de décharge d'ordures est basée sur une analyse multisectorielle où interviennent des géographes physiques, des géologues, des hydrogéologues, des hydrologues, des chimistes, des biologistes, des naturalistes, des économistes, des sociologues, des politologues, etc.

Avant chaque étude de présélection de décharge d'ordures ménagères, il est impératif de procéder à un inventaire systématique toutes les contraintes et critères environnementaux à la création d'une décharge. Ces critères correspondent aux :

- critères géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques, en particulier la protection des eaux ;
- critères d'utilisation des surfaces, y compris habitation et transport ;
- critères de protection de la nature y compris l'agriculture et la forêt.

Nous pouvons dévisser les critères d'implantation d'une décharge en critères du milieu humain et critères du milieu physique.

- **Critères du milieu humain, utilisation des sols et aspects socio-économiques :** l'analyse d'un site de décharge nécessite l'adéquation de cette décharge vis-à-vis des perspectives de développement et d'aménagement du territoire. Une attention particulière est à scinder sur les activités socio-économiques actuelles, dont notamment, le secteur agricole, industriel, artisanal, touristique. Donc, il est nécessaire de prendre en considération les aspects d'utilisation des sols d'une part, dans ce volet les aspects suivants sont à examiner : zones urbaines; espaces réservés à l'agriculture; réseau de communication; espaces réservés aux loisirs et au tourisme, infrastructures et limites (lignes électriques, barrages, réseau routier, etc.); aires d'extraction et d'enfouissement (carrières, sablières, etc.). D'autre part, les aspects socio-économiques doivent être pris en attention, c'est le développement industriel.
- **Critères du milieu physique :** il est nécessaire de faire une analyse de toutes les composantes des milieux physiques, basés sur les caractéristiques des éléments naturels. Les ressources hydrologiques (réseaux hydrographiques, eaux souterraines, lacs, barrages, etc.). Le choix de la distance minimale à respecter aux alentours des cours d'eau varie d'un pays à l'autre et en fonction de leurs débits. Toutes les surfaces qui se trouvent dans une zone tampon de 300m et à l'intérieur du lit majeur des grands oueds sont considérées comme des zones à risques au lessivage et l'érosion des déchets. Elles ne sont donc pas appropriées pour une décharge. Le site de décharge doit prendre en considération le risque de pollution des eaux des barrages. La protection du territoire forestier est très importante dans la localisation d'une décharge, consciente du rôle que joue la forêt dans l'économie régionale, la conservation et la protection des sols et de l'eau, la lutte contre la désertification, l'amélioration des conditions de l'environnement et dans la génération d'emplois, à cet effet, il est nécessaire que le site d'une décharge soit loin d'un territoire forestier. Une décharge doit être implantée dans un site non exposé aux risques de glissement de terrain, d'érosion ou aux risques de crue, donc les zones à pente supérieure de 10° sont inappropriées pour être une décharge. La décharge nécessite aussi un fond étanche pour éviter toute infiltration des eaux de lessivage dans le sol et la contamination de la nappe. L'analyse de la nature des formations lithologiques vis-à-vis la perméabilité est très indispensable, car l'emplacement de la décharge est acceptable dans des terrains imperméables. Pour éviter toute contamination des eaux souterraines par la décharge, celle-ci doit être implantée dans une zone à forte profondeur de la nappe. Généralement, le site doit correspondre à des caractéristiques géotechniques stables et avoir des caractéristiques géologiques (imperméabilité) et géomorphologiques adéquates. Tous les sites dont l'analyse géomorphologique témoigne d'une action érosive importante, présentant de fortes pentes ou dont la stabilité géotechnique,

ainsi qu'une forte perméabilité des sols et une faible profondeur des nappes, sont à éviter pour l'implantation d'une décharge. Dans ce cas, les sites adéquats présentent des conditions d'imperméabilités suffisantes, une stabilité géotechnique et une pente faible.

L'apport des informations de base, comme les cartes géologiques, les études des ressources en eau de surface et souterraine, les données sur l'agriculture et les réserves naturelles, etc. sont la clé de la localisation optimale d'une décharge ou d'un centre d'enfouissement technique. L'implantation d'une décharge doit avoir une étude d'impact, afin d'éviter tout risque de dégradation de l'environnement et les ressources naturelles ainsi que le danger pour l'homme.

Dans le cadre de l'étude de la faisabilité environnementale d'une décharge ou centre d'enfouissement technique, la méthode suivie est basée sur l'analyse des critères du milieu humain et du milieu physique, qui permet de décrire le site comme absolument inapproprié au stockage de déchets ou favorable pour le stockage.

Suite à la réalisation des plans d'informations pour les critères nécessaires à l'emplacement d'une décharge, nous avons affecté un rayon de sécurité dans lequel la décharge présente un risque environnemental. Les rayons de sécurité sont différents d'un critère à un autre, le choix de ce rayon est en fonction de son importance. Pour l'élaboration du rayon de sécurité (RS), nous avons basé sur le guide international de sélection d'une décharge.

Nous avons considéré un rayon de sécurité de 300m pour les forêts et les réserves naturelles, les surfaces à vocation agricole ont un rayon de 300 m, les cours d'eau ont un rayon de sécurité de 300m, les sources thermales présentent un rayon de 2 km, les captages d'eau potable ont un rayon de 1 à 2.5 km et les puits ont un rayon de 500 m.

Pour les surfaces à contraintes sociogéographiques, nous avons pris des rayons de sécurité pour chaque thème, les habitations isolées et agglomérations un RS de 2 km, les cimetières un RS de 500 m, l'aéroport un RS de 5 km, les routes goudronnées un RS de 300m et les sites historiques un RS de 500 m.

Les surfaces à contraintes géologiques et hydrogéologiques présentent aussi un rayon de sécurité, les régions à failles géologiques ont un RS de 300 m, aussi, il est essentiel d'éviter les zones d'affleurement de l'aquifère principal, la profondeur faible de la nappe, éviter les zones perméables et éviter la pente de terrain forte.

L'évaluation de la faisabilité des décharges et des CET dans cette étude est basée sur tous les critères d'implantation, en appliquons les rayons de sécurité RS, ainsi, nous avons établi une classification de favorabilité des sites de décharge, classe 1 est défavorable, classe 2 est moins favorable, classe 3 est moyenne favorable, classe 4 est favorable et classe 5 est très favorable. La favorabilité du site est en fonction de l'information disponible, nous décrivons seulement les classes 1, 3, 5 quand on ne dispose pas les informations détaillées des critères, par contre, on décrit toutes les classes si l'information est disponible. Le maximum des points du classe 5 présentent un site favorable pour être une décharge et donc le site ne présente pas un risque. Le maximum des points classe 1 est un site défavorable pour une décharge est présent un danger de pollution. Le

maximum des points de la classe 3 est un site moyen favorable pour une décharge. Dans le cas de l'égalité des points de la classe favorable et la classe défavorable, on examine le poids des critères, les critères géologiques et hydrogéologiques présentent le poids le plus important dans cette étude.

Pour la réalisation de cette étude de faisabilité des sites de décharge, nous avons fait recours aux systèmes d'informations géographiques, par leur capacité de gérer et de traiter l'information spatiale, sont des excellents outils d'analyse. Afin d'établir cette méthode d'étude de la faisabilité des sites de décharge, nous avons pris comme zones pilotes, la décharge d'El Kerma, les centres d'enfouissements techniques de Sidi Ben Adda, de Sidi Bel Abbes et de Tlemcen. À cet effet, il est nécessaire de faire un diagnostic sur les risques engendrés par ces zones vis-à-vis l'environnement et l'homme.

V. Les risques liés à la mise en décharge et enfouissement : un grand danger pour l'homme et l'environnement

Les pollutions engendrées par les décharges et les centres d'enfouissements techniques, ainsi leurs impacts sanitaires et environnementaux sont difficiles à déterminer avec certitude, car ils sont diffus dans le temps et dans l'espace. Plusieurs polluants interagissent dans les milieux naturels (air, sol, eau, etc.) à court et à long terme. Les liens de causalité entre les pollutions liées aux décharges et les maladies ou les modifications significatives de l'environnement sont difficiles à établir. La littérature scientifique sur ce thème est peu nombreuse. À cet effet, nous avons trouvé utile de faire ressortir les dangers et les risques liée à l'implantation et à l'exploitation des décharges et des centres d'enfouissement techniques, c'est faire une évaluation de la faisabilité de ces sites vis-à-vis des ressources en eau, l'agriculture, la morphologie du site, l'infrastructure routière et les zones d'habitation. Ceci afin de voir la favorabilité de ces sites pour être un centre d'enfouissement des déchets ménagers.

1. Un grand souci vis-à-vis des ressources en eau de surface et souterraine

Les déchets stockés dans les casiers de la décharge et du centre d'enfouissement technique libèrent, plus ou moins rapidement, l'eau qu'ils contiennent. Ces jus concentrent les polluants et substances toxiques contenus dans les déchets mélangés, notamment les métaux lourds, sont des menaces pour les sols et les ressources en eau de surface et souterraine (GLANDIER, 2002). Certains centres de stockage ne sont pas équipés de membranes de protection au fond des casiers, les lixiviats pénètrent donc directement dans le sol et peuvent rejoindre une nappe phréatique, polluant ainsi la ressource en eau.

Pour les décharges qui possèdent une membrane de protection disposée dans le fond des casiers, elle peut limiter la pollution des sols au début de la vie de la décharge, mais pas à long terme. Il n'existe pas de matériau synthétique pour une durée de vie infinie. Aussi, même si une membrane est installée, la pollution est simplement déplacée dans le temps et dans l'espace, car ils sont évacués dans le milieu naturel avec une épuration non-satisfaisante. Notant aussi, les fuites des lixiviats qui peuvent se produire dans l'environnement autour du site de la décharge, mettant en danger les ressources en eau. L'homme est directement touché par les conséquences de la

décharge, notamment, si elle est située à proximité d'une nappe phréatique destinée à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation.

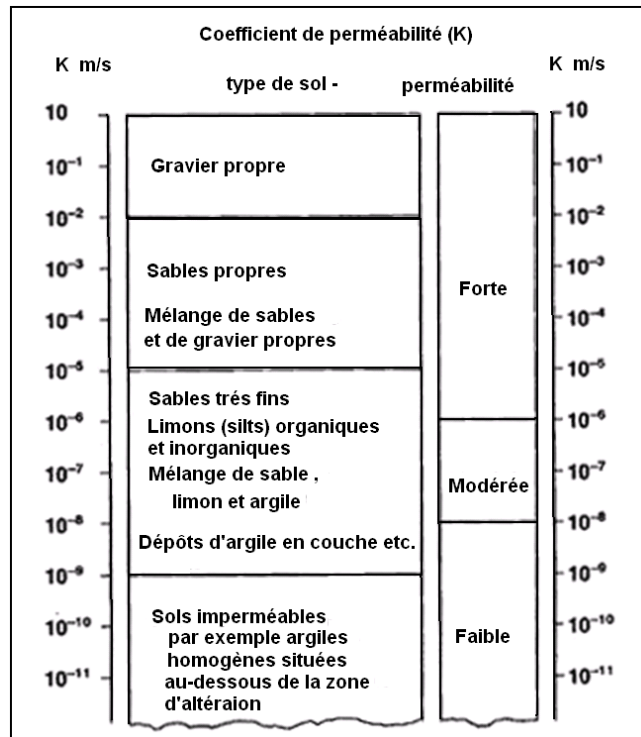
1.1. Dégradation qualitative des nappes phréatiques

1.1.1. La nappe alluviale de la sebkha d'Oran : eaux impropres aux usages domestiques ou d'irrigation

Les formations lithologiques de l'ancienne décharge d'El Kerma sont des alluvions récentes d'âge holocène d'origine alluviale, selon la carte géologique à l'échelle 1/50 000. Il s'agit des dépôts de terrasses, des limons d'inondation et de cône de déjection. Ils occupent le pourtour de la sebkha et garnissent la plaine de la M'leta. Dans les terrasses fluviales, essentiellement limoneuses avec des passées sableuses, existe des horizons noirs à plusieurs niveaux correspondant à des sols hydromorphes développés en fin de séquences sédimentaires puis fossilisées par des apports de sédiments alluviaux postérieurs (HASSANI, 1987).

Nous avons pris des analyses granulométriques des échantillons prélevés du sol de la décharge d'El Kerma auprès de BENNAMA (2011), ces analyses montrent la morphologie très variée du sol, le sol est constitué essentiellement de sables fins et limons grossiers. Son coefficient de perméabilité « K » est de l'ordre 3.47×10^{-5} m/s, ce qui indique la perméabilité des terrains. Cette dernière favorise une forte infiltration de percolât dans le sol et le sous-sol et contamine la nappe phréatique (figure 28).

Figure 28. Classification de la perméabilité en fonction du coefficient de perméabilité K



Source: FAO training, www.FAO.org

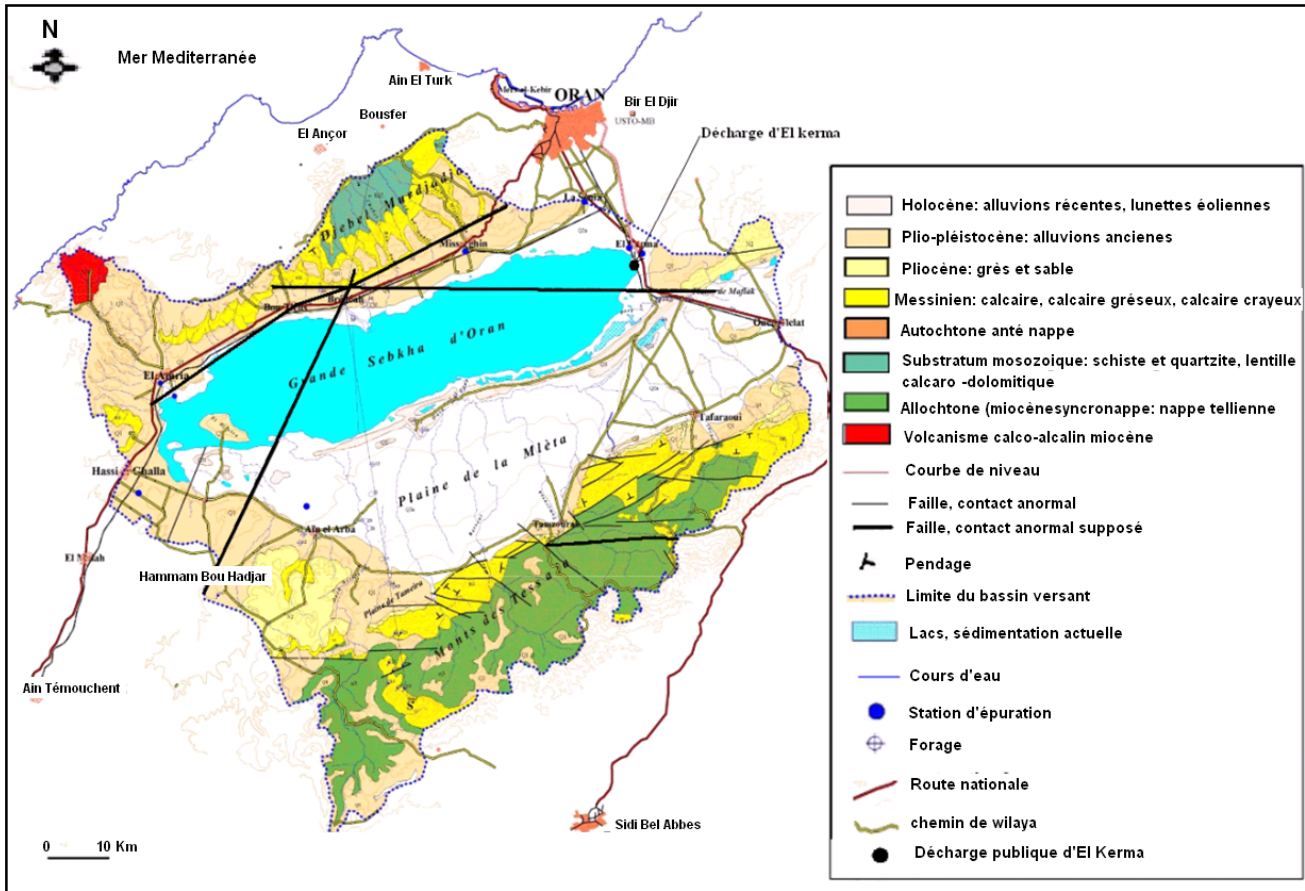
La nature chimique des sols pour trois échantillons analysés par BENNAMA (2011) est constituée essentiellement de silice en moyenne de 56 à 63 %, un PH compris entre 7 et 8, les sols renferment une proportion importante de sulfates entre 3 à 5 %, des proportions importantes de carbonates entre 14 à 23 % et des proportions importantes de la chaux entre 8.59 à 12.68 %. Ces fortes valeurs de la nature chimique indiquent la forte pollution des sols, suite à l'infiltration des polluants de la décharge d'El Kerma.

Le plan structural est indispensable pour l'étude de risque des décharges, pour la description structurale du site de la décharge d'El Kerma, nous avons basé sur les études de MOUSSA (2006). La sebkha d'Oran s'inscrit dans un panneau Nord-est/Sud-ouest, caractérisé par des formations récentes, ce panneau s'ouvre au Nord-est et se ferme au Nord, à l'Est et au Sud. La structure du bassin de la sebkha d'Oran ressemble à un golf, orienté E-NE/W-SW, qui serait fermé grâce à la formation des monts (Dj. Debbi), son orientation est Nord-est/Sud-ouest, suite à des pincements Nord-ouest/Sud-est d'âge plio-pléistocène et actuel, ce phénomène est lié à la subsidence du fond de la sebkha.

Le bassin de la grande sebkha d'Oran est donc constitué essentiellement de trois parties distinctes bien différenciées au point de vue structural. La partie amont qui englobe le plateau et le versant est peu faillée, le glacis où se situent les plaines (de la M'leta et de Boutlélis-Misserghin) est très accidenté, ces failles nombreuses sont de deux directions essentielles, NW-SE voire NNW-SSE et NE-SW. Ces deux directions paraissent superposées, l'une NW-SE combiner avec des décrochements senestres, caractérisé, selon THOMAS (1985) FENET (1975) HASSANI (1987), par une tectonique en transtension, l'autre de direction NE-SW associée à des décrochements dextres, serait engendrée par une tectonique en transpression, elle est responsable de la fermeture du bassin.

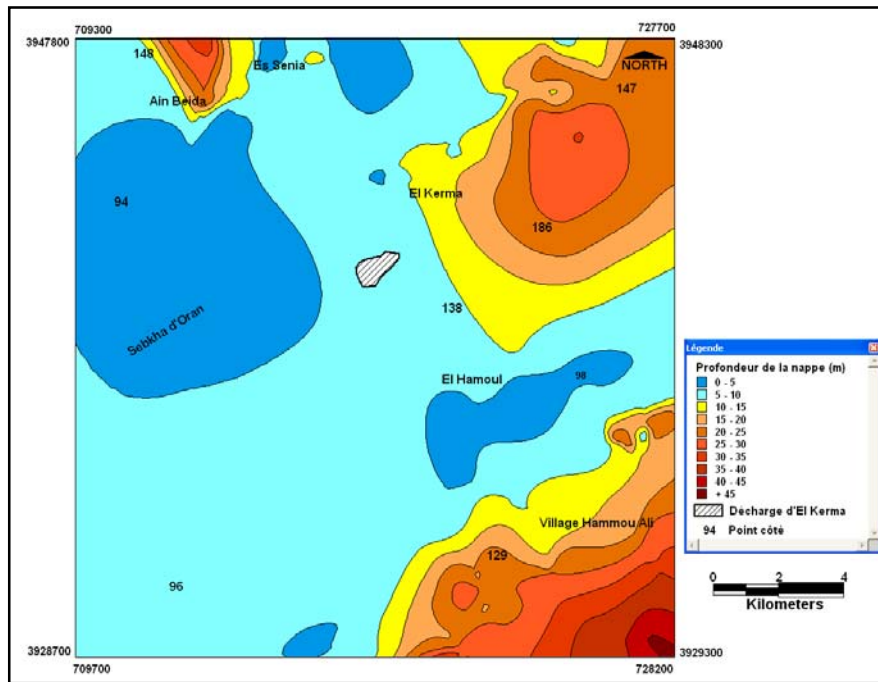
MOUSSA (2006) montre plusieurs structures tectoniques qui se dégagent, plissé, en entourant la sebkha, il s'agit de lunettes éoliennes et cassantes, elles sont représentées par des failles et décrochements qui sont de deux types ; NNW-SSE et NE-SE, c'est selon ces cassures que les eaux de surface arrivent à s'infiltrer. L'intérieur de la sebkha est caractérisé par plusieurs zones d'eau concentriques, les plus profondes se trouvent au centre de la dépression. En se basant sur ces études citées et sur la carte géologique de BENZIANE (2013), la décharge publique d'El Kerma est très proche d'une faille et conduit à une forte infiltration des contaminants.

Carte 36. Carte géologique du bassin de la sebkha d’Oran (BENZIANE, 2013)



Les alluvions quaternaires sont étendues aux plaines du pourtour de la grande sebkha d’Oran, ces alluvions renferment une nappe phréatique alimentée par son propre impluvium et par les infiltrations du ruissellement issu des reliefs (BENZIANE, 2013). Sur la base de l’étude piézométrique citée en deuxième chapitre, les écoulements de cette nappe alluvionnaire phréatique sont dirigés vers l’Ouest, direction de la sebkha, sa recharge se fait essentiellement à partir des eaux pluviales qui s’infiltrent sur l’ensemble de l’impluvium et l’écoulement des oueds (HASSANI, 1987). La décharge publique d’El Kerma est située dans l’impluvium de la nappe alluviale phréatique d’une faible profondeur varie entre 5 à 10 m (carte 37), la perméabilité des alluvions favorise la contamination des eaux souterraines.

Carte 37. Décharge d'El Kerma par rapport à la profondeur de la nappe alluviale



L'accumulation et l'infiltration des lixiviats toxiques de la décharge publique d'El Kerma contaminent la nappe phréatique de faible profondeur. Afin d'identifier l'état de la contamination de cette nappe ainsi que l'impact de l'infiltration des lixiviats, nous avons collecté des analyses physico-chimiques des prélèvements sur 21 puits, situés dans l'environs de la décharge, effectuées par le laboratoire de physicochimie des matériaux, catalyse et environnement, département de chimie industrielle (USTO), sur les moyennes des années 2005, 2006, 2007 et 2012 (tableau 19).

Figure 29. Localisation des échantillons analysés sur l'image Landsat 2015.



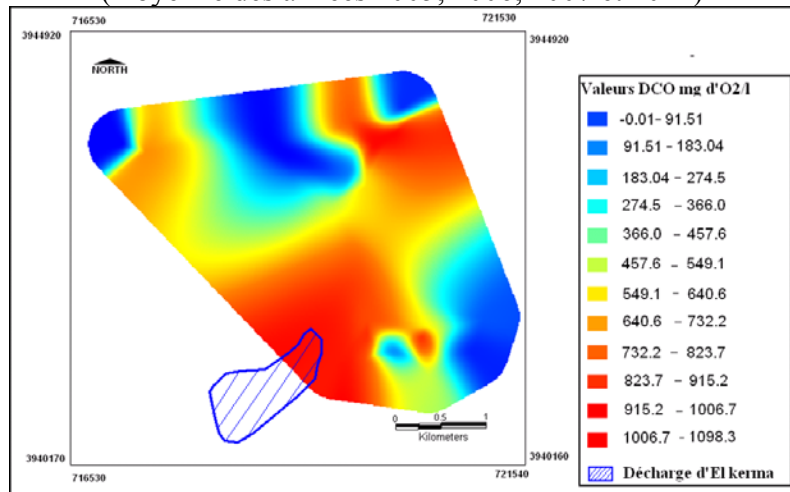
Tableau 19. Valeurs moyennes annuelles des paramètres physicochimiques des échantillons des eaux souterraines (moyenne 2005, 2006, 2007 et 2012).

Paramètre	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
UTM X (km)	719,4	719,8	720,4	719,8	719,8	720,1	720,5	720,5	720,9	721,1	718,9	718,7	717,1	717,4	719,4	719,6	719,8	719,6	719,9	720,1	720,2
UTM Y (km)	3941,2	3941,6	3941,5	3941,8	3941,3	3941,4	3941,7	3941,1	3941,4	3940,8	3943,6	3943,8	3943,7	3943,6	3942,9	3943,4	3443,2	3943,9	3943,7	3943,8	3944,1
Distance à la décharge (km)	Au sein	0,35	0,90	0,30	0,32	0,60	0,95	1,00	1,40	1,50	1,75	2,00	2,75	2,5	1,15	1,55	1,5	1,97	1,95	2,07	2,45
Profondeur (m)	8	9	11	12	10	14	6	10	8	12	13	11	10	8	9	10	12	11	13	12	13
pH	7,53	7,40	6,70	6,65	7,54	6,87	8,13	7,75	8,27	7,00	6,58	6,67	6,68	7,02	6,75	7,70	7,23	6,62	6,96	6,63	6,73
CE à 25°C (mS/cm)	21,20	8,44	6,75	3,92	3,70	2,70	1,94	2,38	0,90	1,70	4,49	3,87	3,84	3,95	4,16	1,84	5,67	7,00	7,61	3,17	4,90
TH (mg/l)	997	77	337	396	129	160	207	134	114	151	665	556	426	622	703	270	816	1472	1409	388	1138
TAC (mg/l)	119	288	135	127	131	225	78	121	136	171	132	179	181	184	77	66	106	195	240	193	200
DCO (mg d'O ₂ /l)	970	920	904	875	891	204	607	550	44	114	0	0	0	749	557	171	657	844	999	999	57
DBO ₅ (mg d'O ₂ /l)	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	12	9	10	11	8	21	21	9	9	10	9
NH ₄ ⁺ (mg/l)	5,41	4,88	4,08	4,35	1,26	1,02	0,97	1,38	1,71	1,42	0	0	0	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
NO ₃ ⁻ (mg/l)	15,7	10,09	12,5	11,7	10,8	11,7	8,84	7,09	13,63	12,05	1,55	0	0	11	12,66	15,77	21,21	14	10,89	14,55	15
NO ₂ ⁻ (mg/l)	2,6	1,88	1,55	2,06	1,51	1,79	1,24	0,98	1,97	1,16	0,06	0	0	0	0	0	0,32	0	0	0	0
Cl ⁻ (mg/l)	5396	3003	2750	1001	950	750	636	750	361	426	603	603	653	838	831	341	1079	1576	1725	611	568
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	1476	1213	947	661	716	412	316	237	126	250	134	140	168	124	223	112	432	876	665	347	710
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	9,75	5,29	8,50	5,70	7,63	6,05	5,51	5,50	7,02	7,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na ⁺ (mg/l)	2990	2010	1380	690	667	460	460	483	230	345	460	471	506	707	710	310	891	2002	2069	414	1001
K ⁺ (mg/l)	39,10	11,73	7,82	3,91	3,91	1,96	0,98	3,91	0,98	1,96	7,82	3,91	5,86	100	100	50	500	1000	1000	100	1,95
Ca ²⁺ (mg/l)	522	39	180	220	44	86	66	71	44	100	400	352	244	162	220	78	356	322	236	216	448
Mg ²⁺ (mg/l)	475	38	157	176	85	74	141	63	70	51	265	204	182	460	483	192	460	1150	1173	172	690
Fer total (mg/l)	7,90	13,60	14,40	19,20	13,80	4,06	10,60	8,70	4,60	8,10	0,10	0,30	0,22	3,91	3,91	0,39	1,95	11,73	7,82	3,91	7,82
Cuivre (mg/l)	3,8	14,90	6,10	15,70	12,60	3,80	2,60	3,20	3,10	6,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aluminium (mg/l)	0	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	0,12	0,14	0,26	0,14	0,27	0,16	0,27	0,25	0,14	0,15	0,17
Chrome total (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

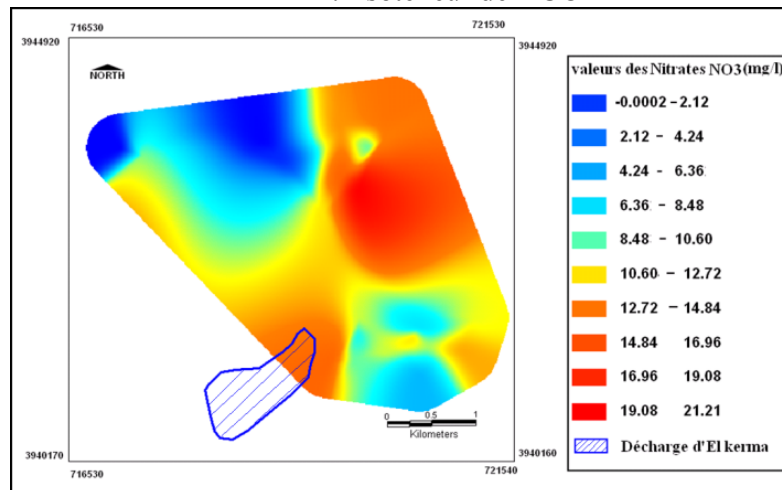
NM : non mesurée

Source : laboratoire de physicochimie des matériaux, catalyse et environnement, département de chimie industrielle (USTO)

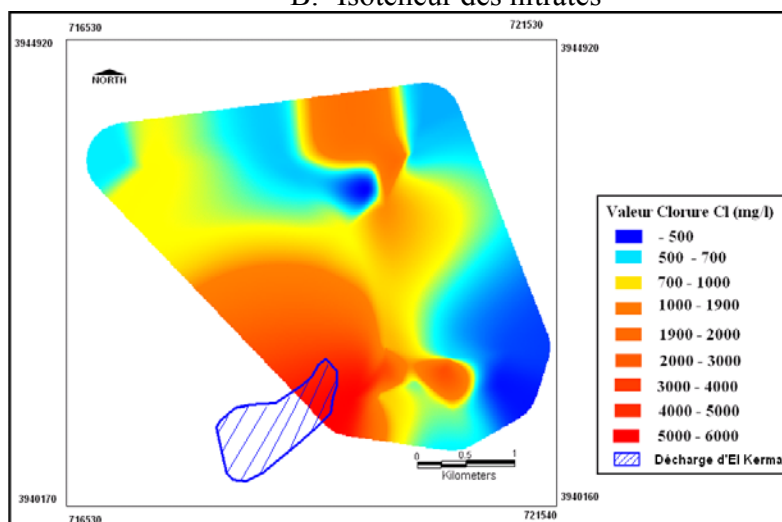
Carte 38 (A,B,C,D,E). Carte d'isoteneur des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines (moyenne des années 2005, 2006, 2007 et 2012)



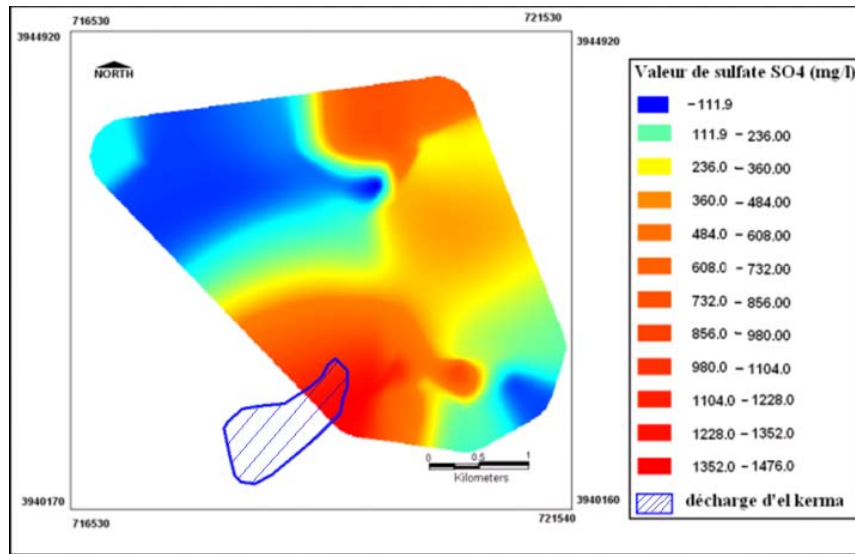
A. Isoteneur de DCO



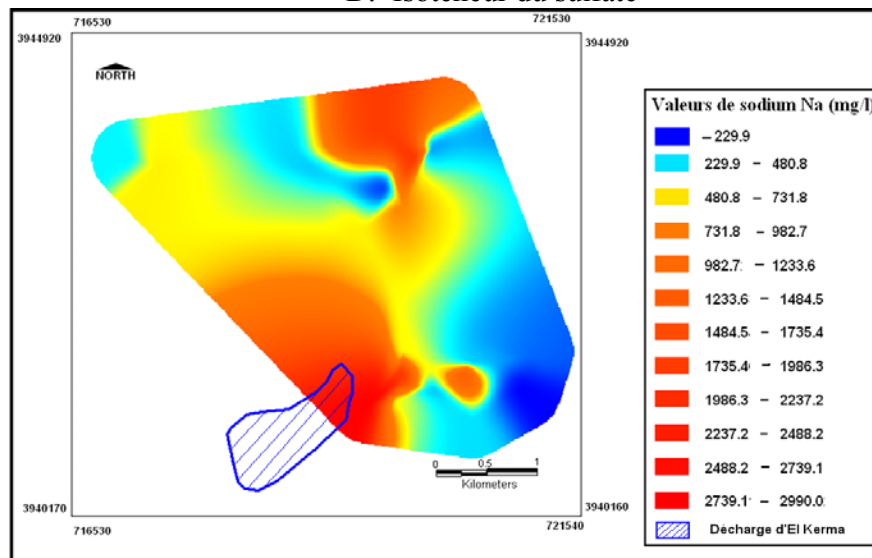
B. Isoteneur des nitrates



C. Isoteneur de chlorure



D. Isoteneur du sulfate



A. Isoteneur de sodium

De nombreux éléments chimiques présents dans l'eau de la nappe alluvionnaire d'El Kerma sont de l'origine naturelle, liée essentiellement à la nature géologique des terrains traversés et des précipitations. Il faut ajouter à cela les apports liés à l'activité humaine, notamment les lixiviats des ordures ménagères (décharge d'El Kerma). Il existe une grande corrélation entre la décharge et la qualité des eaux souterraines. L'analyse du tableau 19 montre que les résultats des analyses physico-chimiques des prélèvements du puits proches de la décharge sont assez élevés par rapport aux autres prélèvements, ceci est dû essentiellement à l'infiltration des lixiviats. On remarque des valeurs élevées de la demande chimique en oxygène (DCO) au niveau des eaux souterraines du site de la décharge (carte 38 A), la demande chimique en oxygène (DCO) des lixiviats a une valeur de 970 mg/l, leur infiltration contamine les eaux du P1 et sont devenus très pollués organiquement.

Les eaux de la nappe, au niveau de la décharge, sont très chargées par les nitrates et nitrites, la charge de nitrate est de 15.7 mg/l. Les nitrates présents dans l'eau peuvent provenir de sources, soit indirectes soit directes, cette charge élevée dans les eaux souterraines au niveau de la décharge est dû essentiellement à l'infiltration des percolât de la décharge d'El Krema.

Lors d'infiltrations des eaux polluées contiennent d'azote organique avec une valeur de 1 142 mg/l, les molécules sont, tout d'abord, transformées en ammonium (NH₄⁺) qui est ensuite oxydé en nitrites, puis en nitrates sous l'action de bactéries nitrifiantes. Ces processus d'oxydation, également appelés « nitrification », sont très sensibles à la présence de matières toxiques (métaux, pesticides) et aux températures basses. Des concentrations élevées en nitrites témoignent souvent de la présence de matières toxiques. On considère que la situation est très critique à partir d'une concentration de NO₂ plus de 2.5 mg/l (LISEC, 2004). Le P1 présente une valeur de 2.6 mg/l de NO₂, ce qui montre la forte pollution des eaux souterraines. Les eaux de ce puits sont très chargées en chlorure (5 396 mg/l), dépassent largement les teneurs rencontrées dans les eaux souterraines par rapport aux autres puits, ceci est lié la présence des teneurs élevées en chlorures (3379 mg/l) dans les lixiviats. En effet, les déchets renferment des teneurs importants en chlorures (REITZEL, 1990), la dégradation des déchets produit des percolât très chargés de cet élément chimique (OZANNE, 1990).

Les teneurs élevées en éléments physico-chimiques qui dépassent largement les normes de potabilité rendent les eaux souterraines de la nappe alluviale au niveau de la décharge impropres à tout usage domestique, vu leur toxicité aigue liée à l'infiltration des lixiviats, donc cette décharge présente un impact dangereux de pollution des eaux souterraines.

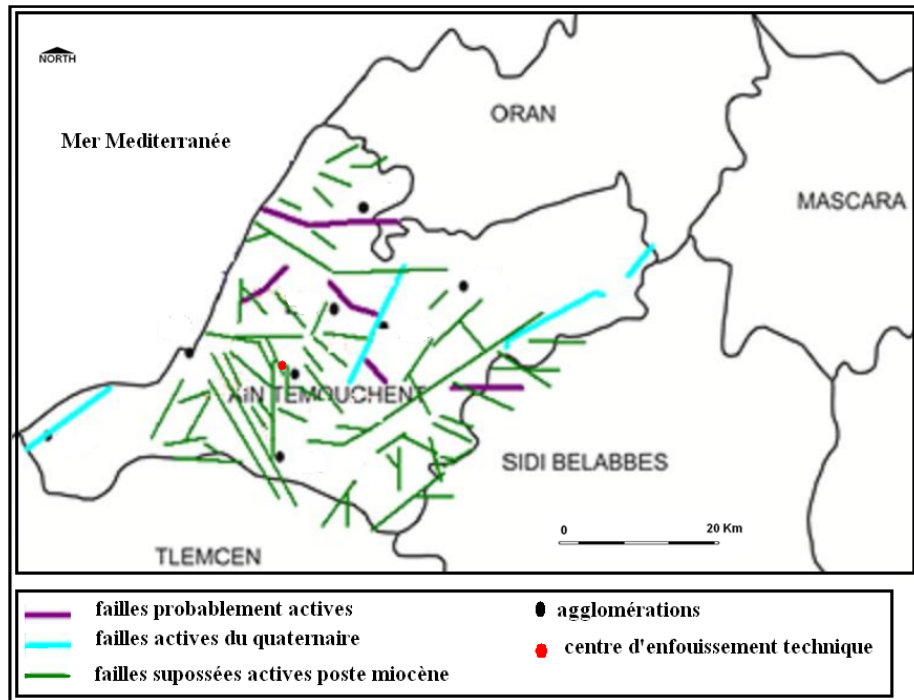
1.1.1. La pollution de la nappe des roches volcaniques par le CET d'Ain Témouchent

Le centre d'enfouissement technique de Sidi Ben Adda est installé au substratum de massif volcanique d'Ain Témouchent. Ce massif couvre une superficie de 350 Km², caractérisé par son âge jeune le quaternaire (LOUNI-HACINI et al., 1995 ; COULON et al., 2002). Les émissions volcaniques varient entre des laves associées le plus souvent à des brèches volcaniques et du volcano-sédimentaire. Les coulées émises reposent sur un substratum représenté par des sédiments néogènes du deuxième cycle post-nappes. Aux environs du Dj. Dzioua, de Koudiat Berbous et de Sidi Ben Adda, les produits éruptifs recouvrent des récifs coralliens d'âge messinien. Les gisements volcaniques les plus méridionaux reposent sur des formations marno-gréseuses d'âge miocène (MOISSETTE, 1988). LECOCQ (1987) indique que la perméabilité des formations volcaniques est comprise entre 2.10^{-4} et 8.10^{-7} m/s, avec une valeur moyenne de 6.10^{-5} m/s, selon le tableau du coefficient de la perméabilité (K) (figure 28), ces formations sont perméables. L'arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets (réglementation française) exige une perméabilité de la formation géologique inférieure ou égale à 1.10^{-9} m/s pour un site du stockage des déchets, par contre, la perméabilité de la formation du CET de Sidi Ben Adda est loin de cette norme.

La carte structurale réalisée par YELLES-CHAOUICHE (2004) de la zone d'Ain Témouchent, montre que l'emplacement du CET est très proche d'une faille supposée active du poste miocène

(carte 39). Par contre, les normes d'implantation d'un CET ou une décharge contrôlée exigent une distance de 300 m par rapport aux failles. À cet effet, ce CET présente un emplacement défavorable vis-à-vis l'aspect structural (distance de 500 m).

Carte 39. Cadre structural de la wilaya d'Ain Témouchent (YELLES-CHAOUICHE, 2004)



Le CET est installé dans l'impluvium de l'aquifère plio-quaternaire des volcans sédimentaires localisée principalement au niveau de la zone d'Ain Témouchent, Ain Tolba, Sidi Ben Adda et Oulhaça, cette aquifère présente une épaisseur de 20 à 100 m, comporte deux couches productives, les sables pliocènes et les calcaires fissurés du miocène supérieur. Les basaltes qui étaient secs deviennent aquifères et suralimentent les sables pliocènes et les calcaires miocènes (HAMIDI, 1989). Cet emplacement risque de polluer la nappe des roches volcaniques, avec une perméabilité moyenne de $6.10^{-5}m/s$ et une profondeur de la nappe moyenne de 20 m, nous assistons à une contamination de la qualité des eaux souterraines. Le déversement des lixiviats accumulés dans la nature favorise la contamination de la nappe des roches volcaniques et l'inexploitation des eaux souterraines.

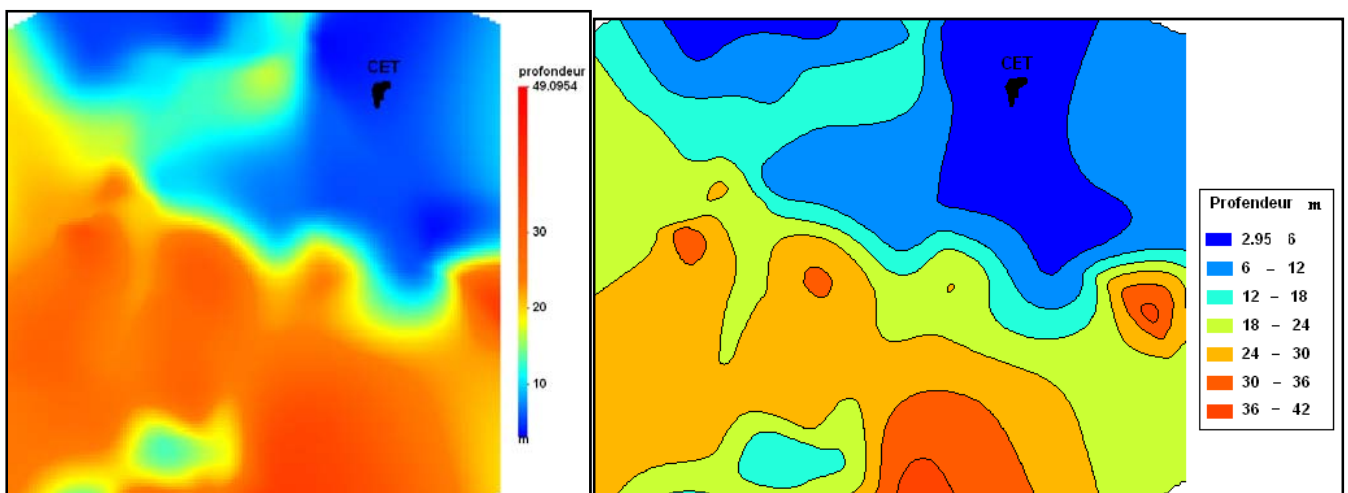
1.1.2. Centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbes : un grand danger de pollution de la nappe alluviale

Le centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbes est installé sur des formations géologiques d'âge quaternaire, se sont des limons, marnes, argiles sableuses calcaires, alluvions, conglomerats des terrasses des oueds. Selon la carte géologique à l'échelle 1/50 000 et la carte hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbes à 1/100 000, réalisée par SOURISSEAU (1973), ces formations sont de nature perméable. Le remplissage argilo-sableux plio-quaternaire contient une nappe phréatique exploitable avec un débit des eaux proportionnel aux pourcentages d'éléments sableux

et argileux présents, c'est la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbas, d'une superficie de 730 km² (BOUANANI, 2014) correspond à un siège d'écoulement transitant par les alluvions plus ou moins cimentées et les conglomérats des chanaux aquifères, elle est libre dans sa quasi-totalité, son alimentation est directe par les eaux de précipitations, donc en saison pluvieuse, les pluies chargées en polluants peuvent atteindre facilement la nappe.

La profondeur de la nappe alluviale plio-quaternaire au niveau du site de CET de Sidi Bel Abbas est très faible, entre 2 à 6 m (figure 30). La perméabilité des formations géologiques et la faible profondeur de la nappe favorisent la contamination des eaux souterraines par les lixiviats très toxiques drainés et rejetés en milieu naturel sans traitement efficace.

Figure 30. Profondeur de la nappe au niveau du CET de Sidi Bel Abbas en 2011



1.1.3. Le CET de Tlemcen : pollution organique de la nappe des grès Tortoniens

L'étude géologique de BOUANANI (2004) permet de décrire la formation lithologique du site du CET de Tlemcen, ce dernier est installé au niveau du sous-bassin d'Oued Sikkak, formé essentiellement par des formations perméables, toutefois, l'abondance relative des formations carbonatées karstiques représentées par les dolomies de Tlemcen et les alluvions plio-quaternaires lui donne un comportement hydrologique d'infiltration. La carte géologique à l'échelle 1/50 000 feuille de Tlemcen n°270 réalisée par DOUMERGUE (1962) et l'étude géologique de BOUANANI (2004) distingue que le CET est installé sur des formations d'âge miocène grès Tortoniens fissurées jaunes, peu consolidées atteignant 20 à 30 m d'épaisseur, s'appuyant sur les marnes serravalliennes, en grande partie couverts par les alluvions, d'une épaisseur de 30 m. Les grès sont des gains de sable cimentés entre eux, sont des roches détritiques formées par l'accumulation de débris de roches anciennes usées par l'érosion. Dans les matériaux consolidés, les roches les plus poreuses sont les grès. Ces derniers ont une perméabilité de l'ordre du Darcy de 10^{-3} à 10^{-6} cm/s (HAYANE, 1983).

Sur le plan structural, une coupe géologique schématique a été réalisée par CLAIR (1973) montre la présence d'une faille, qui a causé un contact entre les dolomies de Tlemcen et les grès tortonien.

Cette faille est la source d'alimentation de la nappe d'Hennaya, elle est proche de l'emplacement du CET de Tlemcen.

Figure 31. Log hydrogéologique de la plaine d'Hennaya (HAYANE, 1983)

Formation	Epaisseur	Lithologie	Description	Perméabilité
Quaternaire	??		croûte carapace calcaire, argile conglomérats	peu perméable
Tortonien	25m		Grès jaune	perméable
Serravalien	100m		Argiles marneuses avec intercalation de bancs de grès	perméable
Miocène. inf	100m		marnes grises à verdatres avec intercalation de bancs de grès	imperméable
Eocène	50m		Calcaire srmonte par une alternance de grès et de marnes	imperméable
Dolomie de tlemcen	300m		Dolomies cristallines grises à partine rousse dans les quelles on observe des laminies stromatolotiques	forte perméabilité de fissures
Cal de Zarife	25m		Calcaire bleus	
Grès de Bomedienne	500m		grès bruns en gros bancs séparés par des interlits argileux au sommet on trouve quelques passées marneuses et calcaires	faible ou nulle

Les horizons aquifères sont principalement constitués par les grès tortoniens, ces derniers situés à des dizaines de mètres de profondeur au Sud et disparaissent au Nord. Ils sont friables et fissurés et subhorizontaux (HAYANE, 1983). Une partie de cet aquifère est occupée par des grès friables, à la surface, l'horizon est libre et alimenté par des eaux de précipitation.

La carte de la profondeur de la nappe dans la plaine d'Hennaya établie par BEMMOUSSAT (2012), et les études d'HAYANE (1983), indique que la nappe d'eau est de faible profondeur (3 à 7 m) au niveau du site du CET de Tlemcen. Cet aquifère a une transmissivité variée entre 34 à 119 m²/j (BEMMOUSSAT, 2012).

Sur la base aussi de la carte piézométrique réalisée en 2011 par BEMMOUSSAT, le calcul du débit de cette nappe dans la partie Sud-est est effectué par la formule suivante :

$$Q = K \times i \times e$$

K : perméabilité moyenne 12.7 m/j

i : gradient hydraulique 0.031

e : épaisseur de la zone saturée 2.38 m

Donc, le calcul donne une valeur de $5.387 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{j}$, qui soit 62.32 l/s, ceci montre que le site du CET constitue une principale zone d'alimentation de la nappe des grès tortoniens. Dans ce cas, toute infiltration des lixiviats, suite aux fuites des drains et leurs rejets en milieu naturel, présente une grande menace de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines.

Pour voir la qualité des eaux souterraines et leurs taux de contamination, nous avons collecté des analyses physico-chimiques en octobre 2012, auprès de l'ANRH d'Oran. Ces analyses ont été effectuées sur des échantillons des puits localisés au niveau de l'emplacement du CET de Tlemcen, deux ans après leur exploitation.

Les résultats ont donné un PH varie entre 7.18 à 7.26, se sont des eaux alcalines. La conductivité hydraulique varie entre 1600 à 2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, traduisent la forte minéralisation et la salinité des eaux souterraines. Tous les échantillons analysés ont des valeurs en chlorure supérieures aux normes de potabilité, fixées à 25 mg/l, les teneurs de chlorure dans ces eaux varient entre 150 à 300 mg/l. La dureté est la quantité des calciums et magnésiums dans l'eau, la dureté des eaux de la nappe des grès tortoniens varie entre 510 à 600 mg/l, qui montre une dureté dépasse les normes d'utilisation. Toutes les formes d'azote (azote organique, nitrite) peuvent être à l'origine de nitrate par les processus d'oxydation biologiques, ont des concentrations élevées, ceci constitue un bon indicateur d'une pollution azotée des eaux souterraines d'origine infiltration des lixiviats et la pollution agricole par l'utilisation des engrais. Les teneurs de nitrates dans les eaux de la nappe des grès tortoniens sont comprises entre 91 à 100 mg/l, dépassant largement les normes.

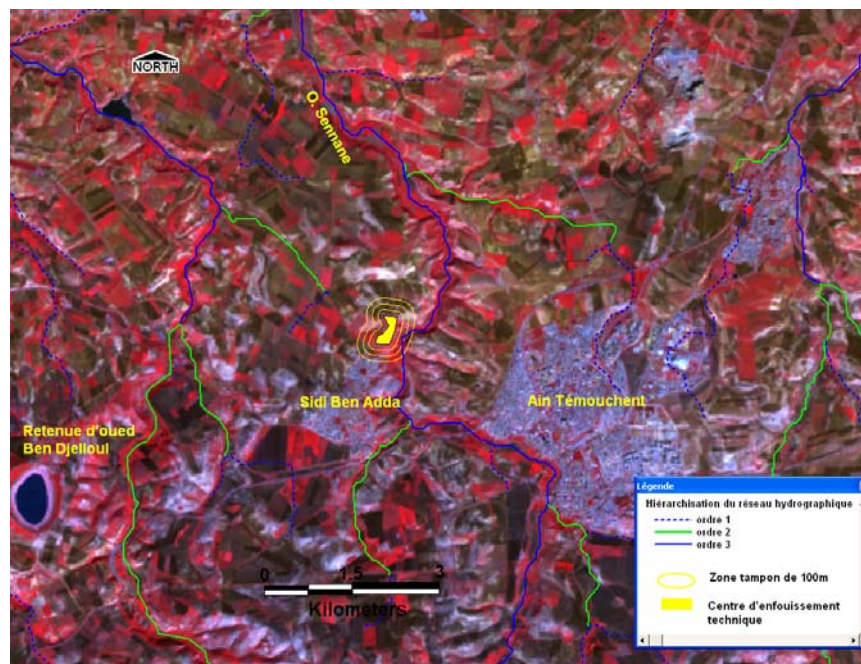
Afin de voir l'impact du CET sur la qualité microbiologique des eaux de la nappe du grès tortoniens, nous avons pris des analyses microbiologiques des échantillons analysés en 2012, par le laboratoire vétérinaire régional de Tlemcen, sur 16 échantillons réparties sur la plaine d'Hennaya et au niveau du CET. Ces analyses indiquent la présence des bactéries coliformes d'origine fécale (type : E Coli), ces bactéries témoignant une pollution fécale récente qui peuvent causer des maladies graves, c'est un bon indicateur de la pollution microbiologique des eaux souterraines. Les normes algériennes de la qualité des eaux souterraines exigent que l'eau destinée à l'alimentation et à l'irrigation ne doit pas contenir des traces de bactéries « E Coli », la présence de ce dernier traduit la pollution causée par l'installation du CET sur des terrains perméables, avec une faible profondeur de la nappe. Les eaux souterraines dans la zone de la plaine d'Hennaya sont impropres à la consommation humaine, et même à l'irrigation due aux taux élevés de nitrate et l'existence des bactéries.

1.2. Danger de pollution des eaux de surface des bassins Sikkak, Mekerra et El Maleh : rejets des lixiviats des centres d'enfouissements techniques

Les eaux de surface des bassins Sikkak, Mekerra et El Maleh sont très exposés aux risques de pollution par les rejets des lixiviats produits par les CET de la zone d'étude, ces rejets sont traités par des stations de lagunage, afin d'éliminer la charge polluante. Malgré ce traitement, les valeurs de la DBO5, la DCO et la matière organique restent élevées. C'est un traitement insuffisant pour une charge polluante toxique des lixiviats. Ces derniers sont récupérés à l'aide des drains vers des bassins de décantation et évacués finalement en oueds limitrophes, met les cous d'eau en danger de pollution.

À titre d'exemple, le centre d'enfouissement technique d'Ain Témouchent est situé à une distance de 200 m de l'oued Sennane, un affluent du bassin-versant d'oued El Maleh. Les lixiviats récupérés du CET sont évacués vers cet oued. Ces eaux de ruissellement sont très polluantes, on retrouve des sacs plastiques, des ordures brûlées, des bactéries, des matières toxiques, ruisselées vers oued Sennane. L'écoulement entraînera des matières toxiques permet la contamination des ressources hydriques.

Carte 40. Distance du CET par rapport au cours d'eau d'oued Sennane

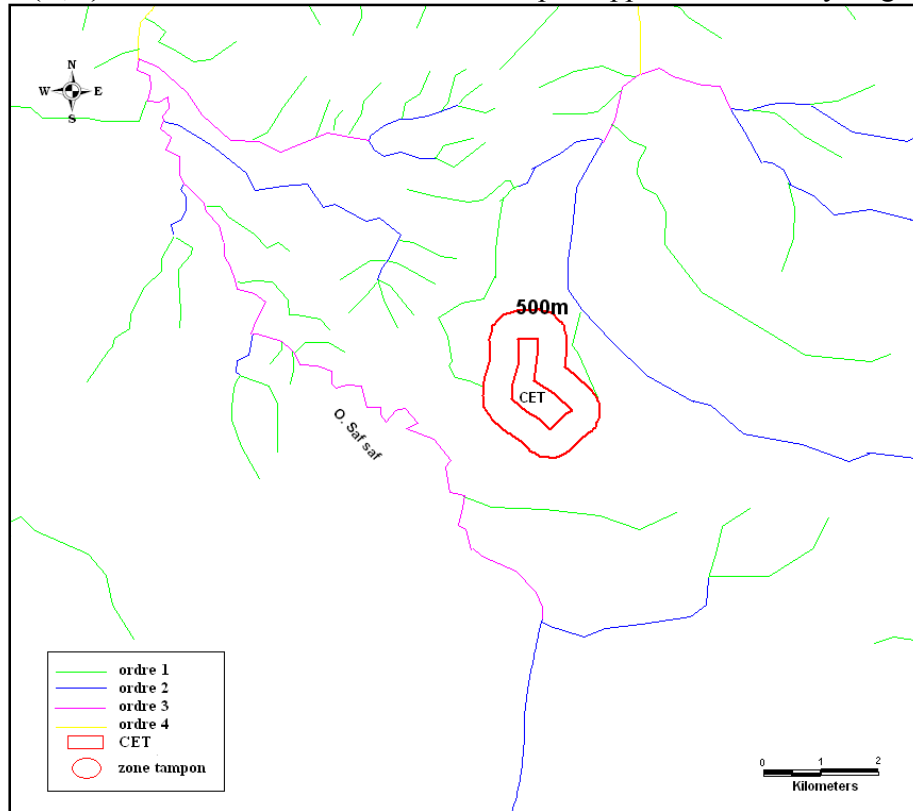


Source : image satellitale Landsat, 2016

Donnant aussi l'exemple du CET de Tlemcen, ce dernier se trouve au niveau du versant oriental du Dj. El Hadid, relie à sa base, de manière directe, un cours d'eau de l'oued Guettarra (carte 41 A, B) qui atteint à l'aval oued Amieur. Les eaux collectées par l'oued Guettarra débouchent dans une retenue d'un ouvrage de mobilisation hydraulique. Les lixiviats du CET de Tlemcen sont collectés au niveau des trois bassins de décantation, sont traités par une station de lagunage et sont évacués

enfin vers oued Guetarra, l'écoulement de ces eaux polluées présente un grand risque de pollution des eaux de surface d'oued Sikkak et par suite les eaux du barrage de Sikkak.

Carte 41(A,B). Localisation du CET de Tlemcen par rapport au réseau hydrographique.



A. Réseau hydrographique hiérarchisé



B. Cours d'eau limitrophes du CET de Tlemcen

Enfin, le CET de Sidi Bel Abbas, après la collecte des lixiviats dans les trois bassins de décantation, sont évacuées vers oued El Maleh, un effluent d'oued Mekerra, sans un traitement efficace, l'écoulement de ces rejets polluants atteint oued Mekerra, pollue les eaux traitées par la station d'épuration de Sidi Bel Abbas et contamine ensuite les eaux du barrage de Cheurfa.

2. L'exploitation anarchique de l'ancienne décharge d'El Kerma après fermeture

2.1. Menace écologique importante pour la sebkha d'Oran

L'Algérie compte treize (13) zones humides d'importance mondiale, depuis son adhésion le 11 décembre 1982 à la convention relative aux zones humides d'importances internationales particulièrement comme habitats de la sauvagine, adoptée le 02 février 1971 Ramsar (IRAN), ces sites occupent une superficie de 1.8 millions d'hectares. Deux sites inscrits en 1983 les lacs Tonga et Oubeira ; un site inscrit en 1994 le lac des oiseaux. 10 sites inscrits en 2001, le Chott Chergui, le Chott El Hodna, la vallée d'Iherir, Gueltate d'Issakarassen, le Chott Mérouane, l'Oued Khrouf, Les Marais de la Macta, l'Oasis Ouled Saïd, **la grande sebkha d'Oran**, l'Oasis de Tamentit et Sid Ahmed Timmi. La démonstration de l'intérêt écologique, économique et sociologique de la conservation des zones humides conduit, maintenant, à leur conférer un statut d'infrastructure naturelle, pour tenter de faire reconnaître le double bénéfique fonctionnel et patrimonial qu'elles nous fournissent.

La wilaya d'Oran compte huit zones humides dont quatre classées Ramsar, la Sebkha (56 870 ha), la Macta s'étendant sur les territoires des wilayas d'Oran, de Mascara et de Mostaganem, (19 000 ha), lac Télamine (1 100 ha) et les Salines d'Arzew (290 ha) et quatre autres Dhayat Oum Ghellaz (300 ha), Dhayat Bagra (200 ha), Dhayat Morsli (150 ha) et Dhayet Sidi Chahmi (10 ha), qui font l'objet d'un intérêt en vue de leur classement Ramsar. Parmi ces zones humides, la grande sebkha d'Oran, reconnue en tant que site RAMSAR depuis le 2 février 2001, c'est un lac situé à 15 km au Sud d'Oran dans la commune de Messerghine, d'une distance de 12 km de la mer. Présente une dépression fermée, limitée au Nord par le massif du Murdjajo, au Sud par le massif de Tessala. La sebkha occupe le fond de cette dépression, présente une topographie apparemment plane, mais légèrement inclinée vers l'Ouest, avec un point bas à 80 m d'altitude et un point haut à 82 m, de forme elliptique, sa longueur est de 40 km d'orientation approximative Sud-ouest/Nord-est, sa largeur est de 1 à 13 km, couvre une superficie de 56 870 ha, considérée comme le plus grand lac salé dans la région Nord-ouest de l'Algérie, alimentée par un réseau hydrographique afflué principalement des massifs du Tessala et du Murdjajo. L'eau de cette zone est salée, le lac forme une pellicule d'eau de 10 à 30 cm variant suivant la pluviométrie, il s'assèche complètement durant la saison d'été suite à une très forte évaporation et à la sécheresse qui frappe la région.

La sebkha constitue un site de repeuplement des oiseaux qui les utilisent pour faire leurs nids et comme espaces de repos dans leur migration saisonnière, du Nord au Sud à la recherche des conditions adéquates (chaleur et nourriture). La conservation des forêts recense entre 70 000 et 180 000 d'oiseaux d'eau par an. Le nombre total des espèces de volatiles qui atterrissent dans cette zone humide varie entre 43 et 45 espèces et peut atteindre jusqu'à 57 espèces d'oiseaux, dont des

flamants roses et diverses variétés de canards. Donc, elle est dotée d'un rôle multifonctionnel où l'intérêt écologique, économique et sociologique n'est plus à mettre en évidence. N'ayant été jusqu'à l'heure actuelle valorisée en tant que site écologique, ni protégée contre les nuisances qui affectent son environnement immédiat. Elle a été, au contraire, utilisée comme aire de décharge des déchets solides des agglomérations localisées sur le pourtour du lac, notamment la décharge d'El Kerma. Cette pollution d'origine anthropique est sans doute la principale source conduisant à des changements dans les communautés végétales et animales de la sebkha d'Oran. C'est un lieu de déversements des eaux usées et de prolifération de décharges sauvages d'ordures ménagères, déchets industriels, des gravats de matériaux de construction, des déchets avicoles, le détrit des usines limitrophes situées dans la zone industrielle d'Es Senia.

2.2. Décharge au milieu des terrains agricoles d'El Kerma : risques de dégradation qualitative et quantitative

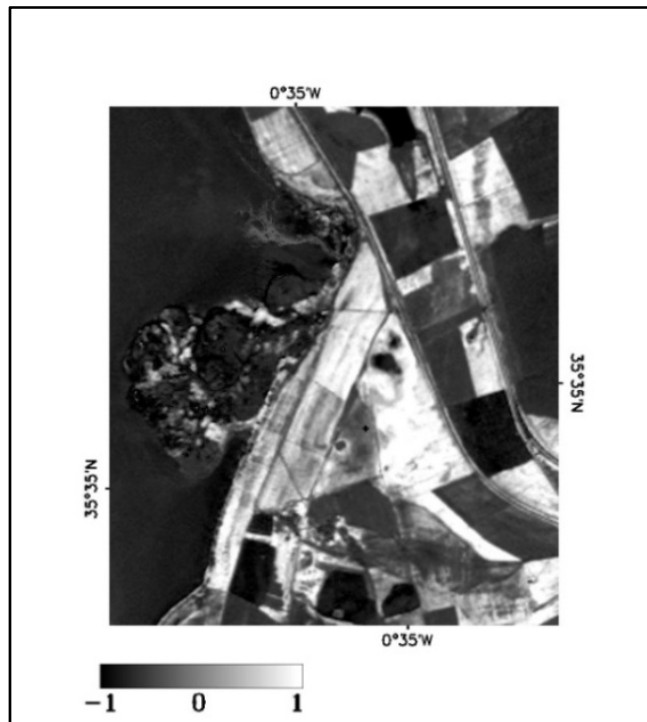
Pour l'emplacement optimal d'une décharge, il est essentiel de prendre en considération l'occupation des sols, afin d'éviter la dégradation du patrimoine agricole. Pour voir l'adéquation de la décharge publique d'El Kerma en terme de protection des terrains agricoles, nous avons réalisé une carte de l'occupation du sol par la méthode de classification supervisée de l'image Landsat 8 prise en mars 2014 et l'image satellitaire du capteur SPOT 5 prise en décembre 2004, d'une résolution spatiale de 2.5 m (figure 32). Nous avons appliqué l'indice de végétation normalisée (NDVI) sur ces images, afin de détecter l'importance de l'activité chlorophyllienne dans la zone et la densité de la biomasse végétale. Les résultats de ces cartes permettent de décrire que le site de la décharge publique d'El Kerma est occupé par des cultures annuelles (céréaliculture). Cet emplacement est en milieu de patrimoine agricole, favorise une forte dégradation des terrains agricoles d'une part et une réduction des rendements agricoles d'autre part.

Figure 32. Vue satellitaire de la décharge publique d'El Kerma et son environnement



Source : Image SPOT5, décembre 2004

Figure 33. NDVI de l'image SPOT (site de la décharge d'El Kerma)



L'indice de végétation normalisée (NDVI) consiste à soustraire au canal infrarouge (où la couverture végétale a de fortes réflectances) le canal rouge (où les surfaces minéralisées ont de fortes réflectances). Le néo canal résultant présente un gradient croissant de la biomasse végétale, allant du noir signifiant ainsi l'absence de couverture, au blanc qui rend compte et présente d'une activité chlorophyllienne très élevée. Le résultat d'un NDVI prend la forme d'une nouvelle image, la valeur de chaque pixel étant comprise entre -1 (sol nu) et 1 (couvert végétal maximal). L'image finale de l'NDVI traduit une forte activité chlorophyllienne des terrains agricoles limitrophes de la décharge publique.

L'image finale de l'NDVI traduit une forte activité chlorophyllienne des terrains agricoles limitrophes de la décharge publique. Le terrain agricole est une ressource très faiblement renouvelable, au sens où sa dégradation peut être rapide (quelques années ou décennies), alors qu'il lui faut plusieurs milliers d'années pour se former et se régénérer. Les diverses activités humaines notamment les rejets des déchets au niveau d'une zone agricole ont appauvri les sols en matières organiques, en éléments minéraux, les ont transformés et pollués. La baisse de la qualité des sols peut donc induire une baisse des rendements des récoltes et de leur qualité nutritive, dus essentiellement aux rejets de polluants organiques provient de déchets ménagers et de métaux par les déchets industriels, anciens ou actuels dans la décharge d'El Kerma.

2.3. Nuisance pour la santé des populations d'El Kerma dues au biogaz

La préservation de l'esthétique de la ville ainsi que la protection de la santé publique présentent l'un des thèmes importants à prendre en compte pour l'implantation d'une décharge. La distance

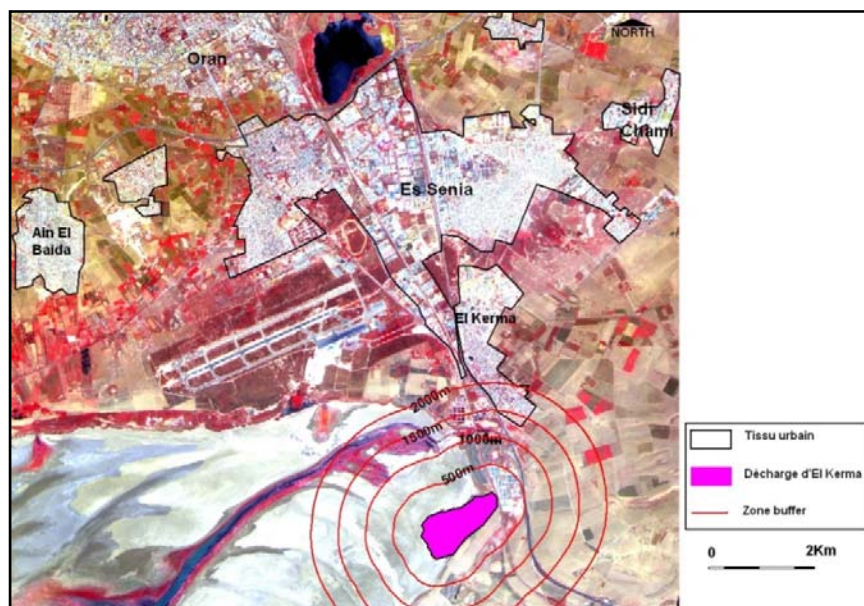
de l'éloignement d'une agglomération par rapport à une décharge est fixée à plus de 2 km. La décharge publique d'El Kerma est située à une distance de 1.7 km de l'agglomération d'El Kerma (carte 42), cette situation pose d'énormes impacts sur la santé humaine.

Les odeurs émises par la décharge sont les préoccupations majeures des riverains et figurent parmi les gênes notoires relevées par les habitants. Le déversement des déchets, les alvéoles en exploitation, les biogaz non captés sont autant de sources potentielles de nuisances olfactives sur le site et à son voisinage, notamment l'agglomération d'El Kerma. Ces nuisances olfactives ont une importance considérable dans la perception des risques sanitaires liés à la situation de se "sentir exposé", avec comme possibles répercussions des troubles identiques à ceux observés chez des personnes en situation de stress, à savoir des troubles psychiques (dépression, agressivité...) et somatiques (gorge sèche, immunodépression, nausées...) (ASTEE, 2005).

Les citoyens qui vivent près de cette décharge, dans une atmosphère fortement polluée, souffrent de plusieurs maladies respiratoires, et diverses pathologies pulmonaires et gastriques, les allergies, troubles respiratoires et asthme. La décharge cause de 75% de maladies respiratoires à El Kerma avant la fermeture, elle cause toujours des maladies suite au biogaz d'origine de la décomposition des déchets organiques provient de marché de gros des légumes et fruits.

Les déchets déposés sans protection contiennent une partie organique pouvant servir de nourriture aux animaux et peuvent ainsi être à l'origine de la prolifération de rongeurs, d'insectes et d'oiseaux aux alentours de la décharge. Les animaux peuvent être vecteurs d'agents pathogènes à l'origine de maladies humaines. Par ailleurs, la décharge présente des nuisances psychologiques, car elle est l'origine de bruits et est considérée comme répugnants (rongeurs, mouches...). Tous ces aspects mettent la santé des populations de l'agglomération d'El Kerma en danger.

Carte 42. Eloignement de la décharge d'El Kerma par rapport au tissu urbain en 2013



Source : image satellitale Alsat 2, 2013

3. Danger généré par l'exploitation du centre d'enfouissement technique d'Ain Témouchent : proximité d'une agglomération

Le centre d'enfouissement technique de Sidi Ben Adda est une source potentielle et avérée de pollutions des sols, des nappes d'eau et de l'air. Ce centre est situé à environ à 300 m du tissu urbain de Sidi Ben Adda et à 2 km de la ville d'Ain Témouchent. Ce CET est situé dans un couloir des vents de l'Ouest, localisé à l'Ouest de l'agglomération de Sidi Ben Adda, au niveau de la direction des vents permanents, ceci présente un sérieux problème pour la santé.

La norme d'implantation d'un CET par rapport à une agglomération rurale ou urbaine est fixée à de 2 km (LOX et al., 1999). Sur cette base, nous avons délimité les différentes agglomérations d'Ain Témouchent, nous avons établi des zones buffers de 500 m et 1 000 m du CET. L'interprétation de ces résultats montre que la distance du CET par rapport aux agglomérations est moins de 500 m, c'est une situation défavorable, si la situation est entre 500 m à 1 000 m elle est moyenne favorable et plus de 2 000 m, présente une situation favorable.

Pour voir l'aspect du danger réel de l'approche de l'habitation Sidi Ben Adda au centre d'enfouissement technique d'Ain Témouchent, il est nécessaire de réaliser une étude principalement du type épidémiologique ont eu pour objet de mettre en évidence les effets sanitaires en relation avec l'activité de stockage des déchets ou avec la proximité de sites de stockage. Pour l'élaboration de cette étude, qui porte sur la connaissance de l'exposition des populations ou bien une évaluation quantitative du risque sanitaire, il nous faut des données épidémiologiques exactes, ceci est difficile, malheureusement, nous n'avons pas pu collecter ces données, suite aux problèmes administratifs.

Théoriquement, nous pouvons citer les maladies dues à une intoxication aiguë par le biogaz qui sont les brûlures des yeux, les irritations de la gorge, dyspnée, vertiges et nausées. Cependant, tous les acteurs s'accordent à dire qu'un environnement malsain favorise le développement de plusieurs maladies. La fumée des ordures brûlées, et même les biogazs sont très néfastes pour la santé, lorsque le gaz de cette fumée rentre en contact avec les yeux, il s'humidifie et devient comme de l'acide dans l'organisme, cet état de fait peut provoquer chez les individus, des maladies respiratoires, telles que l'asthme, la rhinopharyngite (la voie respiratoire qui quitte le nez vers les poumons peut s'enfler sous l'effet du gaz toxique, un effet qui joue directement sur le cerveau humain) (KINDA, 2012).

Selon l'OMS « *de tous les insectes qui transmettent des maladies, le moustique est le plus dangereux* », il est à l'origine de la transmission du paludisme, la dengue, la fièvre jaune qui ensemble sont responsables de plusieurs millions de décès, le CET de Sidi Ben Adda provoque l'accumulation des moustiques. En effet, les déchets enlaidissent le cadre de vie au grand bonheur d'insectes nuisibles, ceux-ci contaminent les hommes par consommation directe et où en se posant par exemple sur les matières fécales puis transmettent les agents infectieux en se posant sur les produits alimentaires. Ainsi, les hommes contractent des maladies débilitantes et mortelles comme la fièvre typhoïde, la dysenterie, et le choléra (KINDA, 2012).

Carte 43. Distance du CET par rapport aux agglomérations en 2014



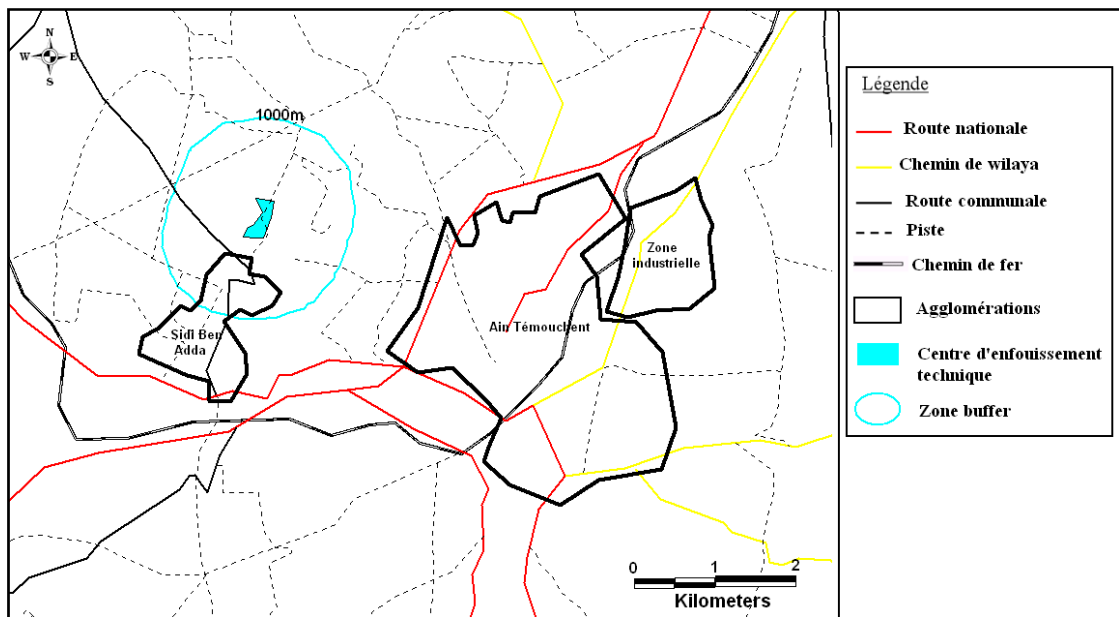
Source : image satellitale Landsat, 2014

Les citoyens de la commune de Sidi Ben Adda (Aïn Témouchent) se plaignent, quotidiennement, des odeurs nauséabondes qui se dégagent du centre d'enfouissement technique(CET), implanté à peine à 500 m du tissu urbain. À peine quelques années de sa mise en exploitation, les premières conséquences néfastes apparaissent. La pollution de l'air et la dégradation du cadre de vie. Plusieurs habitants menacent de déménager si une solution n'advient pas dans les plus brefs délais.

En effet, des odeurs nauséabondes sont devenues insupportables. Les habitants ont manifesté leur colère plusieurs fois aux responsables concernés et par le biais de la presse, mais sans aucune suite positive. Ces citoyens ont crié en 2010 une association écologique nommée « El Khadra » pour lancer leurs inquiétudes des désagréments que cause le CET, l'association vise à travers ses objectifs la sensibilisation de la population à l'environnement et la protection du patrimoine, depuis sa création, elle n'a cessé d'organiser des journées de volontariat de nettoyage à travers les artères principales de l'agglomération, d'établir des manifestations contre l'exploitation du centre d'enfouissement technique et lancer des appels pour une solution urgente.

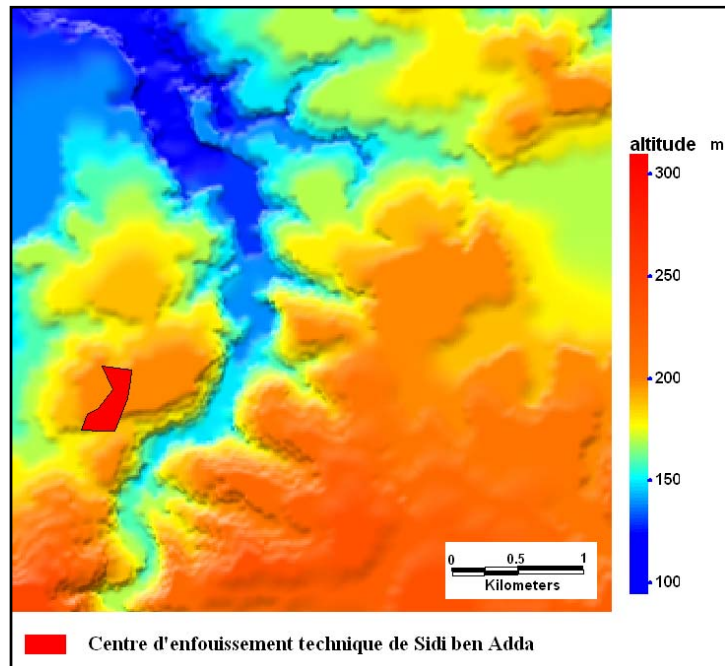
L'implantation d'un CET nécessite qui soit proche d'un réseau routier, afin de faciliter l'accessibilité et réduire le coût du transport, l'emplacement idéal d'un CET est d'une distance de moins de 2 km par rapport à une route. Sur cette base, nous avons élaboré une carte de réseau routier de la zone d'Ain Témouchent, ainsi qu'une zone buffer de 1 km autour du CET. L'analyse de cette carte montre que ce dernier est situé à distance de 300 m du chemin de wilaya n° 59A, c'est une situation très favorable vis-à-vis accessibilité au réseau routier, il ne présente pas du danger de passage des engins pour les citoyens de Sidi Ben Adda, avec une obligation de passage de ces engins par la route de Terga. Par contre, si ces engins passent par la route de la ville de Sidi Ben Adda, il présente une nuisance sonore pour la population.

Carte 44. Distance du CET par rapport au réseau routier



Le site d'un CET doit être conçu de façon dont son emplacement ne soit pas exposé à des risques de glissement de terrain, d'érosion ou à des risques de crue (BASAGAOLGUMM et al., 1997). Nous constatons, à l'aide d'une carte des pentes réalisée par les traitements d'un modèle numérique de terrain Aster DEM (figure 34), que la nature morphologique du site du centre d'enfouissement technique de Sidi Ben Adda présente une pente faible, il ne présente aucun danger de glissement de terrain, et même ca facilite les travaux de déchargement des déchets.

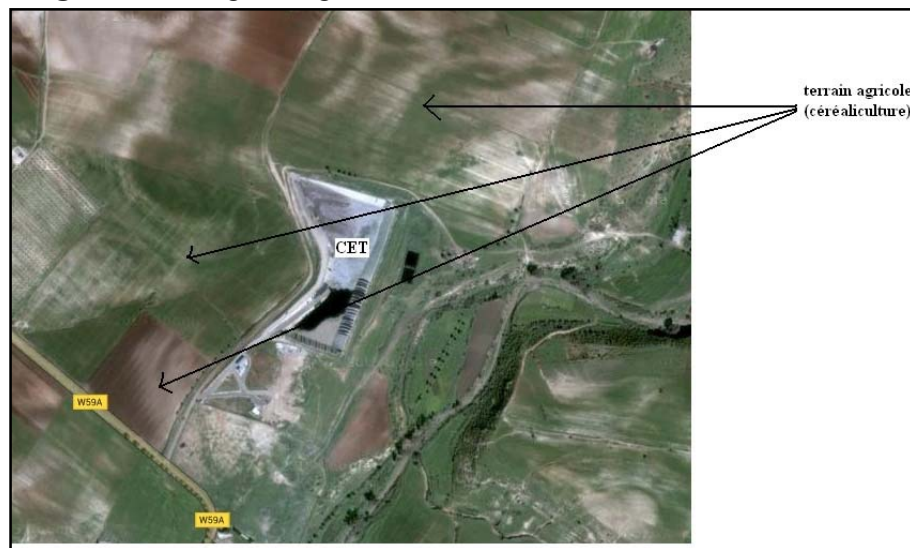
Figure 34. MNT en 3D du site du centre d'enfouissement technique



Source : MNT Aster, 2002

Les lixiviats qui se dégagent du centre d'enfouissement technique pour longer un ravin d'oued Sennane traversant des terres agricoles, avant de se déverser dans la rivière présente un fort risque de pollution des terrains. Les biogaz produits par le CET s'accumulent dans l'air et se précipitent avec les pluies et conduits, par conséquent, à une forte menace de dégradation des sols cultivés, notamment que l'environnement du CET est occupé par des terrains agricoles de céréalicultures et de maraîchères, selon la carte de l'occupation du sol réalisée à partir de la classification de l'image satellitaire en 2014. L'agriculture et la filière agroalimentaire constituent les principales activités économiques de la zone. Implanter un CET revient à tuer les exploitations agricoles et les emplois.

Figure 35. Image Google Earth en 2016 de l'environnement du CET



4. Centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbas : risque environnemental majeur

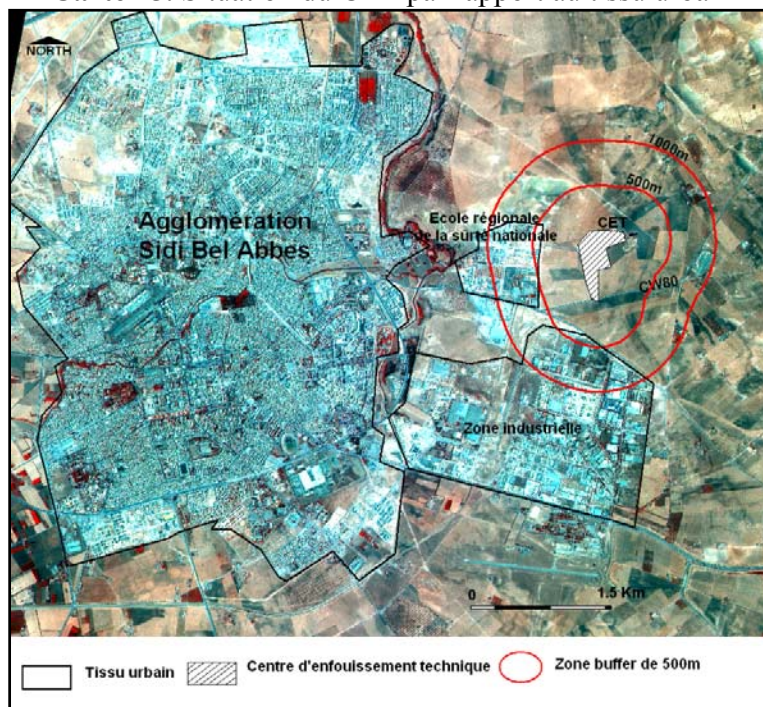
Aujourd'hui, la production de déchets est importante dont leurs éliminations présentent un problème économique et écologique. Au niveau de Sidi Bel Abbas, la production de déchets ne cesse d'augmenter, tandis que les coûts de ramassage et de prise en charge ont multiplié, afin d'adapter ces techniques aux normes environnementales et sanitaires. Avec l'exploitation du nouveau centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbas, le problème d'élimination des déchets sera réglé, mais malheureusement, son site est mal choisi, il représente d'énormes risques sanitaires, suite à leur emplacement en plein milieu urbain. Le CET émet et produit de grandes proportions de biogaz. Ces derniers augmentent gravement le risque des maladies respiratoires. Les personnes habitantes à proximité d'un centre de stockage de déchets subissent des multiformes d'effets comme la gêne immédiate due aux nuisances olfactives, la pollution mécanique due aux déchets emportés par les vents (ex : sacs en plastique), les nuages de poussière soulevés par l'activité de la zone, la pollution sonore liée au trafic des camions, bruits de déchargement, signaux de chantiers divers. Ce qui présente un impact psychologique très remarqué chez les riverains, perturberait, d'une manière très significative, leur cadre de vie et serait la cause d'une forte dévaluation de leurs biens immobiliers.

À long terme, l'exposition continue au mélange des gaz toxiques et/ou cancérigènes issus de la fermentation anaérobie des composés organiques comme autres le sulfure d'hydrogène, le benzène, le toluène, ou les composés chlorés (chlorure de vinyle, chloroéthylène, dichlorométhane...) pourraient avoir des conséquences graves sur leur santé. Des études Européennes et Américaines ont rapporté l'augmentation significative de certains symptômes chez les riverains de décharges d'ordures ménagères sur un rayon de 5 à 10 km (maux de tête, nausées, irritation et infection des yeux, toux, asthmes, allergies, maladies de peau, affections respiratoires et digestives).

Par ailleurs, la prolifération d'animaux errants (oiseaux, rats, chiens, chats, insectes) est vectrice de maladies et de parasites à proximité du centre pourrait accentuer le risque sanitaire. À cet effet, il est impératif d'identifier les zones situées à une distance respectable des habitations, en prenant également en compte la direction des vents dominants pour épargner les principales agglomérations, lors du choix d'un site destiné à une telle activité.

Le centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbas est d'une distance de 400 m par rapport l'école régionale de la sûreté nationale (police) et d'une cité de logements sociaux en cours de réalisation et à la zone industrielle (carte 45). Donc il présente des grands impacts sanitaires et des maladies respiratoires et pathogènes sur la population riveraine. Suite à ces conséquences, les citoyens de l'agglomération de Sidi Bel Abbas ont crié une association écologique « El Hayat » qui a comme objectif de protéger l'environnement et les populations contre les effets nuisibles du CET. Cette association s'implique dans une multitude de projets environnementaux de nature différente, elle essaye de limiter les impacts des pollutions engendrées par l'homme.

Carte 45. Situation du CET par rapport au tissu urbain

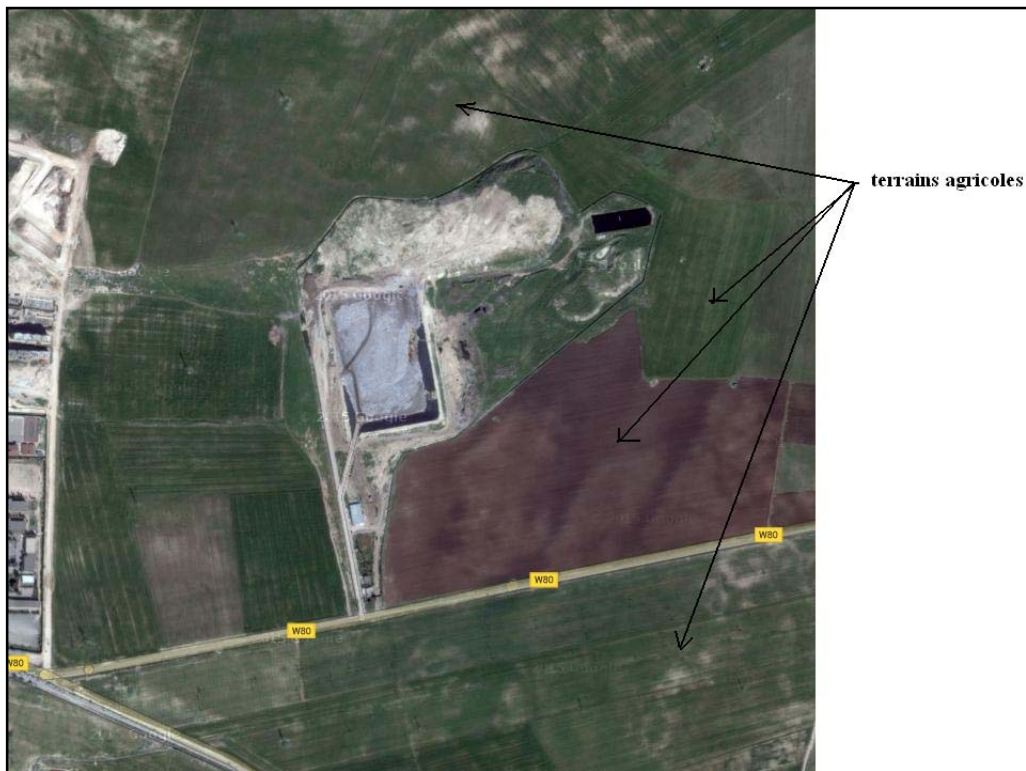


Source : image Alsat 2, 2016

Le CET présente un risque potentiel pour le patrimoine agricole, car il est entouré par des terrains à hautes valeurs, mettant en danger la qualité des sols et le rendement agricole. Une étude a été réalisée en 2013 par l'Université de Sidi Bel Abbas au niveau du département des sciences de l'environnement sur les caractères physico-chimiques des sols de la plaine de Sidi Bel Abbas (KHEDIM et BOUCHIKHI 2013), plusieurs échantillons ont été analysés le 14 avril 2012, au niveau du laboratoire de pédologie, parmi eux un échantillon au niveau du sol du CET.

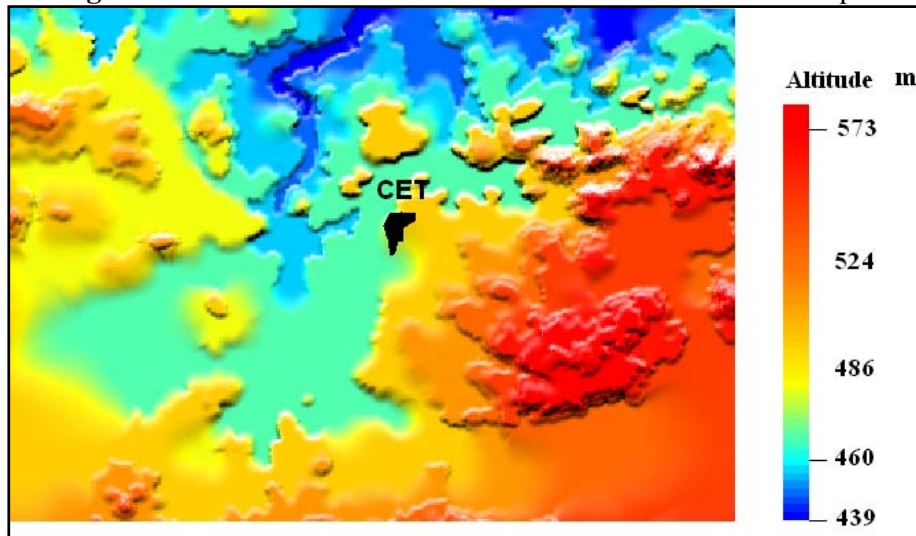
Les analyses de l'échantillon pris au niveau du CET montrent que la nature de sol est du type brun calcaire, présente une texture équilibrée, 9.8 % d'argile, 24.33 % de limon et 65.87% de sable, c'est une texture limono-sableuse. Il présente un taux de calcaire total de 34.61%, c'est un sol moyennement calcaire. Il présente un taux de matière organique de 2.75%, c'est un sol riche en matière organique de haute valeur agricole. Ces terrains sont très perméables et fournissent les meilleurs terrains agricoles, l'installation d'un centre d'enfouissement de déchets au niveau de ces terrains présente un vrai danger pour l'agriculture. La carte de l'occupation des sols montre que ces terrains sont occupés par la céréaliculture.

Figure 36. Occupation du sol de site du centre d'enfouissement technique (Google Earth 2016)



Du point de vue morphologie du site du CET, la pente est de 3% (figure 37), c'est un avantage, par contre en face à l'existence des terrains perméables le risque est important vis-à-vis les terrains agricoles et la nappe phréatique, suite aux fuites des lixiviats drainés et le rejet de ces derniers vers le milieu naturel sans traitement efficace.

Figure 37. MNT de la zone du Centre d'enfouissement technique

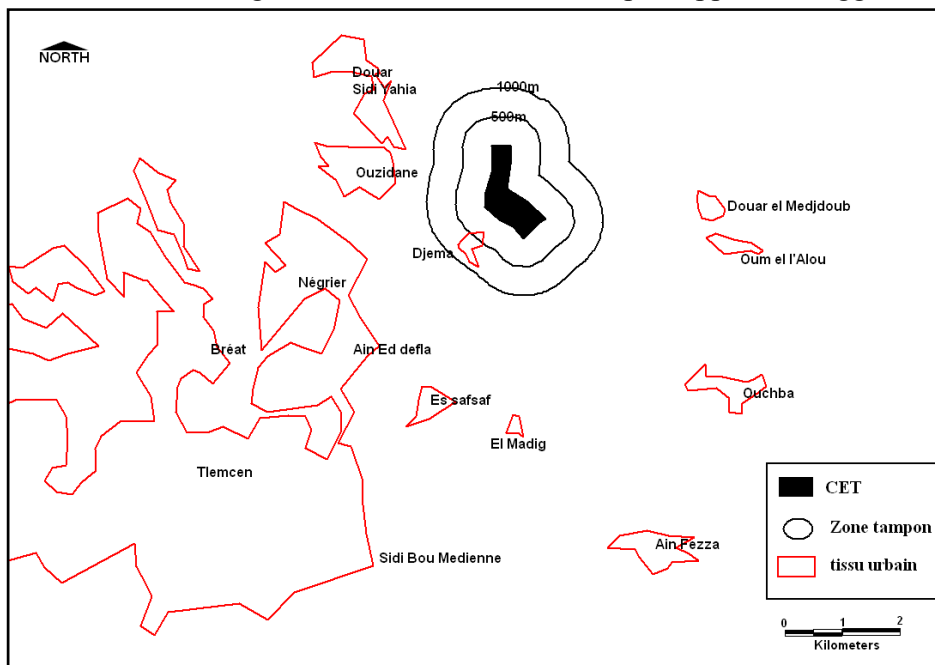


Source : MNT Aster, 2002

5. Le centre d'enfouissement technique de Tlemcen : un choix défavorable pour le stockage des déchets

Implanté à Saf Saf, à quelques encablures du chef-lieu de wilaya de Tlemcen, ce centre d'enfouissement technique est devenu un problème, car il menace la santé de la population et l'environnement, notamment, qu'il est situé à distance de 300 m d'agglomération rurale nommée Djama, de 2400 m de l'agglomération Négrier et de 2600 m de l'agglomération Ouzidane.

Carte 46. Carte de l'éloignement du CET de Tlemcen par rapport aux agglomérations



Source : image satellitale Landsat, 2014

Avec les vents dominants du Nord et Nord-ouest, ces agglomérations sont très touchées par les odeurs des déchets, par les biogazs et les bruits. Nous avons établi une enquête de terrain avec les citoyens limitrophes du CET, ils ont motionné que le CET n'a rien apporté à la population de Tlemcen, odeurs nauséabondes à longueur de la journée, fumée asphyxiante, envol des déchets à des kilomètres. Les populations ont déclaré qu'aucune enquête n'a été jusque-là diligentée par les pouvoirs publics pour vérifier les plaintes des citoyens. Les citoyens souffrent du bruit qui est une source de nuisance potentielle. Ces bruits sont associés aux opérations de déchargement, d'enfouissement et de tris, etc. qui peuvent être perçus jusqu'à 300 m du site.

Les problèmes liés aux mauvaises odeurs sont très fréquemment causes de plaintes de la part des riverains. Les substances responsables de mauvaises odeurs liées à la dégradation biologiques des déchets ménagers sont les composés organiques volatils non-métalliques (COVNM), les mercaptans, l'acétaldéhyde, l'acétone, les acides gras volatils, les amines et les composés chlorés.

Les substances émises par les installations d'enfouissement des déchets sont susceptibles d'atteindre l'homme à travers plusieurs voies d'exposition à savoir :

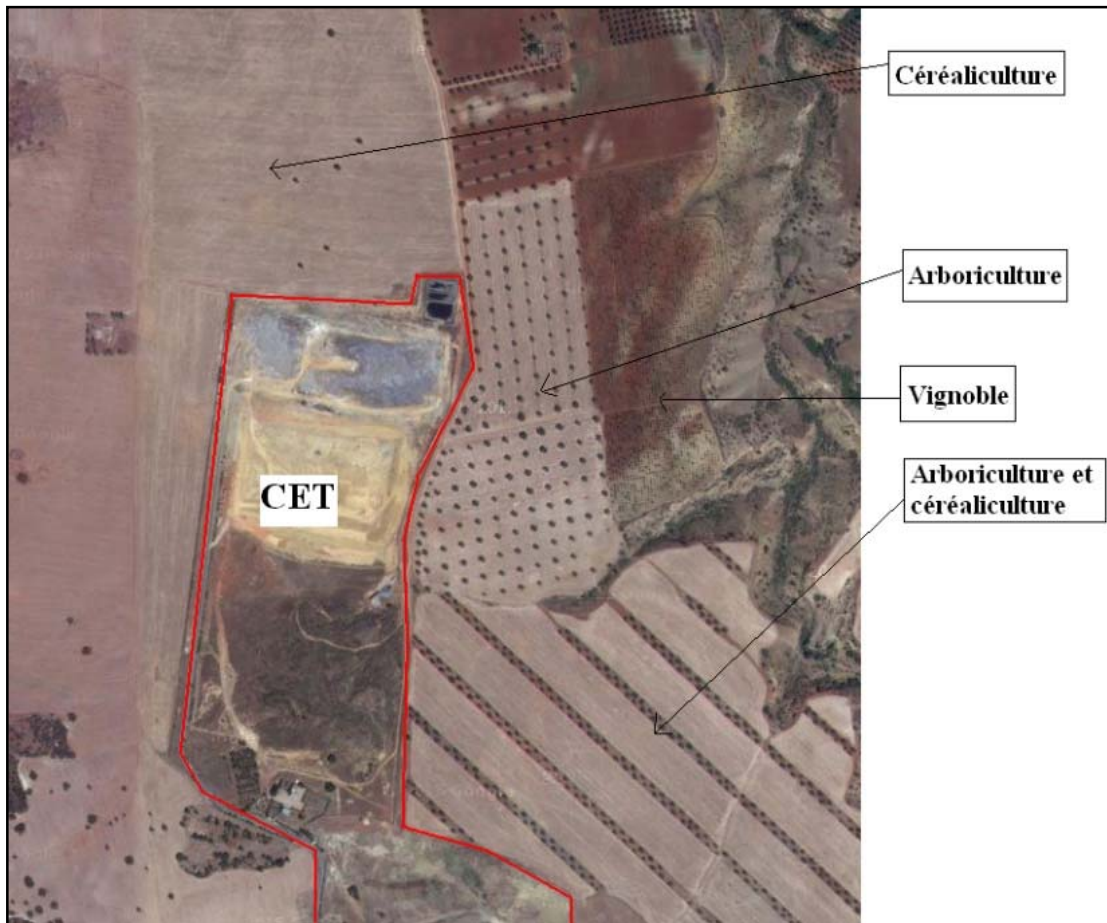
- de manière directe, via l'inhalation de gaz, particules ou bioaérosols émis dans l'atmosphère ou de particules déposées au sol remises en suspension ;
- de manière indirecte, via l'ingestion d'eau, d'aliments ou de sols contaminés par des rejets liquides ou des retombées atmosphériques.

L'installation d'enfouissement des déchets de Tlemcen est à l'origine des rejets atmosphériques non captés et liquides mal traités, facteurs d'impacts potentiels sur l'environnement et la santé. La toxicité de certaines substances est avérée et l'homme peut être exposé à ces polluants de multiples manières cités au-dessus. Les études épidémiologiques permettent d'observer, de surveiller ou d'analyser l'état sanitaire d'une population. Il est essentiel de respecter les conditions de validité et de puissance statistique d'une étude, et de prendre en compte l'ensemble des facteurs de confusion et d'interaction possibles. Elles nécessitent l'existence et l'accès à des données de santé (réseaux sentinelles, statistiques hospitalières, registres...). Ces études n'ont pas été réalisées par les services publics, pour voir, surveiller et contrôler l'impact du CET de Tlemcen.

En termes d'impacts sur les patrimoines agricoles, le CET présente des nuisances considérables sur les terrains agricoles, le site se localise dans les communes de Chetouanne et d'Amieur, ces derniers sont caractérisées par une importante vocation agricole. Selon la direction de l'agriculture de Tlemcen en 2013, la commune de Chetouanne comprend 557 ha des plantations d'arbres fruitiers, 190 ha de vignoble et 2131ha de culture herbacée. La commune d'Amieur est occupée aussi par 1 223 ha de culture d'arbre fruitier, 140 ha de vignoble et 9 132 ha de culture herbacée. Elles connaissent une activité agricole intense, qui nécessite une préservation notamment que se sont en majorité des terrains irrigués. L'implantation d'un CET dans tel territoire dégrade qualitativement et quantitativement les rendements agricoles, suite à la pollution des sols, l'irrigation par des eaux polluées, les retombées atmosphériques polluées.

Du point de vue pédologique, trois types de sol sont dégagés dans cette zone, les sols à sesquioxydes de fer, les sols calcimagnésiques carbonatés et les sols isohumiques marrons encroûtés. Le CET est implanté sur des sols isohumiques marron encroûtés, d'une bonne potentialité agricole et d'une perméabilité K de 1.1 à 9.9 cm/h (BEMMOUSSAT, 2012), entourées par des terrains occupés de céréaliculture au Nord et à l'Ouest, de l'arboriculture et le vignoble à l'Est et l'arboriculture au Sud (figure 38).

Figure 38. Occupation de l'environnement de CET de Tlemcen en 2017



Source : image Google Earth, 2017

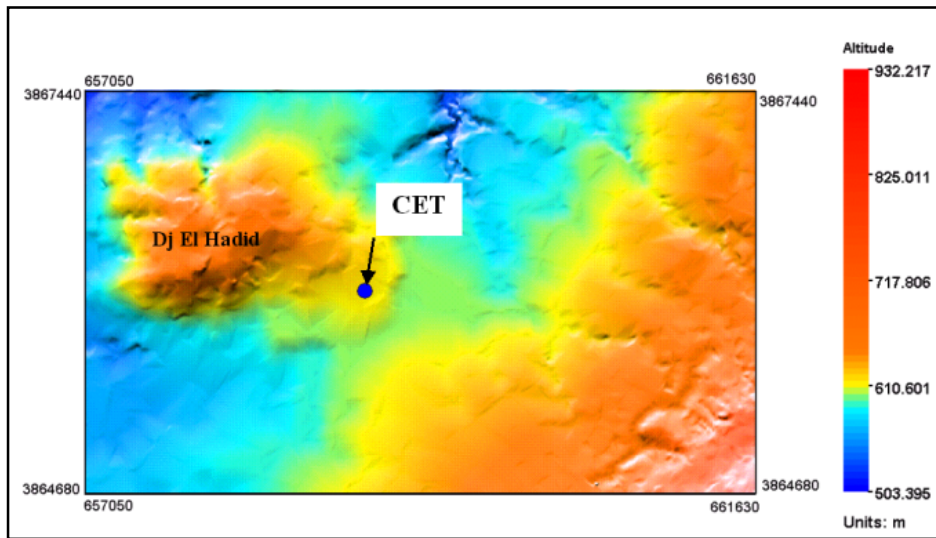
Morphologiquement, la pente du terrain du CET est faible (figure 39), mais dans notre cas, même si la pente est faible, le problème de pollution reste posé, suite à la perméabilité des sols et la faible profondeur de la nappe.

Pente faible + perméabilité

infiltration des lixiviats

pollution de la nappe et le sol

Figure 39. Modèle numérique de terrain du site de centre d'enfouissement technique de Tlemcen



Source : MNT Aster, 2002

VI. Application de la méthode d'évaluation de la décharge d'El Kerma et les centres d'enfouissements techniques : faisabilité environnementale

L'évaluation de la faisabilité environnementale d'une décharge ou d'un centre d'enfouissement technique permet de décrire le site de la décharge comme favorable ou défavorable pour leur exploitation. Dans notre étude, nous avons appliqué la méthode de classification de la favorabilité d'un site en 5 classes, selon les critères d'implantation d'une décharge, pour la décharge d'El Kerma et les CET de Tlemcen, Ain Témouchent et Sidi Bel Abbes. Nous avons basé, dans cette évaluation, sur les risques et les impacts des sites.

Au niveau de l'ancienne décharge publique d'El Kerma, nous remarquons que divers types de pollutions sont localisés au Nord du bassin-versant de la sebkha d'Oran, dans la plaine d'El Kerma et d'Es Senia provient essentiellement de cette décharge, où les rejets anarchiques des déchets solides constituent l'une des principales sources de dégradation de l'environnement. Ce site, préalablement est sauvage, devenu avec le temps une décharge publique, présente des impacts néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Il présente un risque pour la nappe alluviale d'El Kerma, exploitée pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation. L'existence de cette décharge dans un site de faible profondeur de la nappe d'eau et des terrains perméables contamine et dégrade la qualité physico-chimique des eaux souterraines. La décharge dégrade les terrains agricoles limitrophes occupés par la céréaliculture. C'est une menace pour la santé humaine, suite aux nuisances et les biogazs, elle est très proche de l'agglomération d'El Kerma,

Dans le but d'une analyse de la faisabilité environnementale du site de la décharge d'El Kerma, nous avons établi un tableau (tableau 20) comporte toutes les conditions d'implantation d'une décharge, établis en fonction du poids des critères. Les thèmes : eaux, conditions géologiques et géomorphologiques, agriculture et proximité des agglomérations présentent les poids les plus importants.

Tableau 20. Classification de la décharge d'El Kerma selon les critères d'emplacement d'une décharge

Sources de conflit	Site 1 site défavorable	Classe 2 site moins favorable	Classe 3 site moyenne favorable	Classe 4 site favorable	Classe 5 site très favorable
1- Eau					
-Eaux superficielles -Plan d'eau (Sebkha)	<100 m *	100 à 200 m	200 à 300 m	300 à 600 m	Aucune relation
Puits	50 m *	50 à 100 m	100 à 200 m	200 à 300 m	>600 m
2- Habitat et infrastructure					
Agglomération	0.5 à 2 Km *				2 Km
3- Tourisme	perturbation d'un site touristique		intégration partielle dans le paysage		Eloignement général du paysage *
4-Agriculture	Agriculture *		Parcours		Sol nu
5- Route principale	5 km	4 à 5 km	3 à 4 km	2 à 3 km	< 2 *
6- conditions géologiques					
Géologie	Alluvions du quaternaire perméable *		Substratum gréseux semi- perméable		Substratum argileux ou marneux imperméable
Faïlles	300 m *				>300 m
7. Hydrogéologie Profondeur de la nappe	0 – 10 m *	10 – 20 m	20 – 30 m	30- 40 m	+ 40 m
8-Morphologie	Surface perturbée		Surface régulière et en pente		Surface plane *
Pente	+ 5%		5 à 2 %		< 1 % *
Total des points	7	0	0	0	4

Source : traitement personnel, 2017

La classification de la décharge d'El Kerma, selon les critères d'implantation d'une décharge, montre que le site est défavorable pour son exploitation, car il présente sept points de classe défavorable par rapport aux quatre points de classe très favorables.

Nous avons mené une autre évaluation de la faisabilité environnementale du centre d'enfouissement technique d'Ain Témouchent. Ce CET est une nouvelle procédure d'élimination du déchet dans la wilaya, mais malheureusement, le choix du site n'est pas très favorable pour implanter un CET, il représente différentes contraintes pour l'environnement et l'homme. Le site présente des formations géologiques volcaniques reposées sur des formations marneuses argileuses perméables, l'existence de la nappe des roches volcaniques d'une faible profondeur (20 m) et une pente faible favorise l'infiltration des polluants. Le CET situé à distance de 200 m d'un cours d'eau d'oued Sennane, son environnement est occupé par la céréaliculture conduit à la dégradation des terrains agricoles. Il représente ainsi un fort impact sur la santé humaine, il est à distance de 300 m par rapport à la ville de Sidi Ben Adda. Suite à ces contraintes, nous avons établi un tableau d'évaluation du site de CET, porte tous les conditions d'implantation et porte les classes de favorabilité.

Le tableau 21 montre un nombre de quatre points de classe 1 (défavorable) face à quatre points de classe 5 (très favorable), ainsi que deux points pour la classe 2 et 3 (moins et moyenne favorable). Devant cette situation, il est nécessaire d'établir une analyse des poids des critères, comme la dégradation des ressources en eaux superficielles et souterraines, la dégradation des terrains agricoles et l'impact sur la santé humaine. Ces derniers présentent les poids les plus élevés. Dans ce cas, le CET d'Ain Témouchent est distingué dans la classe 1 (défavorable), cette classification est liée aux risques de pollution des ressources en eaux superficielles et souterraines, à la dégradation des terrains agricoles à la proximité de l'agglomération. L'imperméabilité des sols, la protection du patrimoine agricole, la proximité des agglomérations sont des critères très indispensables pour implanter un CET, une évaluation défavorable pour ces critères donne à ce site une situation défavorable pour être un CET.

Tableau 21. Classification du CET de Sidi Ben Adda selon les critères d'implantation d'un CET

Sources de conflit	classe 1 site défavorable	Classe 2 site moins favorable	Classe 3 site moyenne favorable	Classe 4 site favorable	Classe 5 site très favorable
1- Eau					
-Eaux superficielles -Plan d'eau	<100 m	100 à 200 m *	200 à 300 m	300 à 600 m	Aucune relation
Puits	50 m	50 à 100 m	100 à 200 m	200 à 300 m	>600 m *
2- Habitat et infrastructure					
Agglomération	0.1 à 2 Km *				2 Km
3- Tourisme	perturbation d'un site touristique		intégration partielle dans le paysage		éloignement général du paysage *
4-Agriculture	Agriculture *		Parcours		Sol nu
5- Route principale	5 km	4 à 5 km	3 à 4 km	2 à 3 km	< 2 km *
6- conditions géologiques					
Géologie	Formation volcanique repose sur des formations marneuses perméable *		Substratum gréseux semi- perméable		Substratum argileux ou marneux imperméable
Faïlles	300 m *				>300 m
7. Hydrogéologie Profondeur de la nappe	0 – 10 m	10 – 20 m	20 – 30 m *	30- 40 m	+ 40 m
8-Morphologie	Surface perturbée		Surface régulière et en pente		Surface plane *
Total des points	4	1	1	0	4

Source : traitement personnel, 2017

L'autre cas étudié est le centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbes, ce dernier présente un site à risque de pollution des ressources en eau et un danger pour la santé publique. Il présente des dégradations vis-à-vis du paysage, une perturbation du trafic, des émissions de bruit et olfactives et une pollution de l'air. La perméabilité du sol accède à l'infiltration des lixiviats et dégrade les eaux de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes, l'entourage du CET est occupé par les terrains agricoles, ceci facilite la contamination des sols.

La classification et l'évaluation du site donnent quatre points de classe 1 (défavorable), un point de classe 4 (favorable) et cinq points de classe 5 (très favorable). Dans ce cas, il est nécessaire d'établir une analyse des poids des critères. Il est défavorable pour les critères conditions géologiques et hydrogéologiques, agriculture et habitat, le poids de ces critères est important par rapport aux autres critères dont leur degré est favorable. À cet effet, nous considérons le choix du site du centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbes comme défavorable pour être un lieu de stockage de déchets.

Tableau 22. Classification du CET de Sidi Bel Abbes selon les critères d'implantation d'une décharge

Sources de conflit	Classe 1 site défavorable	Classe 2 site moins favorable	Classe 3 site moyenne favorable	Classe 4 site favorable	Classe 5 site très favorable
1- Eau					
-Eaux superficielles -Plan d'eau	<100 m	100 à 200 m	200 à 300 m	300 à 600 m*	Aucune relation
Puits	50 m	50 à 100 m	100 à 200 m	200 à 300 m	> 600 m *
2- Habitat et infrastructure					
Agglomération	0.1 à 2 km *				+ 2 km
3- Tourisme	perturbation d'un site touristique		intégration partielle dans le paysage		éloignement général du paysage *
4-Agriculture	Agriculture *		Parcours		Sol nu
5- Route principale	5 km	4 à 5 km	3 à 4 km	2 à 3 km	< 2 km *
6- conditions géologiques					
Géologie	Formation perméable *		Substratum semi- perméable		Substratum argileux ou marneux imperméable
Failles	300 m				> 300 m *
7. Hydrogéologie Profondeur de la nappe	0 – 10 m *	10 – 20 m	20 – 30 m	30- 40 m	+ 40 m
8-Morphologie	Surface perturbée		Surface régulière et en pente		Surface plane *
Total des points	4	0	0	1	5

Source : traitement personnel, 2017

L'autre cas étudié est le site du centre d'enfouissement technique de Tlemcen, situé dans un site perméable, l'infiltration de ces polluants à travers le sous-sol peut atteindre et contaminer la nappe phréatique sous-jacente. La population avoisinante du CET est très touchée par les maladies allergiques et respiratoires, en particulier la petite agglomération rurale Djema. Une réduction importante des rendements agricoles.

Le résultat de l'évaluation du CET de Tlemcen est présenté dans le tableau 23. Il représente un risque élevé de pollution des eaux souterraines à court terme, des conséquences directes par la pollution des eaux de surface et dégrade les terrains agricoles et enfin des impacts sur la santé humaine. Ce site est défavorable pour l'implantation d'un centre d'enfouissement technique.

Le CET étudié présente 6 points de classe défavorable en face de 4 points de classe très favorable. Donc la classification de ce CET est de classe 1 pour les critères ressources en eaux superficielles, condition géologique et potentiels agricoles. Ces différents critères cités sont très indispensables pour l'implantation d'un CET, la situation défavorable concernant ces critères donne à ce site une évaluation **inadéquate** pour être centre d'enfouissement technique.

Tableau 23. Classification du CET de Tlemcen selon les critères d'implantation d'un CET

Sources de conflit	Classe 1 site défavorable	Classe 2 site moins favorable	Classe 3 site moyen favorable	classe 4 site favorable	Classe 5 site très favorable
1- Eau					
-Eaux superficielles -Plan d'eau	<100 m *	100 à 200 m	200 à 300 m	300 à 600 m	Aucune relation
Puits	50 m *	50 à 100 m	100 à 200 m	200 à 300 m	>600 m
2- Habitat et infrastructure					
Agglomération	0.3 à 2 Km *				2 Km
3- Tourisme	perturbation d'un site touristique		intégration partielle dans le paysage		éloignement général du paysage *
4-Agriculture	Agriculture *		Parcours		Sol nu
5- Route principale	5 km	4 à 5 km	3 à 4 km	2 à 3 km	< 2 km *
6- conditions géologiques					
Géologie	Gré tortoniens perméable *		Substratum gréseux semi- perméable		Substratum argileux ou marneux imperméable
Faïlles	300 m				>300 m *
7. Hydrogéologie Profondeur de la nappe	0 – 10 m *	10 – 20 m	20 – 30 m	30- 40 m	+ 40 m
8-Morphologie Pente	+ 5%		5 à 2 %		< 1 % *
Total des points	6	0	0	0	4

Source : traitement personnel, 2017

Finalement, nous pouvons dire que la décharge d'El Kerma et les CET étudiés ne peuvent pas être exploitées dans ces conditions actuelles, suite aux leurs nuisances énormes et catastrophiques (tableau 24). À cet effet, il est absolument nécessaire de réduire ces nuisances et améliorer cette décharge et ces CET sur le plan technique (traitement des lixiviats, dégazage du biogaz, ...), ces sites nécessitent une surveillance permanente.

Tableau 24. Nuisances créées par les CET

Lixiviats	Biogaz	Animaux errants	Déchets solides	Aspect visuel
Conséquences directs				
Contamination : - du sol - de la nappe phréatique - des cours d'eau	- odeurs - explosions - incendies - pollutions atmosphérique	- parasites de la décharge - destruction de la faune et de la flore	- éboulements - déchets volants - blessures sur objets coupant - tassement	- sécurité - paysages modifiés
Conséquences indirects				
- intoxications par l'eau de consommation - épidémies - destruction de la faune et de la flore	- intoxications - asphyxie - effet de serre - maladies type Cancers	- vecteurs de maladies - épidémies - infections dues : aux morsures, aux griffes	- infections	sur le tourisme - opposition de citoyens

Source : traitement personnel, 2017

VII. Cadre de l'état de la gestion actuelle des déchets : les solutions prises par les gestionnaires sont-elles efficaces pour la protection de l'environnement ?

L'Algérie a fixé des objectifs à l'horizon 2025 dans le domaine de l'aménagement du territoire dans lequel elle intègre le concept du développement durable. Cette nouvelle vision est basée sur la croissance économique, l'équité sociale et la protection de l'environnement. Elle vise l'amélioration de la qualité de vie et du bien-être de la population dans une logique de gestion durable des déchets. Les objectifs nationaux algériens sont la réduction des quantités de déchets produites et l'atténuation de l'impact de leur élimination sur l'environnement (DJEMACI, 2012).

Dans ce contexte, l'Algérie a élaboré en 2002 un Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD). Le PNAE-DD propose une vision du futur qui engage l'Algérie à investir dans un développement écologiquement durable. L'amélioration de la santé publique et de la qualité de vie du citoyen constitue un objectif central du PNAE-DD. La mise en place d'une gestion saine et intégrée des déchets municipaux reste une priorité et une urgence. Le PNAE-DD a permis de renforcer le cadre juridique, de construire des capacités institutionnelles performantes, d'introduire des instruments économiques et financiers, d'améliorer la gouvernance environnementale (MATE, 2002).

Dans le cadre du PNAE-DD le programme national pour la gestion intégrée des déchets ménagers (PROGDEM) a été mis en œuvre, élaboré par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) en 2001, qui se focalise sur une nouvelle stratégie. Celle-ci repose sur le principe de précaution-prévention, le principe du pollueur-payeur, le principe de producteur-récupérateur, et le rôle de l'information et de la sensibilisation du citoyen. Ce programme fixe des objectifs en matière de préservation de l'hygiène publique, d'amélioration du cadre de vie du citoyen, de protection de la santé, d'élimination saine et écologiquement rationnelle des déchets et

de valorisation des déchets recyclables. Il concerne dans un premier temps les 40 grandes villes algériennes, dont parmi elles les wilayas concernées par cette étude (Ain Témouchent, Oran, Tlemcen et Sidi Bel Abbès). Les principales actions concernées par PROGDEM dans ces zones ont été comme suite :

- élaboration et mise en œuvre des plans communaux de gestion des déchets ;
- aménagement de sites de mise en décharge contrôlée ;
- promotion des activités de recyclage et de valorisation des déchets ;
- introduction de nouvelles formes de gestion ;
- installation des centres d'enfouissements techniques (CET).

Dans ce programme, le point le plus important, c'est l'amélioration de la gestion des déchets, cette gestion actuelle passe par deux étapes, l'enlèvement et l'élimination. L'enlèvement des déchets compte le pré collecte et la collecte elle-même. L'élimination fait référence à la mise en décharge, enfouissement, compostage et incinération. Dans le cadre de cette étude, nous avons pris en considération l'évaluation de l'étape de l'élimination, la question qui se pose actuellement est que les solutions qu'ont été pris par les gestionnaires dans le cadre de **PROGDEM** en matière d'élimination sont-ils efficaces pour la protection de l'environnement ?

À notre avis, l'analyse de l'évaluation de la faisabilité environnementale des décharges et centres d'enfouissements techniques, dans le cadre de cette étude, a pu répondre cette question délicate. Depuis 2011, les gestionnaires ont opté pour l'enfouissement comme mode le plus adéquat à l'élimination des déchets municipaux. Cette nouvelle politique nécessite une prospection de sites potentiels pour accueillir des CET, le choix proprement dit du site et la réalisation des études d'impact. La construction d'un CET nécessite une assez grande superficie de l'ordre de 40 ha en moyenne qui doit être clôturée et aménagée avec des pistes internes. La durée de vie d'un CET se situe entre 7 et 15 ans, avec un tonnage de 100 000 tonnes par an. Ces CET doivent obligatoirement être pourvus d'installations de récupération des biogaz à travers le traitement de lixiviats. Afin que les CET atteignent les objectifs qui leur sont fixés, une commission interministérielle a promulgué un décret pour la création des établissements publics à caractère industriel et commercial (EPIC) doté d'un statut leur assurant une autonomie de gestion et des ressources propres. Les EPIC assurent la partie technique, administrative et financière. L'Agence Nationale des Déchets joue un rôle important dans l'assistance des études de création et de gestion des CET.

Suite au lancement du PROGDEM, les CET de la zone d'étude ont été réalisés, s'inscrivent dans le cadre de la nouvelle politique de gestion intégrée des déchets, qui prévoyait la transformation de certaines décharges sauvages en CET à l'image de celle de Saf Saf et de Sidi Bel Abbès. L'établissement EPIC assure la gestion et l'exploitation de ces CET. Les sites de ces décharges sauvages provoquent des risques et dangers pour l'environnement et la santé des populations, cette transformation en CET est efficace si elle est adaptée selon les normes d'exploitation des CET, par contre, au niveau de notre zone d'étude aucun CET ne dispose d'une installation de récupération des biogaz et même les lixiviats sont évacués en milieu naturel sans traitement efficace.

Cependant, dans ces zones, le choix du terrain pour la construction des CET a connu des refus et des oppositions de la part des riverains et même des élus des assemblées communales sous prétexte de risques environnementaux. Nous citons le cas de la réalisation du CET de Sidi Ben Adda qui a été prévue initialement à mi-distance de l'agglomération de Sidi Ben Adda. Les habitants ont montré leur désapprobation pour risques potentiels du CET sur l'environnement local. Les habitants ont formé une association de l'environnement « El Khadra » pour lancer leurs inquiétudes des désagréments que cause ce CET à la population et de la dégradation du cadre de vie.

Généralement, nous pouvons dire que l'état de l'environnement en zone d'étude en matière de déchets urbains a été marqué, durant ces dernières années, par plusieurs facteurs à savoir :

- malgré la forte amélioration de la gestion des déchets en matière d'élimination par l'exploitation des CET, les problèmes de la santé publique ne cessent d'augmenter, notamment par le manque des moyens de traitement des lixiviats et récupération des biogaz, ainsi que l'approche des CET au tissu urbain ;
- une baisse des moyens humains et matériels affectés à la préservation de la qualité de l'environnement ;
- une saturation des décharges ;
- une baisse des coûts d'élimination à la suite de la mise en décharges sauvages et une augmentation du ratio par tête des déchets produits.

Le point majeur de la gestion intégrée des déchets, c'est la domination du secteur public. Il demeure le pilier principal. En effet, l'État reste le premier financier des grandes infrastructures par les différents fonds (la construction des CET, l'achat des équipements de la collecte et du pré collecte...). Les collectivités locales et, notamment, les communes continuent d'être le premier acteur responsable de la collecte de déchets en Algérie. Dont les conséquences directes sont le manque de moyens humains et matériels. Ce qui nécessite un partenariat public privé qui prend la forme d'un transfert de savoir-faire des opérateurs privés vers les collectivités locales. Malgré l'implication du secteur privé au sein de différentes opérations relatives aux déchets et plus particulièrement à l'exploitation des CET par EPIC, la gestion des déchets reste insuffisante et ne répond pas aux exigences de protection de l'environnement dans le cadre de développement durable.

Conclusion du 3^{ème} chapitre : décharges et CET, sites présentant un danger réel de pollution de l'air, de sol et des eaux, à court et à long terme

« Une décharge de déchets urbains est considérée comme un réacteur biogéochimique, rassemblant en un faible espace, un grand nombre de composés solides à la base et aux propriétés différentes. Sa perpétuelle évolution est régie surtout par le facteur cinétique, essentiellement l'eau de pluie qui traverse la décharge de manière continue et induit différentes réactions physico-chimiques (acide-base, oxydoréduction, adsorption et complexation) catalysées par des microorganismes (bactéries et champignons) incorporés dans les déchets » (BUFFLE, 1993). La conséquence directe de ces réactions est la libération de gaz et de lixiviats. Les rejets gazeux issus de la décomposition, sont importants dans la première phase de réaction intensive de la décharge qui dure souvent d'une à deux décennies, ils posent de problèmes à l'environnement à court terme. Par contre, les rejets liquides, chargés de métaux lourds et autres éléments chimiques peuvent être émis pendant plusieurs dizaines d'années selon BACCINI et BELEVI (1991).

En effet, d'après ces spécialistes, plus de 99.9 % des métaux et plus de 90% de non-métaux se trouvent dans la décharge après la phase réactive. Par ailleurs, ils ont montré que les métaux lourds atteignent les normes de la qualité des eaux au cours de la phase réactive (< 10 ans) qui peuvent durer 10 ans voire plusieurs siècles. De même, dans des cas où la géologie est défavorable (perméabilité, proximité d'une nappe phréatique) les eaux sortant des décharges peuvent dépasser de manière notable les normes en vigueur pour le rejet des éléments cités ci-dessus.

Ces études confirment d'une part que les décharges de déchets urbains constituent un danger potentiel de pollution pour l'environnement, durant l'exploitation de la décharge et après sa fermeture, pendant des dizaines d'années. Elles doivent donc, impérativement, subir des contrôles pour s'assurer qu'elles ne polluent pas l'environnement par relargage des composés toxiques dans les gaz émis et dans les eaux d'infiltration. Par ailleurs, ces décharges représentent les sites contaminés de demain.

L'évaluation de la faisabilité environnementale des sites de décharge et des centres d'enfouissements techniques, recevant les déchets produits par les grandes agglomérations de la région d'étude (Tlemcen, Ain Témouchent, Oran et Sidi Bel Abbes), établie par une analyse des données multi sources de la zone d'étude, ainsi que l'application des normes d'implantation d'une décharge, a permis de décrire que ces sites présentent un danger réel de pollution de l'air de sol et des eaux à court et à long terme.

La décharge d'El Kerma, même après sa fermeture, les centres d'enfouissement technique d'Ain Témouchent, de Sidi Bel Abbes et de Tlemcen, sont des lieux potentiels de prolifération de germes pathogènes transmis par les insectes, les oiseaux, et les rongeurs. Les microbes sont susceptibles, à long terme, d'atteindre les aquifères par les eaux de percolation et peuvent causer des maladies intestinales chez les habitants, notamment chez les enfants. Le potentiel de contamination en maladies infectieuses des récupérateurs ou des animaux pourrait constituer un risque pour la santé de la population. Par ailleurs, c'est une source de production d'odeurs nauséabondes, dues à la

fermentation, peut atteindre les villes limitrophes des décharges et centres d'enfouissements, engendrant des maladies respiratoires.

En terme d'hydrogéologie, les décharges et les CET semblent pas bien situés et favorisent un risque de grande pollution des nappes. Les nappes phréatiques de ces sites se trouvent à faible profondeur et toutes ces zones reposent sur des formations géologiques perméables. Ses caractéristiques conduites à des effets néfastes sur les eaux souterraines à court terme et à long terme. Nous avons trouvé, à partir des analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale d'El Kerma, une forte pollution par les métaux lourds et une pollution organique, suite à l'infiltration des lixiviats. Les analyses des eaux de la nappe des grès tortoniens de Tlemcen montrent que les eaux souterraines sont très polluées organiquement et biologiquement et par les métaux lourds. L'environnement des décharges est occupé par des terrains à très haute valeur agricole, ces sites menacent la qualité des terrains et le rendement agricole.

Sur la base de cette évaluation et classification des décharges en termes normes d'implantation, nous pouvons assimiler ces décharges comme des sources potentielles de danger sur la santé de la population riveraine et sur l'environnement, notamment l'air et l'eau. Les résultats de l'évaluation de l'ancienne décharge d'El Kerma exploitée anarchiquement et les autres CET misent en exploitation durant quelques années (5 à 6 ans), représentées dans les tableaux de la classification des décharges, ressort que ces sites sont de classe défavorable pour être une décharge.

La décharge d'El Kerma représente, par conséquent, un risque très élevé de pollution de la sebkha d'Oran et des eaux souterraines à court terme, l'exploitation de la décharge continue encore de nos jours d'une façon illicite. Etant donnée des nuisances que représente cette décharge, notamment sur le plan ressources en eaux, elle devrait être réhabilitée et transformée à un parc naturel le plutôt possible, afin d'éviter leur exploitation.

Finalement, l'implantation des centres d'enfouissements techniques sur des sites défavorables pour être CET conduisant à des impacts néfastes sur l'écosystème. Les rejets des eaux de lixiviats après un traitement par lagunage non-efficace conduit à une forte pollution des eaux de surface et souterraines, les fuites de ces eaux à partir des canaux de récupération des lixiviats présentent un danger réel de pollution des eaux souterraines, en particulier, ces CET sont situés sur l'impluvium des nappes phréatiques à faible profondeur.

Nous pouvons dire que l'exploitation des CET au niveau de ces zones nécessite des aménagements, des contrôles et des surveillances permanent, afin de protéger les ressources en eaux, l'environnement et la santé humaine.

Chapitre 4

Les eaux usées, risques pour les milieux récepteurs

Introduction

L'eau a toujours figuré au premier plan des ressources naturelles primordiales pour la vie de l'homme. Cependant, la raréfaction de cette ressource, la dégradation sans cesse accrue des écosystèmes aquatiques a pris, au cours des dernières décennies, une ampleur catastrophique et constitue une des dimensions environnementales les plus préoccupantes du XXI^{ème} siècle.

Une dégradation fortement liée, non seulement aux pathogènes biologiques, mais également aux produits chimiques et physiques fabriqués par l'homme. Leur présence dans l'environnement, et plus particulièrement dans l'eau, est un phénomène s'en précédant dans l'histoire de l'humanité par leur quantité et leur diversité. Ils sont responsables de cas de pollution de plus en plus importants et récurrents rendant très difficile voire impossible la préservation de la qualité des eaux.

« Cependant, une prise de conscience du risque liée à l'utilisation des substances chimiques s'est développée suite à de nombreuses études scientifiques portant sur leur identification, leur comportement, leur transfert et leur devenir dans l'environnement. Elle a aussi conduit à l'adoption et à la mise en œuvre de plusieurs textes réglementaires fixant, depuis 1970, des objectifs pour limiter, diminuer, et même supprimer certains de ces polluants chimiques considérés comme toxiques ou dangereuses » (SALLY ZGHEIB, 2009).

De nombreuses études consacrés à la pollution par les rejets des eaux usées, menées depuis 1970, ont confirmé l'importance de cette pollution et son impact sur les milieux aquatiques tels que les études de ELIAS MAATOUK (2014) de L'Université Paris-Est portant sur l'impact des eaux usées urbaines, les études de MARNO DO CARNO LOURENCON DA SILVA (2008) de l'Ecole Nationale Supérieure des industries chimiques école doctorante RP2E sur les traitements des eaux usées, ainsi les études de SALLEY ZGHEIB (2009), de l'école nationale des ponts et chaussées sur les flux et sources des polluants dans les eaux.

En Algérie, les études des milieux récepteurs des eaux usées restent limitées, nous citons les études de HANNACHI et al., (2014) porte sur la gestion et la valorisation de la gestion des eaux usées en Algérie, ainsi que plusieurs études ont été mise qui portent sur l'efficacité de l'épuration des eaux usées (YOUB OKKACHA 2008, OUBADI M. 2012, RAMDANI N. 2007, METAHRI M. S. 2012), les études de TAGHEZOUT (2015) qui porte sur l'impact environnemental des rejets des eaux usées.

Vu l'importance de la protection des ressources en eaux, nous avons pensé utile d'ajouter une contribution dans ce thème, nous avons élaboré une étude sur l'évaluation des milieux récepteurs des eaux usées ainsi que la gestion actuelle en matière des eaux usées à l'aide des nouveaux outils SIG et la télédétection.

Notant que l'Algérie est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride, qui est accompagné par des périodes de sécheresse de plus en plus répétitives causant de sérieux problèmes socio-économiques. En plus de l'important accroissement démographique qu'a connu pendant ces dernières décennies, il soit utile de préserver les ressources en eaux contre les pollutions causées par le rejet des eaux usées.

Le déséquilibre entre l'offre et la demande en eau devrait être ressenti vers 2020 : les ressources en eau par habitant seront équivalentes à la moitié des ressources actuelles et le manque d'eau pourrait devenir un frein au développement de l'Algérie à cause notamment des changements climatiques et des problèmes de pollution des ressources en eau par les rejets des eaux usées.

Actuellement, les aspects concernant la qualité de la ressource n'ont été que peu considérés : le secteur de l'assainissement connaît un grand retard, et plus de 85% des eaux usées sont rejetées dans le milieu naturel sans traitement préalable, 65 stations d'épuration de type classique à l'échelle nationale en fin août 2012 pour un volume de 483 hm³/an et une capacité de 8900900 Eq/hab, et 76 stations d'épuration de type lagunage à l'échelle nationale en fin Août 2012 pour un volume de 120 hm³/an et une capacité de 2 260 301 Eq/hab, donc seulement moins de 15% des rejets du pays qui sont traités. Ce retard est dû essentiellement au manque d'infrastructure d'épuration, et aussi au coût élevé du traitement (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville, 2012).

Le résultat de l'enquête établie par le ministère de l'hydraulique sur le réseau d'assainissement, arrêté à la fin du deuxième semestre 2012 fait état de 45 000 Km linéaires de réseau en service. Le taux de raccordement moyen national calculé sur la base de la moyenne des taux de raccordement des 48 wilayas est de 87%, pour un volume total d'eau usée rejetée de 1.2 milliards m³/an. Ce taux de raccordement est très élevé dans les agglomérations et faibles dans le monde rural (Ministère des ressources en eaux 2012).

Il apparaît clairement que le problème de pollution des ressources en eaux en Algérie pose de sérieux problèmes par les rejets des eaux usées sans aucun traitement, le manque et le dysfonctionnement des stations d'épuration lorsqu'elles existent, ne cessent de dégrader la qualité des eaux superficielles et souterraines, le rejet direct d'effluents non traités induit toute sorte de pollution diffuse comme non-diffuse.

Au niveau de la zone d'étude, cette dégradation a pris une ampleur significative, on s'attend à trouver plusieurs types de polluants associés aux effluents urbains et industriels évacués ensemble dans les réseaux d'assainissement des wilayas d'Oran, d'Ain Témouchent, de Sidi Bel Abbes et de Tlemcen, rejetées directement ou indirectement sur la mer, la sebkha d'Oran, le bassin d'oued Tafna, le bassin d'oued Mekerra et le bassin du côtier Oranais, conduit à une forte dégradation de ces milieux. La question qui se pose dans cette étude, c'est :

- La gestion actuelle en matière des eaux usées est elle efficace pour réduire la pollution des milieux récepteurs ?
- Qu'elle est l'impact direct et indirect des eaux usées au niveau de la zone d'étude ?

Pour répondre à ces deux questions, une analyse de l'état actuel en matière de gestion des eaux usées et des risques engendrés par les rejets présentent l'objectif principal de ce chapitre, afin d'atteindre cette dernière, une démarche a été suivie, à savoir :

- localiser géographiquement les points de rejets des eaux usées dans le territoire d'étude ;
- analyser l'état de la gestion des eaux usées en terme de raccordement au réseau d'assainissement, et l'épuration des eaux usées ;
- faire une description de l'aspect quantitatif des rejets des eaux usées qui est en relation étroite avec les activités socio-économiques et l'évolution démographique, ainsi que l'aspect qualitatif lié à l'origine des rejets ;
- évaluation des milieux récepteurs des eaux usées par la description des risques liés à ce rejet sur la qualité des eaux de surface, souterraines et la mer, et sur la santé de la population ;
- et enfin, il est nécessaire d'analyser les stratégies d'acteur en matière d'efficacité de la gestion actuelle des eaux usées dans la zone d'étude.

I. Contexte géographique régional et local des points de rejets des eaux usées

« Un cours d'eau, que ce soit temporaire ou permanent, n'est pas uniquement un tronçon de réseau hydrographique qui permet l'évacuation des précipitations vers un niveau aval. Le cours d'eau est un écosystème complexe où cohabitent des espèces animales et végétales adaptées à la vie aquatique » (GENEVIEVE, 2011). D'un point de vue morphologique et anthropique, le cours d'eau est un élément structurant du paysage et possède des enjeux économiques. Actuellement, ces cours d'eau sont les milieux récepteurs d'un volume important des eaux usées dégradent la qualité des eaux de surface et conduits à une forte pollution des eaux des lacs et des barrages.

Les milieux côtiers sont aussi à la fois les plus productifs, les plus fragiles et les plus soumis à diverses agressions. Situés à l'interface entre la terre, l'air et l'eau, ils sont privilégiés et extrêmement convoités. Ainsi, les deux tiers de la population mondiale vivent à proximité immédiate de la mer. Aux activités traditionnellement liées au milieu marin (pêche) sont venu se greffer l'agriculture, l'aquaculture, les industries et le tourisme. Cet ensemble a augmenté les pressions appliquées à ce milieu. Quelle que soit la pollution du milieu marin, elle entraîne des préjudices tant économiques qu'écologiques et parfois spectaculaires.

Les rejets d'eaux usées en mer causent des dommages qui entraînent non seulement des conséquences sanitaires (bactériologie, morbidité piscicole...), mais aussi des modifications écologiques (développement algal par apport excessif de nutriments, turbidité de l'eau...). Ces conséquences aboutissent elles-mêmes à un déséquilibre économique puisque pénalisant du point de vue touristique : les eaux de baignade et de loisirs répondent à des normes de salubrité et d'hygiène permettant ou non les activités aquatiques et que les collectivités se doivent respecter.

Au niveau de la zone d'étude, on assiste à des points importants des rejets des eaux usées dans les milieux aquatiques, dont les impacts sont néfastes économiquement, écologiquement et santé de

l'homme. C'est pourquoi, nous avons pris en considération l'analyse du contexte géographique régional et local des points de rejets des eaux usées. L'objectif principal, dans ce cadre, c'est identifier les points de rejets (oued, mer, lac, sebkha) ainsi que le nombre des points.

Les eaux usées collectées par le réseau d'égouts sont destinées à être rejetées dans le milieu naturel. Selon le contexte géographique du lieu de rejet, le milieu récepteur des eaux usées peut être : une eau de surface (cours d'eau, lacs, étangs ...) ; le sol (les eaux s'infiltrent dans le sol, généralement par l'intermédiaire de fossé) ; une eau côtière (mer) ; un estuaire (ou un étang salé). Dans la zone d'étude, les contextes géographiques des points de rejets sont les oueds, la mer et la sebkha d'Oran. Nous remarquons qu'ils existent 167 points de rejets renoncés, 56 points, soit 34%, pollues directement le bassin-versant de la Tafna, 47 points, soit 29%, au niveau du bassin-versant Mekerra, 35 points, soit 21%, se trouvent dans le bassin du côtier Oranais, 22 points, soit 13%, au niveau de la mer et enfin 4 points, soit 3%, au niveau direct dans la sebkha d'Oran (tableau 25).

Carte 47. Localisation géographique des points de rejets des eaux usées dans la zone d'étude

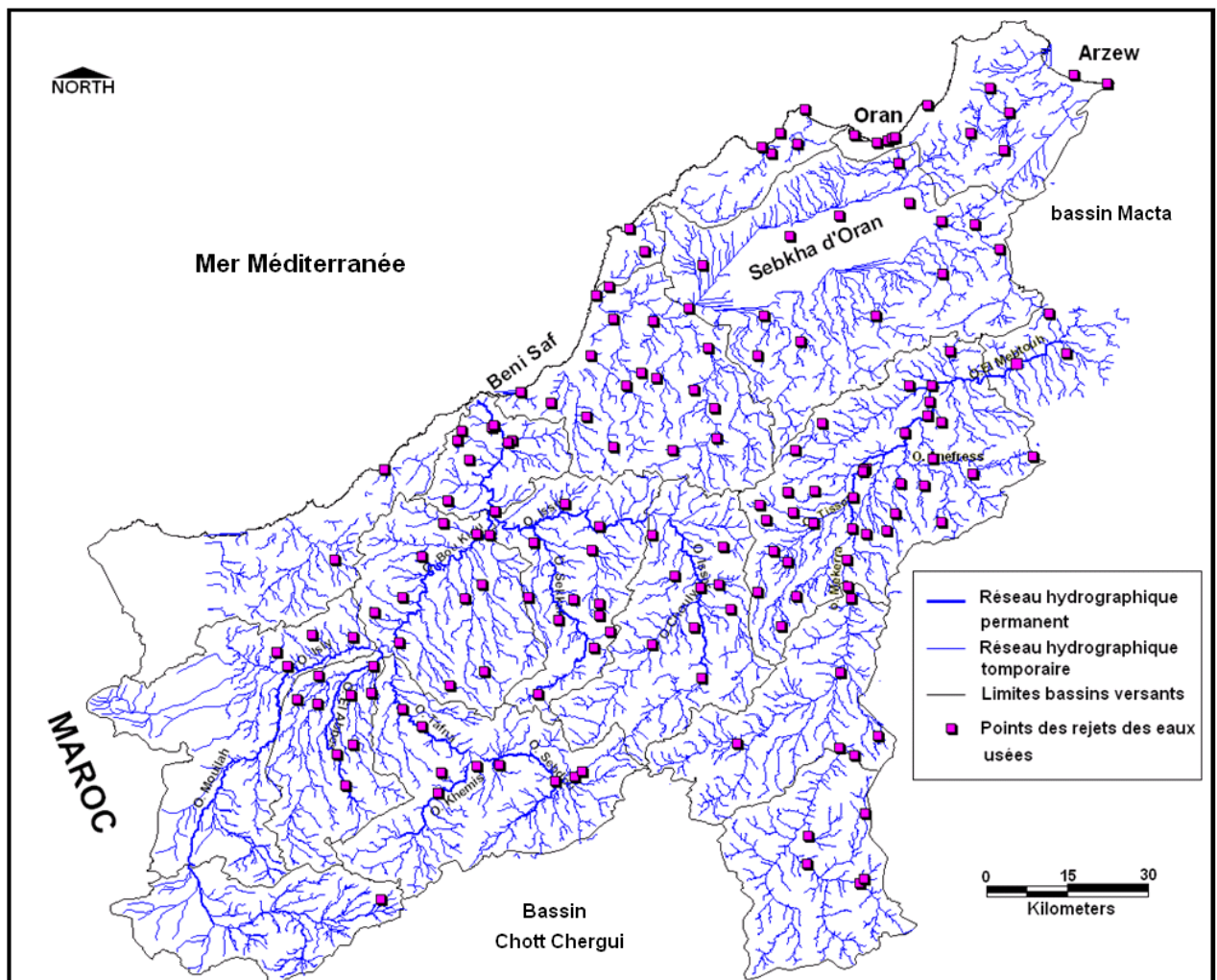


Tableau 25. Tableau descriptif des points de rejets des eaux usées dans la zone d'étude

Type du milieu récepteur	Bassin versant	Oueds	Nombre de point de rejet
Bassin-versant	Tafna	Atchane	1
		Khemis	6
		Tafna	1
		El Abbes	1
		Isly	4
		Mouillah	4 + Eaux usées du Maroc
		En Nachef	1
		Sikkak	14
		Chouilly	4
		Amiguier	7
		Boukiou	5
		Marsa	5
		Dahmane	1
		Bou Messoud	2
	Mekerra	Sarno	4
		Mekerra	38
		Mebtouh	5
	Côtier oranais	Côtier d'Ain Témouchent (o. El Maleh)	18
		Côtier les Andalous (o. Madagh)	2
		Sebkha d'Oran (o. Tlelat)	9
Sebkha d'Arzew (o. Mohgoune)		6	
Côtier oranais de l'Ouest		3	
Mer			22
Sebkha d'Oran			4
Total			167

Source : enquête de terrain, 2016

1. Les points de rejets dans le grand bassin de la Tafna

Le bassin hydrographique de la Tafna présente une superficie de 7 250 km², il alimente cinq barrages qui sont du plus ancien au plus récent Beni Bahdel (66 Hm³), Meffrouche (15 Hm³), Sidi Abdeli (110 Hm³), Hammam Boughrara (177 Hm³) et Sikkak (27 Hm³). Ce bassin-versant est devenu le milieu récepteur des eaux usées urbaines et industrielles de la wilaya de Tlemcen sur 56 points (tableau 26) en plus les eaux usées de provenance du Maroc par l'oued Mouillah.

Les rejets finaux de ces eaux usées sont les barrages ou la mer (plage Rechgoune). Nous constatons 15 points de rejet présentant le milieu récepteur final barrage de Sidi Abdelli, 11 points de rejet ont un milieu récepteur final barrage de Sikkak, 8 points de rejet ont un milieu récepteur final barrage de Hammam Boughrara, 6 points ont un milieu récepteur final barrage de Beni Bahdel et enfin un seul point de rejet son milieu récepteur final est le barrage de Mafrouche. Les

autres points de rejets, 15 points au niveau des oueds, arrivant au milieu récepteur final la mer (plage Rechgoune).

Carte 48. Carte des points de rejets des eaux usées dans la wilaya de Tlemcen

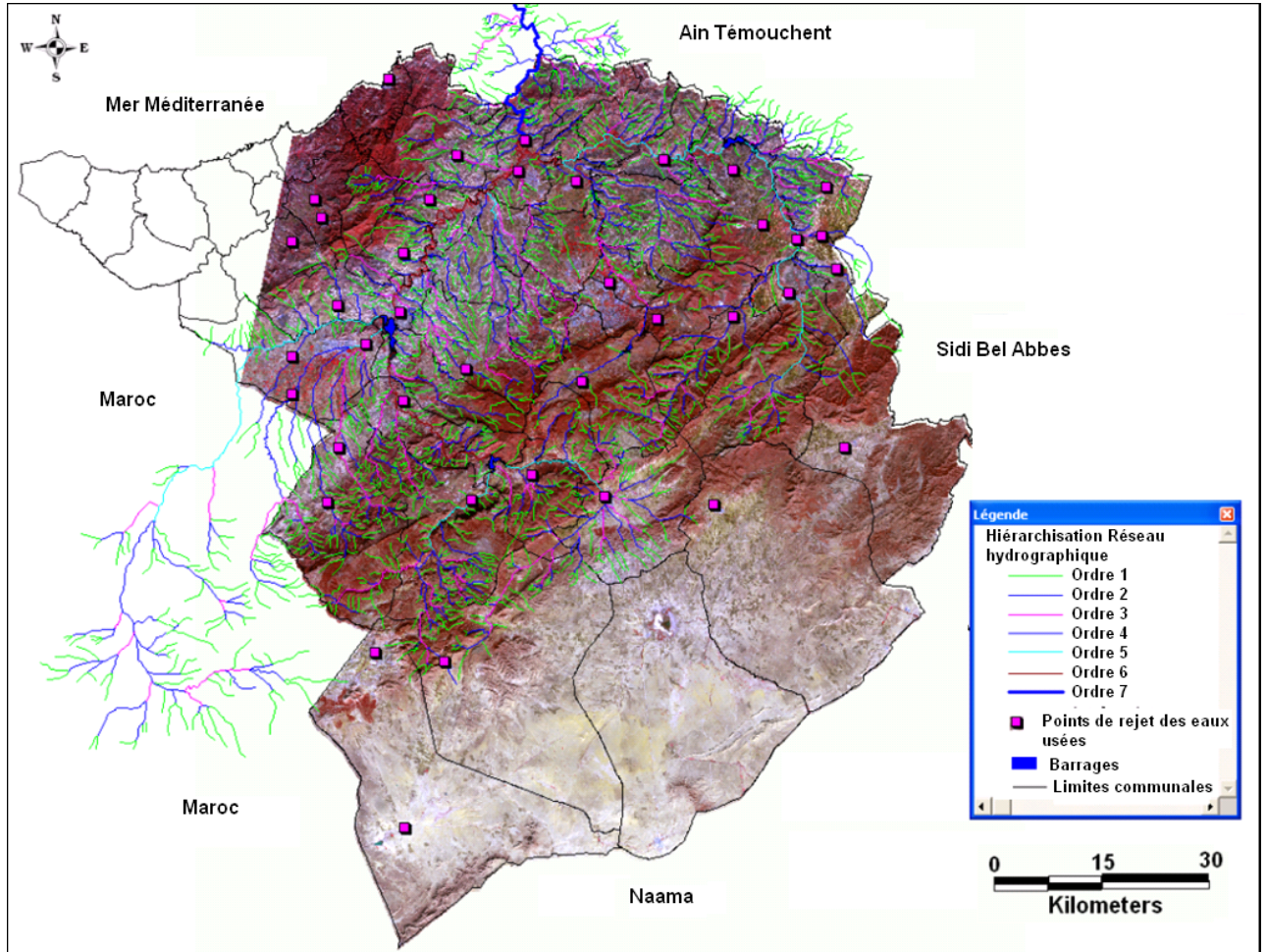


Tableau 26. Points de rejets des eaux usées dans le grand bassin Tafna

Agglomérations	Oueds	Milieu récepteur final
Ouled Mimoun	Oued Chouly	Barrage Sidi Abdelli
Chouly	Oued Chouly	Barrage Sidi Abdelli
Beni yakoul	Oued Chouly	Barrage Sidi Abdelli
Oulad Benhama	Oued Chouly	Barrage Sidi Abdelli
Sidi Abdelli	Oued Isser	Barrage Sidi Abdelli
Bensekranne	Oued Isser	Barrage Sidi Abdelli
El Fhoul	Oued Isser	Barrage Sidi Abdelli
Ain Takbalet	Oued Isser	Barrage Sidi Abdelli
Chnaya	Oued Amiguiier	Barrage Sidi Abdelli
Gholimasse	Oued Amiguiier	Barrage Sidi Abdelli
Aamier	Oued Amiguiier	Barrage Sidi Abdelli
Azayza	Oued Amiguiier	Barrage Sidi Abdelli
Zerdika	Oued Amiguiier	Barrage Sidi Abdelli
Chlayda	Oued Amiguiier	Barrage Sidi Abdelli
Oum El Alou	Oued Amiguiier	Barrage Sidi Abdelli
Ain Yousef	Oued Sikkak	Barrage Sikkak
El Hennaya	Oued Sikkak	Barrage Sikkak
Ain El Hadjar	Oued Sikkak	Barrage Sikkak
Ain El Houyt	Oued Sikkak	Barrage Sikkak
Chetouanne	Oued Sikkak	Barrage Sikkak
Tlemcen	Oued Sikkak	Barrage Sikkak
Ain El feza	Oued Sikkak	Barrage Sikkak
El Manzourah	Oued Sikkak	Barrage Sikkak
Ain Wahab	Oued Sikkak	Barrage Sikkak
Ain Boughera	Oued Sikkak	Barrage Sikkak
Beni Master	Oued Bou Messouad	Barrage Sikkak
Sebra	Oued Atchane	Mer
Oueled Riyah	Oued Bou Messoud	Mer
El Remchy	Oued boukiou	Mer
Boukiou	Oued boukiou	Mer
Boutark	Oued boukiou	Mer
Faloussen	Oued boukiou	Mer
Ain El Kebira	Oued boukiou	Mer
Maghnia	Oued Mouillah	Barrage Boughrrara
Hammam Boughrrara	Oued Mouillah	Barrage Boughrrara
Sidi Mjahed	Oued Tafna	Barrage Boughrrara
Bouhlou	Oued Tafna	Barrage Boughrrara
Sidi Yahia	Oued Tafna	Barrage Boughrrara
Oulad Ma	Oued El Abbes	Barrage Boughrrara
Beni Bousaid	Oued Mouillah	Barrage Boughrrara
El Bettim	Oued Mouillah	Barrage Boughrrara
El Souani	Oued El Marsa	Mer
Sidi Boudjnane	Oued El Marsa	Mer
Tounane	Oued El Marsa	Mer
El Assa	Oued El Marsa	Mer
Nedrouma	Oued El Marsa	Mer
Souk El thlata	Oued	Mer
Boug Arina	Oued Dahmane	Mer
Sidi Ouriache	Oued Tafna	Mer
Ain El ghraya	Oued El Khemis	Barrage Beni Bahdel
Sebdou	Oued El Khemis	Barrage Beni Bahdel
Beni Snoussy	Oued El Khemis	Barrage Beni Bahdel
Mazer	Oued El Khemis	Barrage Beni Bahdel
Sidi Djilali	Oued El Khemis	Barrage Beni Bahdel
El Ghour	Oued El Khemis	Barrage Beni Bahdel
Tirni Ben Hdil	Oued en Nachef	Barrage Mefrouche

Sources : direction d'hydraulique de Tlemcen, 2016

2. Les points de rejets dans le bassin de la Mekerra-Mebtouh, oued Tenira et oued Sefioune

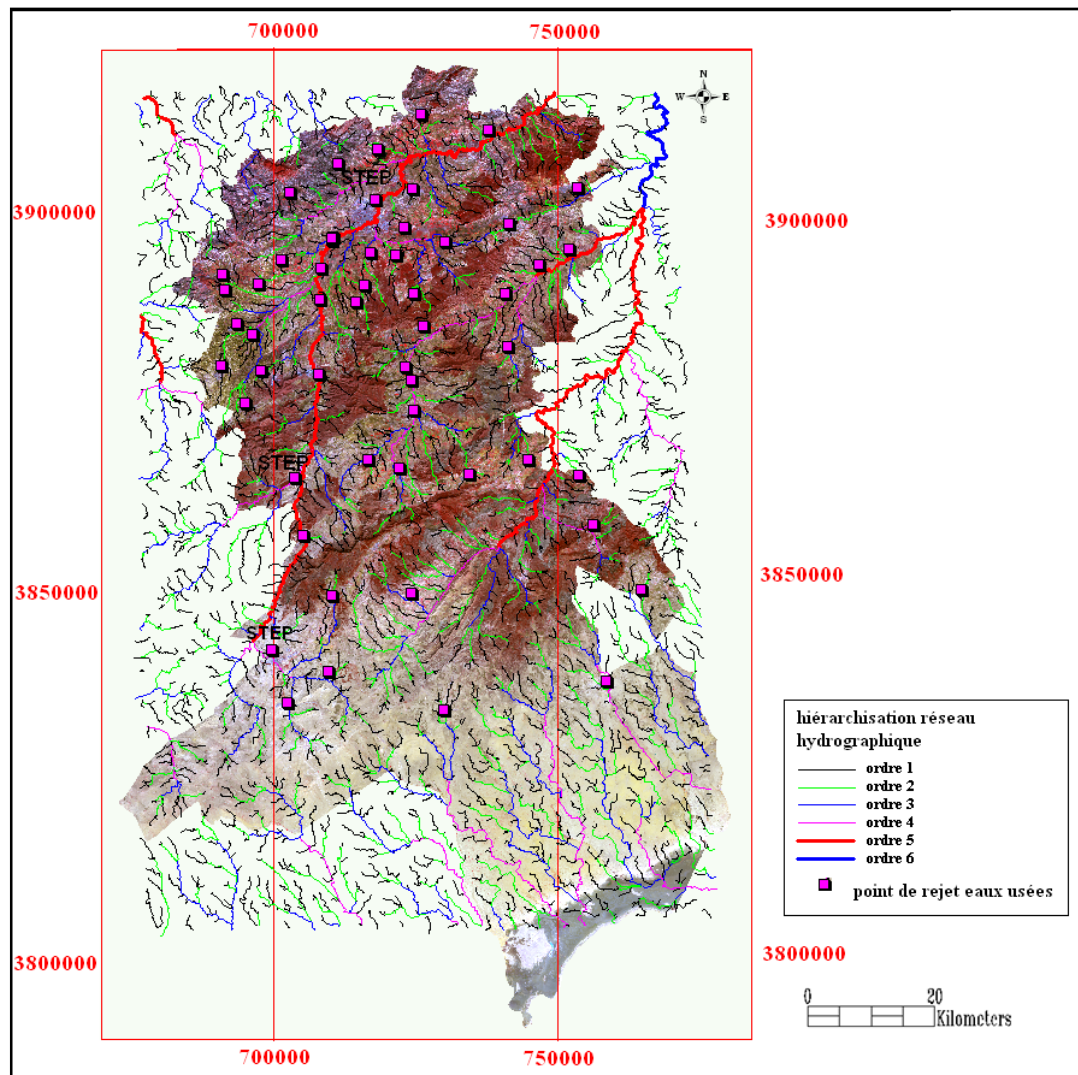
Le bassin-versant de la Mekerra-Mebtouh présente le milieu récepteur de 44 points de rejets, répartis sur 4 points au niveau du bassin de Sarno, 38 points au niveau du bassin de la Mekerra et 5 points à oued Tenira et 3 autres points dans les cours d'eau qui débouchent vers le chott Chergui.

Les eaux usées, d'un volume de 4004.2 m³ en 2014, rejetées par les agglomérations : Tessala, Ain Thrid et Sidi Hammadouche, de la wilaya de Sidi Bel Abbès, atteindront le barrage de Sarno. Les eaux usées, d'un volume de 23688.4 m³ /j en 2014, des agglomération : Mqid, Oued Sefioune, Sfisef, Mostafa Ben Brahim, Tenira, Benachiba, Teghalimet, Telagh, Mezaourou, Merine, Tafissour, Sidi Chaib et oued Taourira, de la wilaya de Sidi Bel Abbès, sont évacuées dans les oueds Tenira et Sefioune et atteindront le barrage de Bouhanifia. Les eaux usées des agglomérations : Boudjbaa El Bordj, Ain Adden, Zerouala, Sidi Brahim, Sidi Lahcen, Sidi Bel Abbès, Tilmouni, sidi Yacoub, Belarbi, Amarnas, Hassi Daho, Sidi Khaled, Sidi Ali Bousidi, Boukhenfis, Lamtar, hassi Zahana, Tabia, Bendrabine El Mokrani, Sidi Ali Ben Youb, Ben Badis, Chetouane, Bellailia, Moulay Silissen, El Hacaiba, Ain Tindamine, Oued Sbaa, Ras El ma, Redjem Demmouche, de la wilaya de Sidi Bel Abbès, sont évacuées dans le bassin versant d'oued Mekerra, atteindront les eaux du barrage de Cheurfa du Mascara.

Photo 12. Point de rejet des eaux usées de Sidi Bel Abbès (collecteur principal au niveau de cité Benhamouda) (clichée : Bentekhici, 2014)



Carte 49. Localisation des points de rejets des eaux usées de Sidi Bel Abbas (bassin Mekerra, Oued Tenira et Oued Sefioune)



3. Les points des rejets dans le bassin du côtier Oranais et la sebkhia d'Oran

Le bassin versant du côtier Oranais est divisé en 4 grands bassins, le côtier d'Ain Témouchent, le bassin de la sebkhia d'Oran, le côtier des Andalous et le côtier de la sebkhia d'Arzew. Ces bassins présentent le milieu récepteur d'un nombre important des points de rejets des eaux usées urbaines et industrielles.

Il existe 19 points de rejets dans le côtier d'Ain Témouchent (tableau 27), répartis sur 14 points dans l'oued El Maleh, ces eaux proviennent des agglomérations : deux points de la ville d'Ain Témouchent, Sidi Ben Adda, El Maleh, Chaabet El Ham, Hassi El Ghella, Hammam Bou Hadjar, Oued Berkeche, Chentouf, Hassassna, Aghllal, Ain Tolba et Aoubellil, d'une charge hydraulique estimée à environ de 34 202.6 m³/j en 2014. Les rejets de l'agglomération d'Ain Témouchent sont déversés dans le sous-bassin d'oued Sennane (chaabet Slougia). L'agglomération de Sidi Safi

déverse leur rejet au niveau d'oued Sidi Djelloul qui débouche à la mer. Les eaux usées industrielles de l'entreprise nationale des détergents et produits d'entretien (ENAD) sont évacuées dans l'oued Chaabet El Ham. Ces eaux contiennent des éléments très toxiques provenant des matières premières utilisées pour la fabrication des détergents selon nos enquêtes de terrain.

Tableau 27. Les milieux récepteurs des eaux usées dans le bassin du côtier d'Ain Témouchent

Agglomérations	Point de rejet
Ain Témouchent	Chaabet Slougia (o. Sennane)
Sidi Ben Adda	Oued sennane
El Maleh	Oued El Maleh
Terga	Oued El Maleh
Chaabet El Ham	Oued Chaabet El Ham
Oued El Kihel	Oued El Hallouf
Ouled Boudjemaa	Oued Sassel
El M'said	Chaabet El Kouabi (oued Bouzedjar)
Hassi El Ghalla	Oued Sidi Said (oued El Maleh)
Hammam Bou Hadjar	Chaabet El Maida (oued El Maleh)
Oued Berkeche	Oued Berkeche
Chentouf	Oued Berkeche
Hssasna	Chaabet sidi rayah (oued El Maleh)
Sidi Safi	Oued Dalia (oued Sidi djelloul)
Ain Kihel	Oued Sidi Dejelloul
Aghlal	Oued aghlal (oued El Maleh)
Ain Tolba	Oued El kerma (oued Sennane)
Aoubelile	Oued Sidi Bouterfas (oued El Maleh)

Source: direction d'hydraulique d'Ain Témouchent, 2016

Le bassin du côtier les Andalous, reçoit deux points de rejets des agglomérations El Ançor et Bousfer dans l'oued El Hamadi. Le bassin de la sebkhia d'Oran est marqué par un nombre important des points de rejets, soit en oueds ou déverser directement vers la sebkhia. Celle ci présente le milieu récepteur des eaux usées du groupement d'Oran Sud, d'Es Senia, d'El Kerma, de Mesreghinne et de Boutelélis, avec un volume évacué environ 200 000 m³.

Les agglomérations d'El Amria, d'Ain El Arbaa, de Tamazoura, de Sidi Boumedienne et de Oued Es Sabbah, dans la wilaya d'Ain Témouchent, sont connectées aux réseaux d'égouts, leurs rejets finaux se fait à la sebkhia d'Oran, d'une charge hydraulique environ 9 546.8 m³/j en 2009 (direction d'hydraulique de la wilaya d'Ain Témouchent, 2009).

L'unité tannerie d'El Amria évacuée leurs rejets directement vers la sebkhia d'Oran. Ces eaux sont très chargées en éléments toxiques comme les huiles, les colorants minéraux, les acides organiques, les bactéries, les virus, etc. (ACHIR, 2000).

Le bassin de la côtière sebkhia d'Arzew reçoit des importants points de rejets, ces derniers se font au niveau d'oued El Mohgoune ou directement vers la daya Morsli et lac Télamine. Les eaux usées de l'agglomération de Hassi Bounif sont évacuées vers daït Sidi Maarouf avec un volume de 7300 m³/j. Daït Oum El Ghais reçoit les eaux usées des agglomérations Tlelat et Tafraoui.

L'agglomération d'Hassi Mafsoukh est connectée au réseau d'égouts qui déverse au niveau du Bordj El Chidi, et enfin, l'agglomération de Gdyl déverse son rejet vers lac Talamine.

4. Rejet direct vers la mer de la rive gauche Ouest de la méditerranée

Le littoral Oranais est devenu le réceptacle privilégié des apports contaminants, qu'ils proviennent des oueds, de l'atmosphère ou des émissaires urbains et industriels, nous avons recensé 22 points de rejets des eaux usées urbaines au niveau du littoral Oranais. Plus de 90 millions de m³ d'eaux usées se déversent annuellement dans ce littoral. Un constat accablant qui renseigne sur l'étendue des dégâts causés par cette situation sur l'écosystème marin et les réserves halieutiques. Un volume régulier de plus de 7 millions m³/mois d'eaux usées déversé dans le littoral, menace et dégrade écologiquement l'écosystème marin (direction d'hydraulique d'Oran, 2016).

Le littoral de Tlemcen compte 3 points de rejets des agglomérations Ghazaouet, Ouled Berayed et Marsa Ben Mhidi. Et enfin le littoral d'Ain Témouchent compte trois points de rejet des agglomérations de Beni Saf, de Terga plage et de Bouzedjar.

Le problème le plus inquiétant est celui de la corniche oranaise, nous constatons un nombre important de points de rejets des eaux usées, 10 points dans le cornique Ouest, au niveau des plages des Andalouses, Cap Falcon et Ain El Turck. Les eaux qui proviennent d'Ain El Turk et des Andalouse sont évacuées vers la station d'épuration d'Ain El Turk, trois autres points de rejets sont recensés, ceux de l'agglomération de Mersa El Kebir, et un point de la plage d'El Ançor.

Citant aussi qu'il existe deux principales destinations des rejets d'eaux usées de l'agglomération d'Ain El Turck, le premier se fait directement vers la mer, qui soit environ 40 % des eaux usées rejetées non traitées, se sont les eaux de la partie basse de l'agglomération (St rock, Trouville, Bouisseville, Paradis Plage, Claire Fontaine, St Germain et le centre de Ain El Turck), l'écoulement de ces eaux se fait par refoulement à l'aide des pompes des stations de relevage (ST3, ST4, ST4', ST5, ST6) et acheminer gravitairement vers la station principale (ST8) qui les refoule par l'intermédiaire de la station (ST8') située au bord de l'autoroute menant vers les Andalouses. On retrouve aussi des rejets qui se fait dans les fosses septiques, les habitants de la partie basse d'Ain Turk ne sont pas raccordés au réseau d'assainissement, leurs rejets se font dans les fosses septiques individuelles, et vu le débordement de ces dernières, les eaux usées rejetées se déversent ensuite dans la mer. Le deuxième rejet, c'est le bassin de stockage (décantation) à Cap Falcon, ceci est un bassin en terre, d'une capacité de stockage de 200 000 m³/j, se trouvant à l'Ouest d'Ain El Turck, à proximité de la décharge communale et proche de la zone d'expansion touristique (ZET).

La partie centrale de corniche oranais comporte deux points de déversement importants, le premier se trouve au niveau de Fort Lamoune, son volume déversé est environ 7 966 m³/j, constitue d'un mélange d'eau domestique et industrielle, provient du secteur urbain septentrional (Nord-ouest de la ville d'Oran). Le second est le plus important (Cueva Del Agua), son volume rejeté est environ 40 175 m³/j, provient des zones urbaines du centre, de l'Ouest et du Nord de la ville d'Oran. Les eaux usées de la ville d'Oran sont intégralement

rejetées dans la mer sans aucun traitement. On dénombre 11 émissaires urbains, 8 se déversent dans le port même, mais avec une faible importance, les 3 autres principaux débouchent à l'extérieur du port. Les autres points de déversements, d'un nombre de 4, se concentrent dans la partie orientale de la corniche oranais, se sont les points des agglomérations d'Arzew, de Batioua, d'Ain El Bia et de Marsa El Hadjaj.

Figure 40. Points de rejets des eaux usées dans la partie Ouest de corniche Oranais
(Google Eerth, 2017)

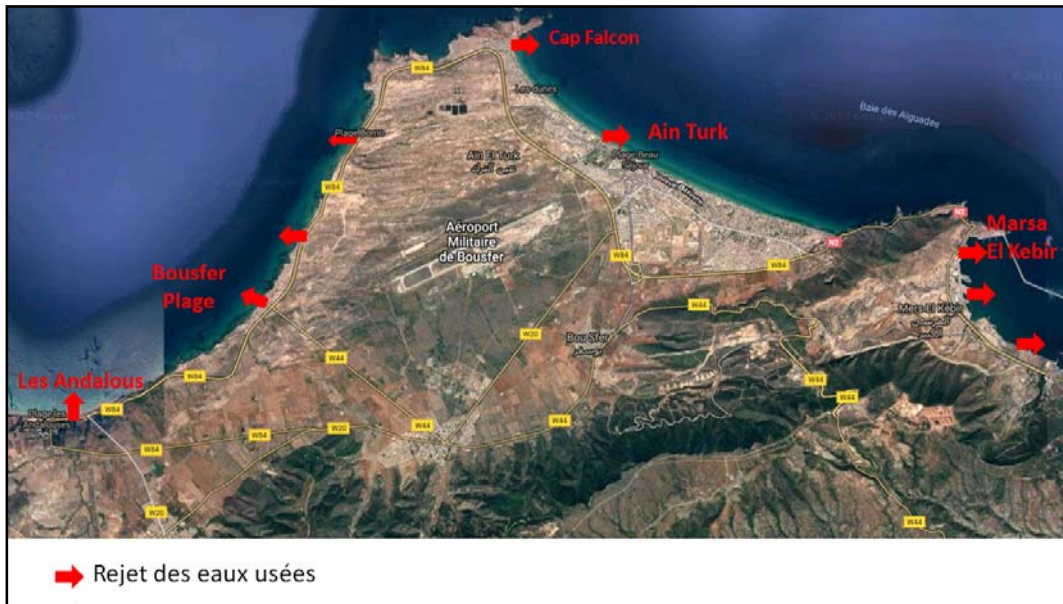


Figure 41. Points de rejets des eaux usées dans la partie Centre et Est de corniche Oranais
(Google Eerth, 2017)



Photo 13. Point de rejet au niveau de la ville d'Arzew (clichée : TAGHEZOUT, 2014)



Photo 14. Point de rejet au niveau des Andalous (clichée : TAGHEZOUT, 2014)



Photo 15. Point de rejet au niveau du port d'Oran (clichée : TAGHEZOUT, 2014)



Finalement, nous pouvons dire que la zone d'étude est caractérisée par une urbanisation importante et la présence des activités industrielles, ce qui a généré une augmentation considérable et alarmante des points de rejet des eaux usées déversées en oued et en mer sans traitement au préalable. Ce type de pollution influence la qualité des eaux de surface, souterraines et marines, en provoquant une dégradation des écosystèmes. Dans ce contexte, il est essentiel d'analyser l'état des lieux en matière de gestion des eaux usées.

II. Etats des lieux en matière de gestion des eaux usées

1. L'assainissement et le raccordement aux eaux usées : une problématique qui monopolise des efforts importants

L'assainissement en Algérie a toujours fait partie des missions relevant du domaine de l'hydraulique et sa gestion est restée indissociable de celle de l'alimentation en eau potable « *l'assainissement a été considéré comme le parent pauvre des investissements du secteur des ressources en eau* » (TALEB, 2006).

Depuis l'indépendance et durant les trois premières décennies, les systèmes d'assainissement hérités de la période coloniale étaient basés sur les égouts qui débouchaient sur les oueds pour finir en mer, en lac ou en barrages, engendrant ainsi la pollution des eaux et du littoral. Cette situation a changé à la suite de la création du ministère des ressources en eau, le 25 octobre 2000. En effet, la gestion de l'assainissement dissociée de celle de l'alimentation en eau potable. La création d'une direction de la gestion de l'assainissement et de la protection de l'environnement au sein de ce ministère s'est concrétisée par une meilleure prise en charge de l'assainissement. D'autant que les pouvoirs publics ont pris conscience de l'urgence qui devait être prise en considération, en matière de réalisation et de rénovation des réseaux d'assainissement et d'infrastructures d'épuration des eaux usées. Le service d'assainissement en Algérie est géré par l'Office National d'Assainissement (ONA).

La zone d'étude, comme toutes les régions de l'Algérie, connue des problèmes concernant l'assainissement, à savoir : l'ancienneté des réseaux d'assainissement, un réseau d'assainissement en majorité du type unitaire qui collecte les eaux usées et pluviales, cause ainsi des problèmes en saison pluvieuse, problèmes de suivi et de curages des réseaux. Le réseau unitaire évacue dans les mêmes canalisations les eaux usées domestiques et les eaux pluviales. Ils cumulent des avantages économiques (un seul réseau à construire et à gérer) et de la simplicité (toute erreur de branchement est exclue, par définition), mais il nécessite de tenir compte des brutales variations de débit des eaux pluviales dans la conception et le dimensionnement des collecteurs et des ouvrages de traitement.

Les agglomérations de la zone d'étude ont hérité non seulement d'un patrimoine urbain (bâtiments, infrastructures et aménagement du territoire), mais aussi d'une attitude envers l'eau urbaine (l'eau arrive par le robinet et repart par l'égout dans une direction inconnue) et d'une organisation institutionnelle pour sa gestion (services d'eau et d'assainissement, etc.).

Les réseaux d'assainissement resteront un problème doivent être pris en compte dans la gestion urbaine, notamment avec l'étalement urbain important. En Algérie, on observe une urbanisation qui ne prend pas en compte la saturation des réseaux d'assainissement, donc une défaillance du réseau et une gestion peu maîtrisée des eaux usées. L'Algérie a engagé depuis plusieurs années un processus de modernisation notamment en secteur de l'assainissement de l'eau usée, qui a été une des priorités centrales des autorités. Dès 2009, l'attention du secteur de l'eau s'est focalisée sur

l'assainissement et plusieurs projets d'envergure ont été lancés comme l'amélioration du taux de collecte des eaux à travers un programme de remise à niveau et d'extension du réseau national d'assainissement. Actuellement, l'Algérie présente le deuxième meilleur taux d'accès à l'assainissement en Afrique, selon les données disponibles sur le site de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 2017.

Au niveau national, le taux de raccordement en réseau d'assainissement a passé de 72% en 1999 à 86 % en 2010, actuellement, il est de 95 % en 2016. Par conséquent, le volume rejeté des eaux usées s'est augmenté d'une façon alarmante, il était 600 millions m³/an en 1999, et s'est passé à 750 millions m³/an en 2010, en 2016, il est de 1.3 milliards m³/an. Ceci est dû essentiellement à l'augmentation de linéaire national du réseau d'assainissement, il était de 21 000 km en 1999, il est de 45 000 km en 2014 selon le ministère des ressources en eaux (2017) et à l'étalement urbain important qu'a connue l'Algérie.

Dans la zone d'étude, le linéaire du réseau d'assainissement est de 5348.1 km avec un taux de raccordement variable d'une wilaya à une autre. La wilaya d'Oran présente le faible taux de raccordement soit 83 % en 2012 avec un linéaire de 2 046 km, Ain Témouchent a un taux de 98 % et un linéaire de 941.35 km, Sidi Bel Abbès a un taux de 95.48 % et un linéaire de 509.9 km et enfin la wilaya de Tlemcen a un taux de 92.53 % et un linéaire de 1 850.89 km.

Le réseau d'assainissement des eaux usées a pour fonction collecter les eaux usées pour les conduire à une station d'épuration ou à un milieu récepteur. La collecte s'effectue par l'évacuation des eaux usées domestiques, industrielles et pluviales, dans les canalisations d'un réseau d'assainissement. Le transport des eaux usées dans les collecteurs se fait en général par gravité, c'est-à-dire sous l'effet de leur poids. Il peut parfois s'effectuer par refoulement, sous pression ou sous dépression. Lorsque la configuration du terrain ne permet pas un écoulement satisfaisant des eaux collectées, on a recours à différents procédés comme le pompage et les stations de relèvement, afin de faciliter leur acheminement (TALEB, 2007).

Les agglomérations de la wilaya d'Oran possèdent des réseaux d'assainissement de deux types séparatif et unitaire (direction d'hydraulique d'Oran, 2016). Elles disposent d'une infrastructure importante à savoir : des réseaux de tous types confondus avec des ouvrages complexes, la cheminée de petit lac, la cheminée en cascade de ravin blanc, les stations de relevages vers la station d'épuration d'El Kerma. Au niveau de la ville d'Oran, le réseau d'assainissement est de type unitaire, évacuant les eaux usées et pluviales au moyen de conduites circulaires et ovoïdes, de déclivité suffisante pour assurer des autos curages.

La ville d'Oran est équipée des réseaux d'Assainissement subdivisés en cinq secteurs correspondant aux bassins-versants topographiques, comme suit :

- le secteur Nord-ouest, dont le réseau collecte le ravin de Ras El Ain et rejette à la mer au niveau de Fort Lamoune (figure 41) ;
- les secteurs Nord-centre et Nord-est, dont le collecteur principal rassemble les eaux à proximité de l'entrée du Port d'Oran, rejet de Cueva Agua (figure 41);

- les secteurs Sud-ouest et Sud-est situés sur le versant orienté vers la Sebkhah, dont les eaux collectées en direction de la cheminée du Petit Lac reliée par une galerie (collecteur visitable) permettant d'évacuer plus de 40 m³/s vers la station d'épuration d'El Kerma (direction d'hydraulique d'Oran, 2015).

Pour les eaux usées de la ville d'Ain Témouchent, elles sont collectées par un réseau d'assainissement du type collectif et séparatif. Les réseaux des eaux pluviales et d'égouts sont reliés à un seul collecteur principal, dont ce réseau est divisé en deux parties, la partie Est et la partie Ouest. Le réseau d'assainissement de la partie Est comporte un grand collecteur du type unitaire au niveau de la rue 1^{er} mai, ce collecteur traverse la route nationale reliant (Oran, Tlemcen) au niveau d'un bassin d'eau avant le déversement final. Les eaux usées collectées de la partie Est sont déversées au niveau d'un châbet sans aucun traitement au préalable (direction d'hydraulique d'Ain Témouchent, 2015). Le réseau d'assainissement de la partie Ouest connut plusieurs collecteurs principaux et lié à la station d'épuration d'Ain Témouchent. Nous distinguons que les eaux usées collectées dans la ville d'Ain Témouchent sont divisées en deux parties, l'une est traitée par la station d'épuration et évacuée vers Oued Sennane, et une autre partie n'est pas traitée et évacuée vers le milieu récepteur sans aucun traitement et pose de sérieux problèmes de pollution.

Concernant la ville de Sidi Bel Abbes, elle-même, connut un taux de raccordement au réseau d'assainissement moyen estimé à 80 % et un linéaire de 620 Km. Ce taux semble assez élevé au regard de déversement dans la nature des eaux usées. L'oued Mekerra qui traverse la ville reçoit des eaux usées des points de rejets répartis sur toute sa longueur (ONA, 2015). Les rejets quotidiens des eaux usées domestiques sont évalués à près de 30 000 m³/jour, seule une partie est pompée vers la station d'épuration de Sidi Bel Abbes, l'autre est déversé dans l'oued Mekerra sans aucun traitement. Tous ces réseaux connaissent des problèmes d'évacuation engendrés par le faible débit et la faiblesse de diamètre utilisé. Le réseau d'assainissement est de type unitaire pour le centre-ville, les anciens quartiers ainsi que les zones Nord et Sud. Les autres zones de la ville disposent d'un réseau du type séparatif. Les eaux pluviales des zones centre-ville, les anciens quartiers ainsi que les zones Nord et Sud sont canalisées par des collecteurs dirigés vers l'oued Elmallah. Par contre les eaux usées et pluviales de la zone Sud et centre-ville sont évacuées vers l'oued Mekerra à travers un déversoir d'orage à l'aval du réseau puis acheminé vers la station d'épuration. La zone industrielle de Sidi Bel Abbes bénéficie d'un réseau d'assainissement du type séparatif, les eaux pluviales sont évacuées vers l'oued Elmallah par des canaux à ciel ouvert du type trapézoïdal. Les eaux usées industrielles sont dirigées à travers d'un réseau vers la station de relevage (direction d'hydraulique de Sidi Bel Abbes, 2009).

Pour ce qui est système d'assainissement de la ville de Tlemcen, elle est dotée d'une configuration topographique favorable au partage du réseau de collecte des eaux usées en trois systèmes dont les terrains ont une tendance gravitaire ce qui facilite l'évacuation des eaux usées. Système central (collecteur de chaabet El Horra) : cette collecte s'occupe du drainage de la partie de Tlemcen (El Kalaa supérieure, El Kalaa inférieure, Tlemcen centre (ville ancienne), cité des cerisiers, cité Bel

Horizon, Agglomération de Boudghéne). Il prend naissance au niveau de la rue des frères Bouafia et se poursuit ensuite à l'Ouest du Tombeau de Rab pour s'achever à l'aval de Feddane Sbaa. Le réseau de collecte des eaux usées de centre de Tlemcen est un réseau unitaire. Les rejets de ce collecteur se déversent vers chaabet El Horra.

Système Est (collecteur de Mechkana) : ce collecteur draine l'ensemble de la partie Est de Tlemcen, sa partie amont commence au pied de la minoterie d'El Kalaa, il traverse la zone de la pépinière pour rejoindre la zone Nord de Feddane Sbaa.

Système Ouest : il est composé de deux sous-systèmes à savoir : le collecteur de la partie Ouest, sa partie amont démarre sur le boulevard de la protection civile de Boudghéne, se rejoint ensuite à la partie de chaabet EL Makhokh jusqu'au Nord de Kiffane.

Finalement, pour ce qui est état de la gestion d'assainissement dans la zone d'étude, nous pouvons dire qu'elle connut différentes difficultés, dus essentiellement à la législation qui met la charge des budgets de fonctionnement et de gestion des réseaux des eaux usées aux communes (APC). Ainsi, nous avons constaté, suite à différentes enquêtes réalisées, que plusieurs habitations sont dotées de fosses septiques que de brancher au réseau d'assainissement. Ce réseau est sous dimensionné, ne peut plus répondre aux exigences d'une population sans cesse croissante. Ceci cause, d'une façon continue, le débordement des eaux usées. Nous avons remarqué aussi une absence de suivi et d'entretien des regards, notamment le curage des réseaux qui permet le bon écoulement des eaux usées dans les quartiers surpeuplés. Notant aussi, les débordements des fosses septiques mal entretenues et mal situés, le choix de l'emplacement des fosses doit suivre des règles générales d'assainissement pour ne pas contaminer les eaux souterraines, ce qui n'est pas le cas dans l'emplacement de ces fosses. Ainsi, le débordement du bassin de décantation par les eaux usées qui constitue un risque majeur de contamination de la nappe phréatique.

Les autres difficultés de la gestion de l'assainissement, c'est : l'ancienneté du réseau d'assainissement, ce réseau ne répond pas au diamètre et au débit des eaux usées, car le système d'évacuation archaïque est dépassé par les extensions urbaines, par la croissance démographique et par la multiplication des usagers. Le dysfonctionnement des stations de relevage suite aux défauts d'équipement, problèmes de gestion, d'entretien et suivi présente l'un des problèmes majeurs de la gestion d'assainissement. Ajoutant à cela l'absence des plans directeurs d'assainissement et d'urbanisme, la prolifération de constructions illicites et habitats précaires dans les bidonvilles qui sont dépourvus de réseaux d'assainissement et déverse leurs eaux usées dans les fosses septiques ou en milieu naturel formant des eaux stagnantes. Ces dernières refoulées à l'extérieur dans des conditions non-hygiéniques constituent un danger permanent pour la santé humaine. Les nuisances liées à ces eaux sont nombreuses, elles souillent par infiltration les nappes d'eau souterraine, les sources et les puits et dégagent des odeurs nauséabondes, et par ailleurs, elles constituent des milieux favorables à la multiplication des vecteurs tels que les insectes, mouches, moustiques.

Tous ces problèmes mentionnés sur l'état critique du système d'assainissement ont contribué à une mauvaise évacuation des eaux usées dans la nature (oueds, mer, fosses septiques) où le phénomène de pollution des eaux souterraines, de surface et de la mer apparaît.

2. L'épuration des eaux usées : manque énorme de traitement des eaux usées urbaines et industrielles

Nous assistons à un manque énorme dans le domaine du traitement des eaux usées urbaines et industrielles, environ 60% des eaux usées sont évacuées dans le milieu récepteur sans aucun traitement, menaçant la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines. Au niveau de la wilaya d'Oran, seulement près de 20 % des eaux usées sont traitées, 80% des eaux sont rejetées dans le milieu sans traitement, la wilaya d'Oran présente un vrai retard vis-à-vis de l'épuration des eaux usées par rapport aux autres wilayas.

C'est une gestion très défectueuse en matière d'assainissement et de traitement des eaux usées qui aggrave la pollution des milieux récepteurs. Selon plusieurs analyses effectuées par l'ANRH, les résultats obtenus indiquent un degré important de pollution des oueds. Ces oueds sont devenus des collecteurs naturels des rejets urbains et industriels non traités.

La quasi-inexistence des stations et le non-fonctionnement des stations d'épuration ont été justifiés par la non-qualification des personnels et/ou de maîtrise technologique ainsi que des moyens financiers. Cette situation alarmante de non-dépollution des eaux usées est un facteur des éléments suivants : absence d'obligation de prétraitement des eaux usées. Absence de mise en charge de la problématique de fonctionnement des stations d'épuration. Sur un volume d'environ de 675 840 m³/j des eaux usées urbaines évacuées, seulement 302 409 m³/j sont traitées par 16 stations d'épuration existantes (tableau 28).

Tableau 28. Répartition des stations d'épuration et volume d'eaux traitées

Wilayas	Stations	Type de stations	Capacité m ³ /j	Volume moyen traité m ³ /j	Situation
Oran	El Kerma	À boue activée	270000	201400	/
	Ain El Turk	À boue activée	30000	30000	/
Ain Témouchent	Emir Abdel Kader	Lagunage naturel	480	406	/
	Ain El Arbaa	Lagunage naturel	1920	1024	/
	El Maleh	Lagunage naturel	2640	/	/
	Hassi El Ghella	Lagunage naturel	2220	/	/
	El Amria	Lagunage naturel	4221	1164	/
	Sidi Safi	Lagunage naturel	1200	266	/
	Ain Témouchent	À boue activées	13500	13500	/
	Bouzedjar	À boues activées	2280	531	/
Sidi Bel Abbes	Sidi Bel Abbes	À boue activées	28000	15137	/
	Molay Silisser	Lagunage aéré	833	820	/
	Ras El Ma	Lagunage aéré	5882	1068	/
Tlemcen	Maghnia	À boue activée	30000	18906	/
	Tlemcen	À boue activée	30000	29263	/
	Sidi Snousi	Lagunage naturel	1440	1332	/

Source : ONA, juillet 2017

Stations d'épuration à boue activée : le procédé à boues activées a été découvert en 1914 à Manchester (DHAOUADI, 2008). Le principe du procédé à boues activées consiste donc à provoquer le développement d'un floc bactérien dans un bassin (bassins d'aération) alimenté en eau usée à traiter. La suspension boueuse contenant la flore bactérienne épuratrice contenue dans

le bassin d'aération s'appelle boues activées et c'est elles qui absorbées la matière organique, les composées azotées peuvent aussi oxyder par les phénomènes de nitrification dénitrification (DHAOUADI, 2008).

Stations d'épuration par lagunage naturel ou aéré : le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins pendant un temps suffisamment longs pour réaliser les processus naturels de l'auto épuration. Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur. Le principe général consiste à recréer, dans des bassins, des chaînes alimentaires aquatiques. Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matières vivantes par les chaînes trophiques. Les substances nutritives sont apportées par l'effluent alors que les végétaux sont les producteurs du système en matière consommable et en oxygène. On distingue le lagunage aéré et naturel (DHAOUADI, 2008).

Les stations d'épuration des eaux usées d'El Kerma, d'Ain El Turk, de Sidi Bel Abbès, de Maghnia, de Tlemcen et d'Ain Témouchent sont des stations par boues activées.

2.1. Station d'épuration des eaux usées d'El Kerma : les eaux épurées de fortes teneurs en nitrates

La STEP d'El Kerma est localisée dans la commune d'El Kerma (wilaya d'Oran) en bordure Nord-est de la grande Sebkha, entre la voie ferrée et la route nationale, elle occupe une surface de 26 ha, elle a été mise en exploitation en 2011, elle prend en charge toutes les eaux usées des communes d'Oran, Es Senia, Bir El Djir, Sidi Chami, et El Kerma. Son volume d'eaux usées traitées est près de 274 000 m³ pour une population de 1 526 000 d'habitants. Elle est gérée durant les deux premières années par le partenaire autrichien chargé des équipements, ensuite, elle a été gérée par l'office national de l'assainissement (ONA). La station compose deux directions, Wabag qui fait la réalisation des ouvrages et la gestion de la STEP avec la direction hydraulique. La ville d'Oran est accordée à un réseau d'assainissement relié à la station de pompage (petit lac), cette dernière pompe les eaux usées vers la station d'El Kerma. Malheureusement, seulement une partie des réseaux d'assainissement sont liés à la station de pompage.

Les eaux usées brutes passent par plusieurs phases de traitement et seront rejetées vers la sebkha d'Oran dont la qualité physico-chimique est représentée en tableau 29.

Photo 16. Vue générale de la STEP d'El Kerma (clichée : STEP El Kerma, 2014)



Figure 42. Vue satellitale de la STEP d'El Kerma (Google Earth, 2016)



Tableau 29. Analyse physicochimiques des eaux entrées et sorties de la STEP El Kerma pour la moyenne de l'année 2011

Paramètres	Eaux entrées	Eaux sorties	Rendement %
DCO (mg/l)	769.66	61.13	96
DBO5 (mg/l)	351.7	12.03	97
MES (mg/l)	434.7	17.48	96
NH4 (mg/l)	58.28	17.13	71
PO4 (mg/l)	5.05	1.88	40
NO3 (mg/l)	3.2	10.47	nuls

Source : STEP El Kerma, 2011

Les eaux résiduaires traitées ont montré un rendement épuratoire de 96% des matières en suspensions (MES), un taux d'abattement de la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO5) entre 96% à 97%, le rendement épuratoire de NO3 est nuls, PO4 est de 40%, NH4 est de 71%. Ces valeurs indiquent que le traitement base sur la pollution carbonée et il néglige tous les autres polluants, car la station ne possède pas d'un traitement tertiaire. La nitrification est faible et la dénitrification est nulle, ceci est dû à l'annulation de la phase d'anoxie et la faiblesse de la déphosphoration, suite à l'inexistence d'un bassin d'anaérobie et un manque l'injection de produit chimique pour la précipitation de phosphore (OULHADJ, 2014).

Le rejet de ces eaux usées traitées vers la sebka d'Oran provoque une pollution organique et une pollution par les nutriments, ce qui provoque un phénomène irréversible « eutrophisation de la sebka d'Oran ». Dans ce cas, il est déconseillé de réutiliser ces eaux épurées en agriculture, elles contiennent des teneurs importantes de nutriments conduits, par conséquent, à une pollution de la nappe phréatique.

2.2. Station d'épuration des eaux usées de Sidi Bel Abbes : eaux usées traitées contaminées par les eaux industrielles

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Sidi Bel Abbes est située au Nord-est de la ville, sur la rive d'oued Mekerra, d'une superficie de 8 ha, réalisée en 1995. Cette station traite les eaux usées domestiques proviennent de l'agglomération de Sidi Bel Abbes. Elle est d'une capacité de traitement de 30 000 m³/j pour 220 000 Eq/hab, évacuées dans un chaâbet au niveau de la route de Terga. Les taux de raccordement du réseau à la station sont de 70 %, donc 30 % des eaux usées sont déversées sans aucun traitement au niveau de l'oued Mekerra et l'oued Elmallah (direction d'hydraulique de la wilaya de Sidi Bel Abbes, 2009). La station reçoit environ 6 000 à 7 000 m³ quotidiennement au lieu de 30 000 m³, soit un taux d'utilisation à peine de 25 %. Les principales caractéristiques de la station sont présentées dans le tableau 30.

Tableau 30. Caractéristiques de la station d'épuration de Sidi Bel Abbes

Caractéristiques	Minimales	Maximales
Type de réseau	Unitaire	Unitaire
Nature des eaux	Domestique	Domestique
Population raccordée Equi/Hab	220 000	330 000
Débit journalier	28 000 m ³ /j	42 000 m ³ /j
Moyen	1 167	1 750 m ³ /h
Pointe temp .sec	1 910	2 820 m ³ /h
Diurne sur 14 h	2 000	3 000 m ³ /h
Pointe temp. pluie	2 920	4 375 m ³ /h

Source : Direction d'hydraulique de la wilaya de Sidi Bel Abbes 2009

Malgré l'existence de cette station, le problème de pollution d'oued Mekerra reste posé, et ce, à cause d'une capacité insuffisante de traitement, de la mauvaise gestion de la station, des personnels non spécialisés et non qualifiés et les pannes techniques.

Les effluents urbains reçus au niveau du réservoir d'orage subit un ensemble d'opération qui constitue la chaîne du processus. Le procédé d'épuration installé est basé sur le principe des boues activées. C'est une opération biologique où la pollution organique représentée par la demande biochimique en oxygène (DBO5) est réduite par des micro-organismes dans un bassin qui joue le rôle de réacteur biologique. Émanant du ce réacteur, des opérations de prétraitement sont effectuées en un dégrillage où les matières grossières entraînées par les eaux sont retenues par des grilles. Ces opérations de dégrillage sont suivies par un dessablage et déshuilage aéré. En aval du réacteur biologique, les eaux chargées de boue sont décantées dans un réacteur raclé appelé décanteur secondaire. Les eaux clarifiées sont dirigées vers un bassin de désinfection avant leurs rejets dans l'oued Mekerra (BENSALEM, 2008).

Figure 43. Vue satellitale de la station d'épuration de Sidi Bel Abbes (Google Earth, 2016)



Afin de détecter la pollution via des eaux usées déversées dans l'oued Mekerra et d'évaluer le bon fonctionnement de la station, nous avons basé sur les analyses physico-chimiques des eaux usées brutes et des eaux usées traitées. Les résultats du tableau 30 distinguent que ces eaux contiennent des matières en suspension (MES) élevées dépassant les normes algériennes des rejets, une DBO5 et une DCO restent élevées dépasse les normes malgré l'épuration biologique, ceci est expliqué par l'insuffisance de l'aération dans le bassin biologique et la présence des huiles à la surface des eaux dans les bassins d'aération, conduit à une diminution de la pénétration de l'oxygène. La forte

charge en phosphore est traduite par l'absence de la technique de déphosphoration dans la station d'épuration de Sidi Bel Abbès.

Tableau 31. Qualité physico-chimique des eaux usées brutes et traitées par la STEP de Sidi Bel Abbès

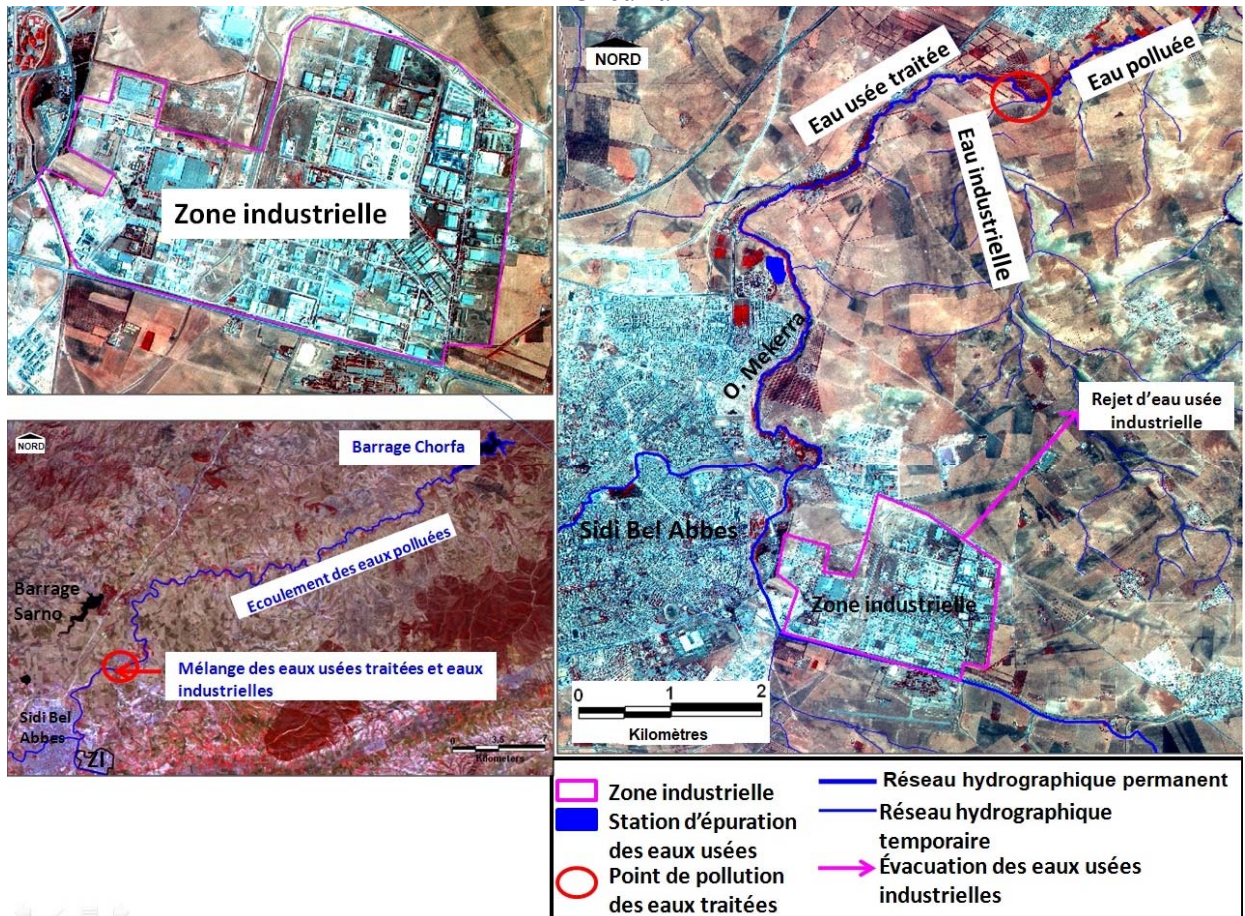
Paramètres	Eaux usées brutes	Eaux usées traitées	Normes
PH	7.5	7.15	07
MES (mg/l)	180	59	35
Nitrates (mg/l)	29.6	0.63	50
Nitrites (mg/l)	5.3	0.33	/
Phosphore (mg/l)	1.5	0.85	02
Sulfates (mg/l)	300	55	250
Zinc (mg/l)	0.11	0.02	03
DBO5 (mg/l)	608	52	35
DCO (mg/l)	855	420	120

Source : STEP de Sidi Bel Abbès, 2008.

La présence des métaux lourds dans les eaux non traitées est interprétée par le déversement des stations de lavage et des eaux usées industrielles et qui ne respectent pas la réglementation des déversements dans le réseau d'assainissement. Après épuration, on note la présence de ces métaux, cela est expliqué par l'absence du traitement chimique dans la station. Enfin, nous pouvons dire que malgré les traitements des eaux usées de la ville de Sidi Bel Abbès, ces eaux resteront polluées, donc la station présente un fonctionnement moyen de traitement.

Notant aussi que Sidi Bel Abbès dispose d'une zone industrielle située à l'Est de l'agglomération. Elle est considérée comme le troisième pôle industriel de la région Ouest Algérienne. Elle s'étend sur une surface de 434 ha. Elle dispose d'un tissu industriel diversifié : électronique, machinisme agricole, agroalimentaire et parapharmaceutique. La zone industrielle utilise un volume considérable d'eau évacuée dans le réseau domestique plus de 80 %. Ces eaux usées industrielles riches en matières organiques et métaux lourds sont évacuées vers oued Elmallah (effluent d'oued Mekerra). Les deux stations d'épuration existant au niveau du complexe de production du matériel agricole et l'industrie laitière OROLAIT sont en état d'arrêt. Donc l'oued est devenu le déversoir de toutes les unités industrielles, la majorité de ces unités ne sont pas équipées de dispositif de traitement des eaux qui conduit à une accumulation des résidus industriels dans l'oued. Ceci contribue ainsi, de façon forte significative, à la pollution des eaux usées traitées déversées dans l'oued Mekerra après le joint de l'oued avec l'oued Elmallah, et par la suite contribue à la pollution des eaux du barrage de Cheurfa (BENSALEM, 2008) (figure 44).

Figure 44. Rejet des eaux usées industrielles ; pollution des eaux traitées et eaux du barrage de Cheurfa



Source: image satellitaire Alsat 2, 2016

Des analyses physico-chimiques de quatre principaux sites des eaux usées ont été effectuées par le laboratoire de la station d'épuration des eaux usées de Sidi Bel Abbas (tableau 32) (BENSALEM, 2008), à savoir :

St1 : site situé à la station de pompage des eaux usées vers la STEP (eaux usées brutes).

St2 : site situé à la sortie de la STEP où sont déversées les eaux épurées vers l'oued (eaux usées traitées).

St3 : site localisé à 500m du point de rejet des eaux épurées dans l'oued Mekerra. Il est choisi pour contrôler le devenir de la qualité des eaux épurées (possibilités d'utiliser les eaux épurées).

St4 : site localisé après le confluent de l'oued Mekerra avec l'oued Elmallah.

Tableau 32. Résultats des analyses physico-chimiques des eaux des 04 échantillons

	Unité	St1	St2	St3	St4	Normes Algériennes
T	C°	23.1	22	21.3	21	30
PH		7.50	7.15	7.24	07	07
MES	Mg/l	180	59	360	480	35
Nitrate	Mg/l	29.6	0.63	0.71	24	50
Nitrite	Mg/l	5.3	0.33	0.86	0.56	ND
phosphate	Mg/l	1.5	0.85	05	2,6	02
Sulfates	Mg/l	300	55	186	175	250
Fe²⁺	Mg/l	trace	trace	trace	1,25	05
Cyanure	Mg/l	/	/	/	/	0.1
Zinc	Mg/l	0.11	0.02	2.56	4.1	03
Cu²⁺	Mg/l	/	/	0.15	0.61	03
DBO₅	Mg/l	608	52	410	556	35
DCO	Mg/l	855	420	650	710	120

Source : BENSALÉM, 2008

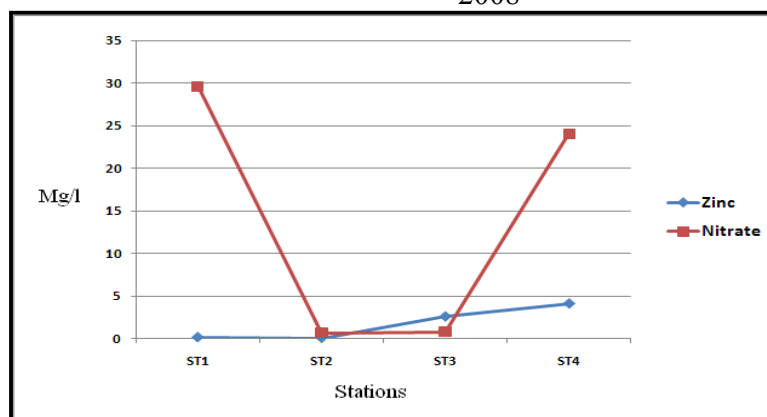
Tableau 33. Résultats des analyses microbiologiques des eaux des 04 échantillons

Germes pathogènes	St1	St2	St3	St4
Coliformes totaux/100ml	332.10 ⁵	232.10 ⁴	340.10 ⁵	180.10 ⁵
Coliformes fécaux/100ml	320.10 ⁵	121.10 ⁴	333.10 ⁵	145.10 ⁴
Streptocoques totaux/ 100ml	201.10 ⁵	101.10 ⁴	260.10 ⁵	232.10 ⁵
Streptocoques fécaux/ 100ml	201.10 ⁴	100.10 ⁴	220.10 ⁴	75.10 ³
Chlostridium/ml	30	19	22	11
Salmonella/ml	Abs	Abs	Abs	Abs
Vibrio-choléra/ml	Abs	Abs	Abs	Abs
E.coli/100ml	32.10 ⁵	34.10 ²	22.10 ⁵	51.10 ²

Source : BENSALÉM, 2008

Dans la station (St4), la forte charge de métaux lourds est expliquée par la nature de déversement de la zone industrielle (BENSALÉM, 2008). Ainsi, nous pouvons expliquer la dégradation des eaux usées traitées par les nitrates est due essentiellement aux rejets des eaux industrielles non traitées (figure 45). L'évacuation d'un volume important de ces eaux amène à une forte pollution des eaux urbaines traitées de Sidi Bel Abbes. À cet effet, la réutilisation de ces eaux en irrigation est devenue dangereuse, c'est une perte d'une ressource vitale et une perte économique. Le rejet des eaux usées dans l'oued Mekerra provoque une forte pollution des eaux du barrage de Cheurfa.

Figure 45. Graphe des valeurs du Zinc et des nitrates au niveau des quatre stations d'analyses en 2008



Source : données BENSALAM

2.3. Station d'Ain Témouchent, solution efficace contre la pollution d'oued El Maleh

La nouvelle station d'épuration d'Ain Témouchent est située sur le côté Nord de la ville, à proximité de la route nationale RN01 vers Terga, elle est limitée à l'Est par le poste police de la ville, au Sud par la route nationale RN02 (vers Oran), au Nord par l'oued Sannane, à l'Ouest par des habitations, mise en service en 2013. Actuellement, elle est gérée et exploitée par l'office national de l'assainissement (ONA).

La station traite les eaux usées de la ville d'Ain Témouchent. Sa capacité est prévue pour pouvoir traiter un débit de 10 920 m³/j qui correspond à 72 800 habitants desservis (soit 82 000 équivalents habitants) avec possibilité d'extension à 90 000 habitants desservis (soit 119 000 équivalents habitants) à l'horizon 2030. Elle est du type biologique à boues activées à faible charge avec un traitement tertiaire pour l'élimination du phosphore.

Afin de déterminer les différents paramètres permettant d'évaluer le niveau de pollution dans la station, une série des analyses a été collectées de la moyenne de l'année 2015, l'échantillonnage sur les eaux brutes à l'entrée et les eaux traitées à la sortie de la STEP analysées par le laboratoire de la STEP (tableau 34).

Tableau 34. Analyses des eaux usées entrées et sorties de la STEP d'Ain Témouchent en 2015

Paramètres	Eaux de l'entrée	Eaux de la sortie	Norme	Rendement d'abattement
MES (mg/l)	200.4	7.8	35	94.75 %
DBO5 (mg/l)	252.5	6.05	35	97.48 %
DCO (mg/l)	491.15	36.4	120	91.99%
Azote total (mg/l)	48.62	9.84	15	/
Azote ammoniacal (mg/l)	34.6	7	/	/
Phosphore total (mg/l)	11.6	4.28	2	/
O2 dissous (mg/l)	0.69	2.34	/	/

Source : ONA d'Ain Témouchent

La valeur de la matière en suspension (MES) pour les eaux traitées est inférieure aux normes, ces résultats confirment l'efficacité du clarificateur. Les valeurs de la DBO5 et la DCO sont ainsi

largement inférieures aux normes des rejets, pour les valeurs du phosphore total, cette valeur dépasse la norme de rejet (2 mg/l), ce dépassement peut être due au processus de déphosphoration incomplète. Selon ces résultats, on remarque que la nouvelle STEP d'Ain Témouchent fonctionne en aération prolongée, malgré qu'elle était conçue pour fonctionner à faible charge, cela est due aux faibles débits entrant à la station. Cette dernière présente un bon fonctionnement et un bon rendement épuratoire, ainsi que les rejets sont de meilleure qualité et peuvent être utilisés pour l'irrigation.

Figure 46. Vue satellitale de la station d'épuration à boues activées d'Ain Témouchent en 2016 (Google Earth, 2016)



2.4. Station d'épuration de Maghnia : un bon rendement épuratoire et une solution pour remédier à la pollution du barrage de Boughrara

La station d'épuration de la ville de Maghnia est située à 5 km au Nord-ouest de cette ville, elle est mise en service en 1999, gérée et exploitée actuellement par l'office national de l'assainissement (ONA), elle occupe une surface de 11 ha. Les principales caractéristiques de la station sont présentées dans le tableau 35.

Tableau 35. Caractéristiques de la STEP de Maghnia en 2015

Paramètres	Unité	Valeurs
Type de réseau	Unitaire	/
Nature des eaux brutes	Domestiques	/
Population	EQ/Hab	150000
Débit journalier	m ³ /j	29400
Débit à déverser en cas de pluies	m ³ /h	30312
DBO5 journalière	kg/j	9614
Matière en suspension	kg/j	17 640
Azote à nitrifier	kg	1880

Source : direction d'hydraulique de la wilaya de Tlemcen

Les eaux brutes provenant de la ville de Maghnia sont amenées par les drains collecteurs. Le premier ouvrage est un déversoir d'orage n'acceptant à la station que 3 266 m³/h. La fraction supérieure à ce débit déborde et rejoint l'oued émissaire via le by-pass général de la station. La

STEP de Maghnia est équipée par deux filières, une pour les eaux usées et l'autre pour les boues, les eaux usées passent par toutes les étapes de prétraitements et traitements biologiques dans la station. Cette station fonctionne sur la base d'un procédé à boue activée avec aération prolongée à l'aide d'aérateur de surface à vitesse lente.

Pour analyser le bon fonctionnement de la station d'épuration, il est nécessaire d'effectuer des analyses des eaux brutes (l'entrée) et des eaux traitées (la sortie) pour les paramètres physico-chimiques et bactériologiques afin d'évaluer le niveau de pollution et le rendement d'élimination des pollutions. Nous avons collecté les analyses des paramètres suivantes : T°, pH, CE, turbidité, DBO₅, DCO, O₂ dissous, MES, NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄, et PO₄ auprès de la STEP de Maghnia en moyenne de l'année 2013 (tableau 36).

Tableau 36. Analyses des eaux usées entrées et sorties de la STEP de Maghnia en 2013

Paramètres	Eaux entrées	Eaux sorties
T c°	11	15.9
PH	7.16	7.27
O ² mg O ₂ /l	1	3.24
Turbidité (NHU)	312.88	48.08
MES mg/l	356.92	38.57
DCO mg/l	694.93	87.07
DBO ₅ mg/l	500	65
NH ₄ mg/l	56.41	39.83
Nitrites mg/l	1.98	0.39
Nitrates mg/l	2.3	0.28
PO ₄ (phosphate) mg/l	18.8	2.72

Source : ONA Tlemcen

Nous remarquons une concentration moyenne faible (1.00 mg/l) d'oxygène dissous pour les eaux brutes, les eaux traitées ont un taux d'O₂ dissous de 3.24 mg/l. Dans ce cas, on note une augmentation des valeurs moyennes mensuelles des concentrations en oxygène des eaux traitées par rapport aux eaux brutes, cette augmentation peut être expliquée par la présence de l'aération artificielle.

Les matières en suspension (MES) représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux usées, leurs quantités à l'entrée sont variées en moyenne de 356.92 mg/l, la concentration à la sortie des eaux est en moyenne de 38.57 mg/l, c'est une valeur supérieure à la norme du rejet. L'augmentation, dans ce cas, dépend de l'origine des eaux usées traitées, où on assiste à une mauvaise décantation de la boue dans le clarificateur.

Les valeurs de concentration de la DCO des eaux brutes sont en moyenne de 694.93, en revanche, les valeurs des concentrations des eaux traitées sont en moyenne de 87.07mg/l avec un rendement d'abattement de DCO est environs de 84.62%. Ces valeurs sont conformes à la norme Algérienne de rejet (<120 mg/l), donc une grande concentration a été éliminée par ce procédé, car il y a une dégradation importante de la charge polluante.

L'eau brute à l'entrée de la station présente une DBO5 de 500 mg /l, cette valeur a été marquée grâce à la charge polluante importante entrée dans la station. Par contre, pour l'eau traitée, on remarque que la DBO5 à la sortie de la STEP est en moyenne de 65 mg/l, cette valeur dépasse les normes. L'augmentation est due soit aux rejets sauvages (huileries, les rejets industriels qui sont raccordés au même réseau d'assainissement), soit à une mauvaise aération.

On remarque aussi une concentration de l'azote ammoniacal entrée dans la station présente une moyenne de 56.41 mg/l, alors qu'à la sortie donne une moyenne de 39.83mg/l. Pour les nitrites, on remarque sa teneur dans les eaux usées brutes et traitées est très faible. D'après les résultats obtenus, la valeur des phosphates (PO_4) est de 18.8 mg/l pour les eaux brutes, concernant les eaux épurées, les concentrations ont une moyenne de 2.72 mg/l. dépasse les normes Algériennes, ceci grâce à la déphosphoration non-complète dans le bassin d'aération.

L'analyse des tous ces paramètres a montré des valeurs qui respectent les normes de rejet à la sortie de la STEP. Une élimination de la DBO₅, la DCO et les MES ont des rendements proches respectifs de 90.04 %, de 84.62 % et de 87.62 %, ce qui donne le bon rendement épuratoire des eaux usées. Ces eaux traitées peuvent être utilisées en irrigation de la plaine de Maghnia.

Figure 47. Vue satellitale de la STEP de Maghenia en 2016



Source : image de Google Earth

2.5. Station de Tlemcen (STEP Ain El Houtz) un modèle à suivre : un bon fonctionnement et une meilleure eau traitée pour l'irrigation de la plaine d'Hennaya

La station d'Ain El Houtz est destinée pour épurer les eaux usées domestiques de Tlemcen par le procédé d'épuration à boues activées à faible charge (ONA, 2015). Dans le traitement biologique des effluents, on fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau. Elle est située à l'Ouest de l'agglomération de Chetouanne, sur la route d'Ain El Houtz, elle est conçue pour une population de 150 000 Eq/Hab et d'une capacité de 30 000 m³/j. Elle a été réalisée par l'entreprise hydrotraitement, elle est mise en service en 05 novembre 2005, elle est gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'Assainissement (ONA). Les principales caractéristiques de la station sont présentées en tableau 37.

Tableau 37. Caractéristiques de la STEP d'Ain El Hout (Tlemcen) en 2015

Paramètres	Unité	Valeur
Type de réseau	Unitaire	/
Nature des eaux brutes	Domestiques	/
Population	EQ/Hab	150000
Débit journalier	m ³ /j	30000
Débit de pointe horaire admis au traitement	m ³ /h	3800
DBO5 journalière	kg/j	9300
Matière en suspension	kg/j	13950
L'équivalence calculée sur la DBO5	EQ/Hab	172000
Azote à nitrifier	kg	1980

Source : direction d'hydraulique de Tlemcen

Photo 17. Vue générale de la STEP d'Ain El Houtz (clichée : STEP Tlemcen, 2015)



Figure 48. Vue satellitale de la station d'épuration d'Ain El Houtz



Source : image Google Earth, 2016

Afin d'évaluer les performances de l'épuration des eaux usées au niveau de la STEP d'Ain El Houtz, nous avons collecté des analyses physico-chimiques en 2014 fournis par les gestionnaires de la STEP (ONA de Tlemcen) figurées en tableau 38.

Tableau 38. Résultats des analyses des eaux usées entrées et sorties de la STEP Ain El Houtz en 2016

Paramètres	Eaux usées entrées	Eaux traitées	Normes	Rendement d'abattement %
MES (mg/l)	308	11.04	35	94
DBO5 (mg/l)	236	18.3	35	92
DCO (mg/l)	391	55	120	89
N-NH4 (mg/l)	34.7	4.03	5	91.89

Source : ONA Tlemcen

Les résultats du tableau 39 montrent une élimination importante des MES par la STEP. À l'entrée de la STEP, leurs teneurs étaient à 308 mg/l, à la sortie de la STEP ont une concentration de 11.04 mg/l largement inférieure à la norme du rejet. Cette diminution est due à la sédimentation des particules au niveau du clarificateur. Le taux d'abattement est donc avoisine de 94 % (BOUMEDIENE et al., 2016).

L'eau brute à l'entrée de la station présente une DBO5 de 236 mg/l, après épuration, les teneurs de la DBO5 diminuent de façon remarquable, elles sont de 18.3 mg/l, qui soit au-dessous la norme du rejet (30 mg /l). Le rendement d'abattement de la DBO5 est de 92 %. La teneur de la DCO dans

l'eau brute est de 391 mg/l, ceci est dû certainement à la pollution minérale apportée par l'effluent, après épuration, la valeur de la DCO enregistre une chute importante et affiche une valeur moyenne de 55 mg/l, elle est au-dessous de la norme du rejet (110 mg/l). Le rendement d'abattement de la DCO est de l'ordre de 89 %.

La mesure du N-NH₄⁺ effectuée à l'entrée de la STEP est de 20.2 mg/l, ce fort taux de concentration est un indicateur de la présence d'une importante pollution azotée dans les eaux usées brutes. En revanche, la concentration en N-NH₄⁺ dans les eaux épurées est 4.03 mg/l, largement faible et inférieure à la norme du rejet. Le rendement d'élimination de l'azote ammoniacal est en moyen de 91,89 %. Ces résultats obtenus confirment la fiabilité de la station en matière de nitrification.

Nous avons collecté aussi des analyses des métaux lourds des eaux traitées de la STEP de Tlemcen, analysées en juillet 2015 présentées en tableau 39.

Tableau 39. Analyses des métaux lourds des eaux usées traitées de la STEP Ain El Houtz en 2015

Paramètres	Zinc	Fer	Fluor	phénol	Mercure	Aluminium	Cadmium
Valeurs mg/l	<0.04	0.03	0.48	0.0002	0.0025	0.0071	0.01

Source : ONA Tlemcen

D'après le tableau 39, on remarque que les résultats des métaux lourds sont largement au-dessous des normes de la réutilisation, ceci implique que le réseau d'assainissement véhicule seulement les eaux usées domestiques non chargées en éléments-traces métalliques.

Enfin, nous pouvons dire que tous ces résultats confirment les performances épuratoires de la STEP de Tlemcen et sa fiabilité en matière de dépollution de l'eau. L'eau traitée ne représente aucun danger pour l'environnement et peut être utilisée pour l'irrigation.

2.6. Stations d'épuration par lagunage : procédure facile, mais nécessite de l'espace

Le lagunage consiste à épurer des eaux usées dans des bassins étanches à l'aide de microorganismes d'algues ou de plantes aquatiques. C'est un traitement biologique, donc écologique, respectueux de l'environnement, facilité par les rayons solaires. Il constitue une alternative fiable, intéressante et assez peu coûteuse et s'avère encore plus efficace dans l'élimination des substances pathogènes.

Au niveau de la zone d'étude, il existe 9 stations par lagunage dont 6 au niveau de la wilaya d'Ain Témouchent, nous avons pris deux stations testes pour voir le rendement épuratoire, l'une au niveau de la wilaya d'Ain Témouchent (station d'Emir Abdel Kader) et l'autre au niveau de la wilaya de Tlemcen (Station Sidi Senoussi).

Le lagunage de Sidi Senoussi est un lagunage naturel, les eaux traitées sont de nature domestique. Le volume de l'eau traité annuellement est de 838 m³/j, la date sa mise en service est décembre 2007, ce lagunage est composé d'une filière de prétraitement (dégrillage et dessablage), et d'une filière de traitement biologique composée de six bassins, qui sont répartis suivant trois étages : deux bassins anaérobies, deux bassins facultatifs, deux bassins de maturation.

Le lagunage naturel d'Emir Abdel Kader traite les eaux domestiques, le volume d'eau traité annuellement est de 314 m³/j, sa date de mise en service est mai 2005. Ce lagunage est constitué par une filière de prétraitement, d'une filière de traitement biologique (un bassin de lagunage facultatif, et un bassin de maturation), et d'une filière de traitement tertiaire se compose d'un décanteur et un désinfecteur, malheureusement cette filière n'a jamais été fonctionnelle.

Pour ces deux lagunages, des analyses des paramètres MES, DBO ; DCO, N-NH₄⁺, N-NO₃ ont été collectées auprès de l'ONA pour la moyenne de l'année 2012. Les résultats des eaux entrantes et sortantes sont présentés dans le tableau 40.

Tableau 40. Résultats des analyses des eaux usées entrées et sorties des stations de Sidi Snouci et Emir Abdel Kader en 2012

Paramètres	Station Sidi Snoussi		Station Emir Abdel Kader	
	Eau entrée	Eau sortie	Eau entrée	Eau sortie
MES (mg/l)	310	130	600	420
DBO5 (mg/l)	209.74	59.36	467	45.46
DCO (mg/l)	800	132.24	650	121.72
Ammonium (mg/l)	108.8	54.55	101.9	21.8
No ₃ (nitrite) (mg/l)	32.74	24.32	38.4	20.38

Source : ONA

D'après ces résultats, nous pouvons dire pour les paramètres MES et DBO₅, DCO et N-NH₄, leurs concentrations dans les eaux épurées ne sont pas conformes aux normes de réutilisation et de préservation du milieu récepteur. Donc ce système d'épuration ne suffit pas seul pour avoir des eaux épurées adéquates pour une réutilisation agricole, et même pour une préservation du milieu naturel par rapport aux stations à boues activées. Mais reste, quand même, une solution efficace pour préserver les milieux récepteurs.

3. Aspect législatif des eaux usées : l'état a initié de profondes réformes réglementaires

Dans le domaine de l'assainissement et l'épuration des eaux usées, de la protection des ressources en eaux, les efforts entrepris par l'Algérie, durant la décennie en cours, et notamment les deux dernières décennies, ont permis d'enregistrer des améliorations remarquables. Tous les efforts engagés, tant sur le plan des investissements, que sur le plan institutionnel et organisationnel, s'articulaient autour de la protection de la ressource en eaux.

« La situation actuelle en Algérie se caractérise par un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles. La croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux dernières décennies écoulées, un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole et par conséquent un rejet important des eaux usées urbaines et industrielles » (KHELFAOUI, 2013).

En face de cet état, les autorités Algériennes ont initié de profondes réformes réglementaires, il s'agit de la modification de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant le code des eaux, par la nouvelle loi du n°05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau, la présente loi (183 articles) fixe les

principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale. Le texte comprend 10 titres, à savoir : Dispositions préliminaires (I); Régime juridique des ressources en eau et infrastructures hydrauliques (II); Protection et conservation des ressources en eau (III); Instruments institutionnels de la gestion intégrée des ressources en eau (IV); Régime juridique de l'utilisation des ressources en eau (V); Services publics de l'eau et de l'assainissement (VI); Eau agricole (VII); Tarifications des services de l'eau (VIII); Police des eaux (IX) et Dispositions transitoires et finales(X).

Les objectifs assignés à l'utilisation, à la gestion et au développement durable des ressources en eau dans cette loi visent à assurer la préservation de la salubrité publique et la protection des ressources en eau et des milieux aquatiques, la recherche et l'évaluation des ressources en eau superficielles et souterraines ainsi que la surveillance de leur état quantitatif et qualitatif, la valorisation des eaux non-conventionnelles, la protection et la préservation des ressources en eau sont assurées par des périmètres de protection, l'alimentation en eau potable et industrielle et l'assainissement constituent des services publics.

À travers la lecture de la loi N° 05-12 du 04 août 2005, nous avons essayé d'identifier les nouveaux principes de la nouvelle politique nationale de l'eau : le droit de l'eau (article 03), l'eau et l'assainissement comme des services publics, consacré par l'article 100, de l'économie de l'eau, l'article 4.

Dans cette loi, au niveau du chapitre 4, articles 44 et 45. Les rejets d'effluents, les déversements ou les dépôts de matières de toute nature ne présentant pas de risques de toxicité ou de nuisance dans le domaine public hydraulique sont soumis à une autorisation dont les conditions et les modalités d'octroi sont fixées par voie réglementaire. L'autorisation prévue à l'article 44 ci-dessus est refusée notamment lorsque les effluents ou matières sont de nature à nuire : à la capacité de régénération naturelle des eaux ; aux exigences de l'utilisation des eaux ; à la santé et la salubrité publique ; à la protection des écosystèmes aquatiques ; à l'écoulement normal des eaux ; aux activités de loisirs nautiques. Mais malheureusement, ces articles ne sont réellement applicables dans la région, car ce qui est réellement applicable, c'est que tous déversements dans la nature nuire les ressources en eau et leurs utilisations. Les autorités locales n'ont pas pris en considération l'application correcte de ces articles.

L'article 46 interdit tout déversement ou rejet d'eaux usées dans les puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics, oueds à sec et canaux, tout dépôt ou enfouissement de matières insalubres susceptibles de polluer les eaux souterraines, l'introduction de toutes matières insalubres dans les ouvrages et installations hydrauliques destinés à l'alimentation en eau, le dépôt et/ou l'enfouissement de cadavres d'animaux dans les oueds, lacs, étangs et à proximité des puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics. Ces derniers restent des interdictions, mais non surveillées, nous assistons à tous ces déversements.

L'article 47, toute unité industrielle dont les rejets sont reconnus polluants doit impérativement prévoir des installations d'épuration appropriées, mettre en conformité leurs procédés de traitement de leurs eaux résiduaires par rapport aux normes de rejet. Ce sont que des articles, la réalité est le

contraire, car presque la majorité des unités industrielles ne disposent pas des unités de traitement et leurs rejets dépassent largement les normes de rejet.

Les autorités algériennes ont exécuté un décret exécutif n° 09-209 du 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration. Un autre décret n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. Un décret n° 10-88 du 10 mars 2010 fixant les conditions et les modalités d'octroi d'autorisation d'effluents non-toxiques dans le domaine public hydraulique. Un décret n° 10-73 du 06 février 2010 relatif à la protection quantitative des nappes aquifères. Un décret exécutif n° 10-23 du 12 janvier 2010 fixant les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées et enfin, un décret n°06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs-limites des rejets d'effluents liquides industriels.

D'autres décrets ont été signés, le décret n°07-149 de 20 mai 2007 qui fixe les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation sous forme de concession ainsi que le cahier des charges-type afférent. Ce décret règle tous les processus d'utilisation des eaux usées épurées par les stations d'épuration, le contrôle technique, la gestion des périmètres irrigués et le contrôle sanitaire ainsi que la qualité de l'eau épurée et des produits agricoles est assurée par les directions territoriales de chaque wilaya sous tutelle de différents ministères : ressources en eau, agriculture, santé, environnement et commerce. Une autre réglementation a été mise en œuvre, c'est l'arrêté interministériel du 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées. Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée.

Généralement, l'aspect réglementaire en matière de protection des eaux et de la gestion des eaux usées est riche et prend en considération tous les points, mais en réalité reste des papiers seulement, car la majorité de ces lois et décrets ne sont pas applicables à 100 %. Cette situation est due essentiellement à l'absence d'une véritable stratégie de leur mise en œuvre (information, vulgarisation, sensibilisation, traduction, suivi), aux aspects financiers mis en œuvre pour cette application et enfin aux propriétaires des unités industrielles et agriculteurs qui doivent être sensibilisés sur ces lois et les conséquences de la non-application.

III. Evolution qualitatif et quantitatif des eaux usées

1. Volume de l'eau rejetée : due aux activités socio-économiques

La production des eaux usées est liée essentiellement aux étalements urbains, à la croissance démographique, aux conditions climatiques (pluviométrie), aux activités économiques et enfin à la gestion de distribution des eaux potables. L'augmentation démographique d'une façon considérable pose de sérieux problèmes tels que : la forte consommation de l'eau et par conséquent un rejet important des eaux usées. Les eaux domestiques en Europe de l'Ouest peuvent atteindre jusqu'à 950 L/hab/j, et même dans certaines régions des Etats-Unis. En Algérie, le volume quotidien est de 200 L/hab/j (ministère de l'hydraulique d'Algérie, 2016).

Nous avons estimé un volume moyen de la charge hydraulique rejetée quotidiennement par l'agglomération oranaise de 141 738 m³/j, soit 51.73 Hm³/an. L'agglomération de Sidi Bel Abbes évacuée quotidiennement un taux d'eau usée environ 839 000 m³/j avec des eaux usées industrielles évaluées à 1 700 m³/j. La wilaya d'Ain Témouchent évacuées des eaux usées estimées à 68 148.35 m³/j, avec un volume de 11 447.8 m³/j pour l'agglomération d'Ain Témouchent, un volume de 5 809 m³/j pour l'agglomération de Hammam Bou Hadjar et 7 857 m³/j pour l'agglomération de Beni Saf. Concernant l'agglomération de Tlemcen, la charge hydraulique domestique est estimée à environ 19 851.15 m³/j, l'agglomération de Maghnia évacue un volume estimé à 14 445.3 m³/j.

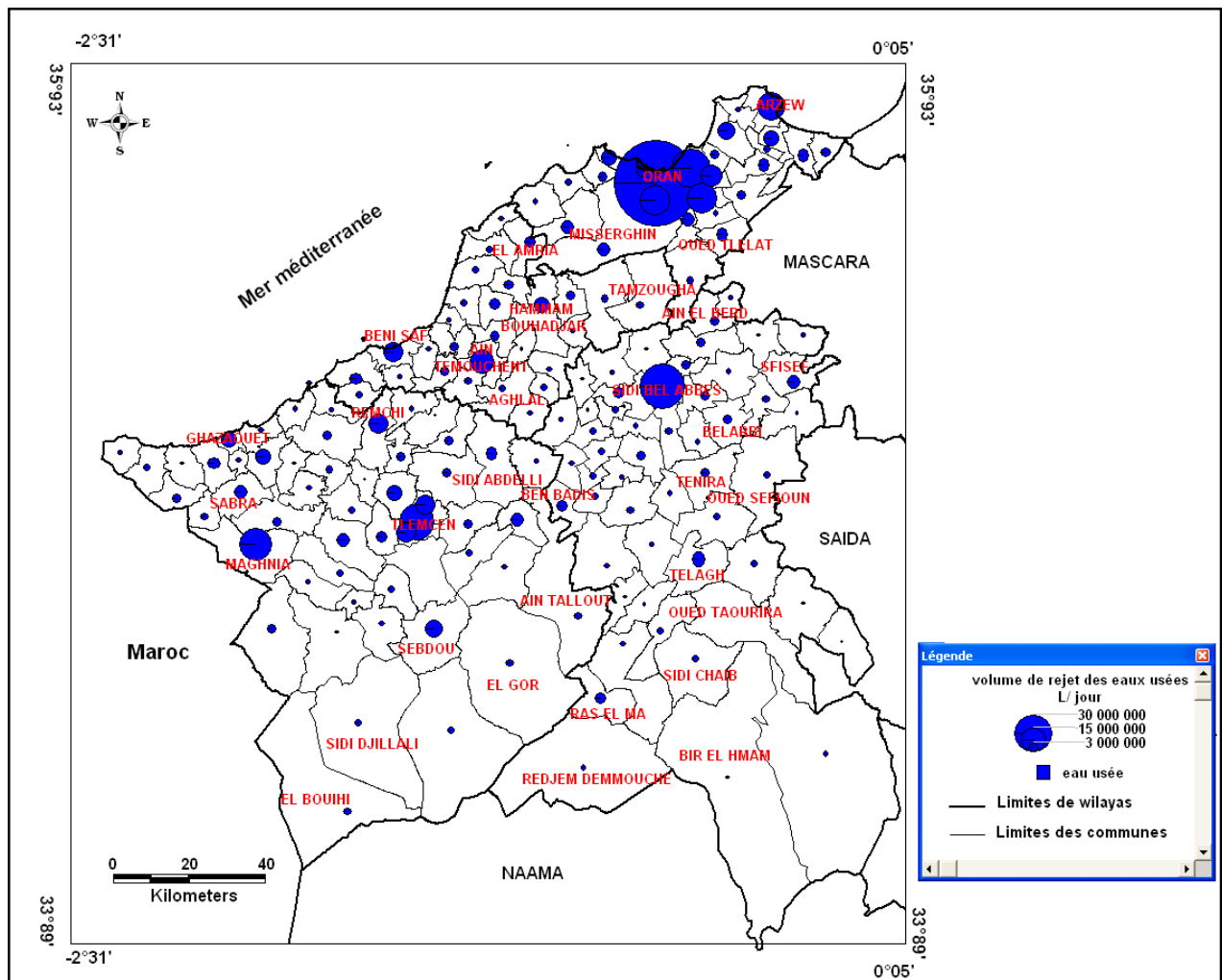
Ce volume est en croissance continue avec l'évolution démographique et les activités économiques. Les eaux usées sont rejetées, majoritairement, en plein milieu naturel sans aucun traitement, conduisent à une menace importante de dégradation des ressources en eaux de surface et souterraine.

Nous avons réalisé une carte de production des eaux usées par wilayas et par communes dans la zone d'étude (carte 50), cette carte traduite :

- Dans la wilaya d'Oran, 9 communes parmi les 26 rejettent plus de 6 000 m³/j, alors que dans la wilaya d'Ain Témouchent, 3 communes sur 28 évacuées plus de 6 000 m³/j, dans la wilaya de Tlemcen 7 communes sur 53 évacuées plus de 6 000 m³/j, par contre, seulement la commune de Sidi Bel Abbes sur 52 évacuées plus de 6 000 m³/j.

Cette situation permet de designer que le problème de l'évacuation des eaux usées est important dans la wilaya d'Oran par rapport aux autres wilayas.

Carte 50. Volume des eaux usées par communes dans la zone d'étude en 2015



2. Aspect qualitatif des eaux usées dans la zone d'étude

La nature qualitative des eaux usées est très variée, dépend de l'origine de ces eaux, il existe 5 types d'origine des eaux usées : urbaines, industrielles, pluviales, hospitalières et des abattoirs.

2.1. Eaux usées urbaines : fortes teneurs en matières organiques

Les eaux usées urbaines proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux-vannes; il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

Un effluent d'eaux usées domestique non traité comporte des teneurs en matières en suspension (MES) très élevées dépassant les 200 mg/l, une DBO5 qui représente la quantité d'oxygène

consommé par le phénomène d'oxydation et la dégradation des matières organiques, elle dépasse 200 mg/l distingue la forte pollution organique des eaux usées. Le PH des rejets des agglomérations de la zone d'étude montre que ces eaux usées sont relativement neutres avec une valeur moyenne de 7.1. Ces rejets présentent une température plus au moins élevée (30°). Les principaux paramètres de qualité habituellement étudiés pour évaluer de façon indirecte la charge organique globale contenue dans une eau usée sont la demande biochimique en oxygène (DBO5), la demande chimique en oxygène (DCO) et enfin les matières en suspension (MES). Pour ces rejets, les valeurs de la DBO5 sont comprises entre 236 et 600 mg/l, quant à la DCO, les valeurs sont de 391 à 720 mg/l, par ailleurs, les valeurs moyennes en MES sont de 200 mg/l à 480 mg/l. Un autre paramètre important pour distinguer la pollution chimique des eaux, c'est le phosphore, il dépasse 10 mg/l dans les eaux usées urbaines.

Tableau 41. Qualité moyenne des eaux usées urbaines par agglomérations en 2015

Paramètres	Oran, rejet en mer	Ain Témouchent	Maghnia	Tlemcen	Sidi Bel Abbès
PH	9.1	/	7.16	/	7.5
O2 dissou mg/l	0.44	0.69	1	/	/
DBO5 mg/l	347	252	500	236	600
DCO mg/l	720	491	694	391	855
MES mg/l	480	200	356	308	200
Phosphore mg/l	22	11.6	18.8	34.7	/

Source : ONA

Les eaux usées urbaines sont très chargées par les germes pathogènes, dont le nombre moyen de particules virales est de 1000 / 100ml à 100 / 100ml pour les salmonelles.

L'évaluation des paramètres physico-chimiques relatifs aux eaux usées dans la zone d'étude a permis de dégager ces eaux présente une forte pollution organique et bactériologique des milieux récepteurs.

2.2.Eaux usées industrielles : la tannerie d'El Amria, l'unité ENAD, le pôle industriel d'Arzew, la zone industrielle de Maghnia grand pollueurs des eaux de surface

L'eau résiduaire industrielle désigne l'eau qui provient des activités industrielles. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elle peut également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épuration.

La zone d'étude comporte 9 zones industrielles et 31 zones d'activité, les branches de l'industrie sont très variées : *Industrie alimentaire, Industrie agricole, Tannerie et textile, Papeterie, Industrie physique, Industrie chimique, Industrie pétrochimie*. La pollution produite par ces différents types d'activités, dans la zone d'étude, est illustrée dans le tableau 42.

Tableau 42. Estimation de la charge polluante des effluents rejetés par secteur d'activité industriel en 2000

Secteur d'activité	Production de déchets T/an				
	Volume hm ³ /an	DBO5	MES	Azote	Phosphore
Eau et énergie	/	/	/	/	/
hydrocarbures	25.6	4.7	1.5	0.6	/
Mines et carrières	/	/	/	/	/
Industrie sidérurgique, métallique, mécanique, et électrique	132	1.8	86.7	4.8	
Matériaux de construction, céramique, verre	1.7	/	10.4	/	/
Bâtiment et travaux publics	/	/	/	/	/
Chimie, caoutchouc, plastiques	8.3	2	0.7	1.7	/
Industrie alimentaire, tabacs, allumettes	9.5	29.7	25.3	1.1	/
Textiles, confection	20.1	12	6.9	/	/
Cuir et chaussures	0.5	0.6	0.9	/	/
Bois, papiers	14.5	3.5	2.4	/	/
Industrie diverse	/	/	/	/	/

Source: MATE

Au niveau de la zone industrielle d'Ain Témouchent, nous pouvons donner l'exemple de l'entreprise nationale algérienne de détergentes (ENAD), cette unité représente une richesse économique régionale et locale, elle a été considérée parmi les entreprises importantes au niveau national, elle comporte 4 unités de fabrication, elle rejette quotidiennement un volume important des eaux usées industrielles au niveau du chaabet El Ham (un effluent d'oued El Maleh). Pour la fabrication de détergents, elle utilise des matières premières très diversifiées dont parmi elles des matières dangereuses organiques, dont elle évacue des rejets liquides très complexe. L'unité de fabrication de détergentes poudres rejette des eaux savonnées, l'unité de fabrication de matière active rejette des acides sulfoniques. Le tableau 43 montre que les eaux usées brutes industrielles de cette unité sont de très mauvaise qualité, doit faire une interdiction de leurs rejets en nature.

Ces eaux usées industrielles sont traitées par une station d'épuration d'une capacité de traitement 600 m³/j, réalisée en 1994. Ce traitement permet d'éliminer la pollution organique, mais la matière organique et les mousses resteront dans les rejets.

Tableau 43. Caractéristiques des eaux usées industrielles brutes et traitées de l'unité de fabrication de détergent ENAD d'Ain Témouchent en 2014

Paramètres	Eaux usées industrielles	Eaux traitées
PH	9.33	7.96
MES (mg/l)	523	3.19
Matière Actives (mg/l)	255	24.76
Phosphore (mg/l)	153	2.25
DCO (mg/l)	952	64.8
DBO5 (mg/l)	112	13.33

Source : unité de fabrication de détergents d'Ain Témouchent

L'unité de la tannerie Tafna d'El Amria représente, elle aussi, une source de pollution importante par leur rejet non traité acheminer vers la sebka d'Oran. Cette tannerie est une unité de transformation de cuir des peaux des animaux, la matière première destinée à la fabrication des cuirs est la peau brute. Cette fabrication consomme une quantité importante d'eau et de matière chimique et donc par conséquent un rejet important des eaux usées industrielles. Ces rejets liquides, évacués sans traitement, contiennent essentiellement des graisses émulsifiées, des produits mouillants, des sels minéraux, des acides organiques, des micros organismes des champignons et des bactéries, dégagent des mauvaises odeurs durant toute la journée. En effet, d'après les échantillons des analyses des eaux résiduaires de la tannerie analysées par l'ANRH en 2013, les eaux industrielles de cette unité possèdent des teneurs élevées de la pollution organique et des métaux lourds (tableau 44).

Tableau 44. Valeurs des paramètres des rejets liquides de la tannerie Tafna d'El Amria en 2013

Paramètres	MES	RS	Azote Total	Azote organique	DBO5	oxydabilité	PH	Chlorure	SO4	Acide carbonique
Valeurs (mg/l)	126	2879	13	8	155	111	9.5	379	387	128

Source : ANRH

Citant aussi l'exemple de la zone industrielle de Maghnia, dans la wilaya de Tlemcen, qui contribue à la pollution des eaux du barrage de Hammam Boughrara, par ces 4 unités importantes à savoir :

L'ENOF: entreprise des produits miniers non-ferreux et des substances utiles. Elle produit la terre décolorante ainsi que la bentonite de fonderie. Elle rejette 500 m³/j d'eaux chargées en particules d'argile en suspension, en métaux et en métaux lourds. Tous ces rejets se font dans l'oued Ouerdifou.

L'ERAD: entreprise des industries alimentaires et dérivés. L'unité fabrique des produits dérivés de maïs. Elle rejette 600 m³/j d'eaux chargées en gluten dans l'oued Abbès.

L'ECVO: entreprise de céramique vaisselle. Elle rejette 130 m³/j d'eaux très chargées en minéraux dans l'oued Abbès.

L'ENCG: complexe de corps gras. Il produit de l'huile, du savon et de la glycérine. Il rejette 528 m³/j d'eaux chargées d'huiles brutes, de suif et de glycérine. Les rejets se font dans l'Oued Abbès (affluent de l'oued Ouerdifou) (BOUZID-LAGHA et al., 2012).

La nature des rejets des eaux usées industrielles rejetées par ces unités en 2012 est illustrée dans le tableau 45.

Tableau 45. Caractéristiques des eaux usées industrielles de Maghenia en 2012

Paramètre	ECVO	ENCG	ERAD	ENOF
T° eau	19	18	23	18
O2 dissous mg/l	5	2.7	3.7	6.2
Turbidité	1,500	225	612	15
PH	8.3	7.9	5.03	6.37
MES mg/l	2,145	270	914	13
DCO mg/l	130	710	6,700	110
Sulfates mg/l	140	1650	450	>1875
Ammonium mg/l	2.25	14.83	4.19	4.51
Ammoniac mg/l	2.13	14.03	3.96	4.27
Orthophosphates mg/l	1.75	6.75	2.7	0.58
Aluminium mg/l	2.87	73.5	0.57	53.93
Fer mg/l	4.64	1.88	1.27	13.63
Mn mg/l	1.6	4.57	0.24	1.31
Plomb mg/l	0.49	20.38	0.157	0.348
Zinc mg/l	0.24	1.58	0.69	6.75
Cuivre mg/l	0.187	0.8	0.033	0.092
Cr mg/l	0.033	3.25	0.0044	34.46

Source : Direction de l'environnement de la wilaya de Tlemcen

Les rejets de la zone industrielle de Maghenia sont très pollués et en particulier l'unité industrielle de la Maïserie (ARIAD), ces rejets sont très chargés en matières chimiques et organiques, elle représente une pollution organique importante doit faire d'un traitement avant le rejet, une eau dont la DCO et la DBO5 dépassent largement la norme requise. Après fermeture d'une durée d'un mois par arrêter de Monsieur le Wali en 2005, l'unité en question a été contrainte de réaliser une station de traitement de ces eaux, doit être réceptionnée normalement avant le début de l'année 2006, mais cette date n'a pas été respecté et elle rejette actuellement ces rejets sans traitement vers oued Abbès qui rejoint le barrage de Boughrara.

Au niveau de la wilaya d'Oran, nous pouvons donner l'exemple de la zone industrielle d'Es Senia, au moins 18 entreprises industrielles polluantes implantées au niveau de cette zone ont été mises en demeure de cesser le déversement de leurs produits nocifs directement dans la Sebka, il s'agit notamment d'unités de fabrication de peinture, de produits adhésifs et de produits chimiques. Aussi, de nombreuses unités industrielles déversent leurs rejets directement dans le canal des eaux pluviales de la zone industrielle. C'est un important problème de pollution, car ces industries utilisent des produits chimiques très dangereux. Notant aussi d'au niveau de la wilaya d'Oran, elle compte une totale de 4 425 unités industrielles déversent une grande quantité de leurs rejets organiques et chimiques dans la nature. Il a été recensé 52 unités polluantes implantées dans le tissu urbain d'Oran déversent leurs rejets directement vers le réseau d'assainissement urbain de la ville.

Au niveau même de cette wilaya, on note la zone industrielle d'Arzew, cette dernière présente une source importante de pollution des eaux par leur rejet résiduaire industriel, les effluents liquides issus des complexes industriels de liquéfaction GNL (GL1Z, GL2Z, GL4Z et GNL3Z), GPL (GP1Z et GP2Z) et de raffinage du pétrole (RA1Z) sont de types : rejets de refroidissements, eaux pluviales entraînant des huiles et eaux sanitaires. Les eaux de mer de refroidissement sont retournées vers la mer via un canal de rejet après avoir assuré le refroidissement suite à la compression des gaz cryogéniques. Quelques complexes possèdent des stations de traitements des effluents liquides en service et d'autres sont indisponibles. Le dysfonctionnement de ces stations provoque un déséquilibre de l'écosystème marin de la zone.

Le suivi décennal des paramètres DBO5 et DCO des rejets industriels a montré des fréquents dépassements des seuils réglementaires. Cela est dû aux dysfonctionnements des STEP et des stations de déshuilages. Les résultats DCO et DBO ont été portés dans les figures 59 et 60. Les valeurs de ces deux paramètres sont importantes indiquent la pollution organique des rejets industriels de la zone industrielle d'Arzew.

Figure 49. DCO des rejets industriels vers la mer « Baie d'Arzew » en 2014 (TAYEB, 2016)

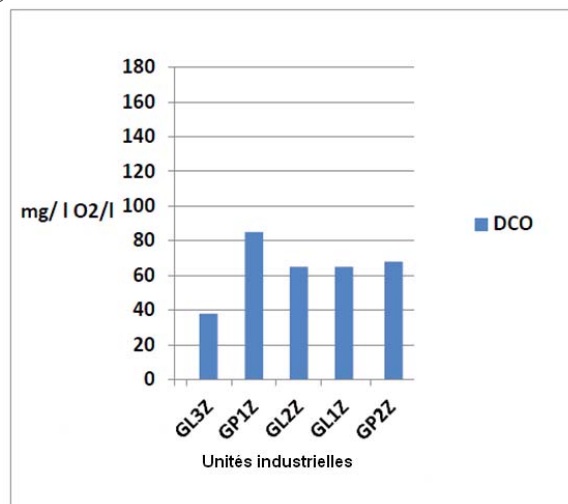
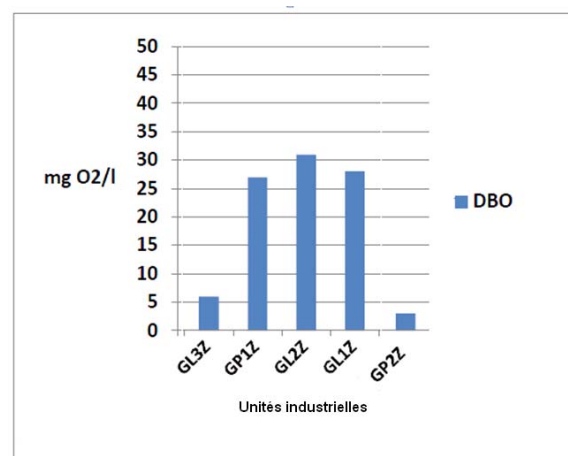
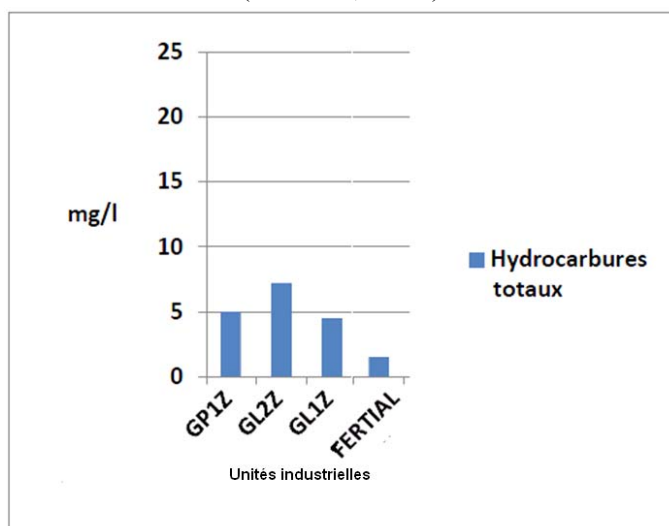


Figure 50. DBO des rejets industriels vers la mer « Baie d'Arzew » en 2014 (TAYEB, 2016)



Les rejets industriels sont contaminés par les hydrocarbures et les huiles. Quoique les taux enregistrés soient inférieurs aux seuils normatifs et réglementaires. Afin de contrôler ces apports au milieu marin de la zone, il faudra maintenir des stations de déshuilages en service et contrôler les opérations de dégazages et de déballastages des navires effectués près de ces côtes.

Figure 51. Taux des hydrocarbures dans les rejets industriels vers la mer, zone d'Arzew en 2014 (TAYEB, 2016)



2.3. Eaux usées des hôpitaux : teneurs importantes des matières toxiques dans la zone d'étude

Les eaux usées des établissements hospitaliers sont proches à des eaux usées domestiques, les études de SATIN et SELMI (1995) donnent les charges polluantes rejetées par lit occupé comme suite : un hôpital d'une capacité de 300 lits donne un rejet de 315 mg/l en matière en suspension (MES), de 579 mg O²/l de DCO, de 225 mg O²/l de DBO et de 21 mg/l de NH₄.

La zone d'étude comporte 37 hôpitaux d'une capacité de 8 945 lits occupés (tableau 46), ce volume présente une charge importante de rejet qui soit 9 387 mg/l en matière en suspension (MES), 17 254.2 mg O²/l de DCO, 6 705 mg O²/l de DBO et 625.8 mg/l de NH₄.

L'hôpital est un grand consommateur d'eau, en effet, par comparaison avec la consommation en milieu domestique dont la moyenne retenue par habitant et par jour est de 150 à 200 litres, pour les hôpitaux la valeur moyenne passée de 400 à 1200 litres par jour et par lit.

Tableau 46. Statistiques des établissements de santé dans la zone d'étude en 2015

Wilayas	Hôpitaux	Lits	Polycliniques	Salles de soins
Oran	14	4480	48	109
Ain Témouchent	5	899	20	71
Sidi Bel Abbès	7	1414	73	97
Tlemcen	4	2152	17	262
Total	37	8945	174	551

Source : directions de la santé

On distingue deux catégories de rejet dans les établissements de santé: les rejets de nature domestique et les rejets spécifiques aux hôpitaux.

Les rejets de nature domestique : on retrouve les rejets des cuisines, les rejets de produits détergents, les rejets des garages et ateliers.

Les rejets de nature spécifique à l'hôpital : sont spécifiques, d'une part de l'activité de soins concernant de nombreux services et d'autre part de l'activité de certains services qui sont:

1. Les rejets spécifiques communs aux différents services de soins: rejet relatif aux produits désinfectants et antiseptiques, rejets de germes pathogènes, médicaments et métaux lourds (mercure).
2. Les rejets spécifiques à certains services de soins: sont, hémodialyse, radiologie, médecine nucléaire, laboratoires et pharmacie.

Après avoir recensé les différents effluents hospitaliers, il est possible de citer trois types de risques potentiels qui sont : un risque infectieux, un risque toxique et un risque radioactif. À cet effet, le rejet de ces eaux usées dans le milieu naturel représente un risque majeur de pollution des ressources en eau doit être pris en compte.

2.4. Eaux usées des abattoirs dans la zone d'étude : très chargées en sangs

Les rejets des abattoirs sont très polluants nécessitent des traitements au préalable avant leurs rejets dans les réseaux d'assainissement, mais malheureusement ces traitements n'existent plus dans les abattoirs, ces eaux sont rejetées en même temps que les eaux domestiques.

Le sang est caractérisé par sa richesse en eau et en protéines et pauvre en glucides et lipides : la matière sèche varie de 15 à 20 %. Ces eaux contiennent des jus des réservoirs digestifs. Les teneurs en pollution issues d'un abattoir donnent des valeurs élevées de DBO (3 000 mg/l), DCO (5 000 mg/l), MES (1 000 mg/l) et les phosphores (26 mg/l), ces teneurs donnent à ces effluents un aspect très pollué.

La wilaya d'Oran, comme titre d'exemple, comporte un total de 17 abattoirs, 15 sont des abattoirs clandestines leurs eaux usées sont rejetées dans la nature sans aucun traitement. Les deux abattoirs existants dans l'agglomération d'Oran rejettent leurs eaux usées dans le réseau d'assainissement urbain (tableau 47).

Tableau 47. Les abattoirs et leurs rejets liquides dans la wilaya d'Oran en 2016

Communes d'Oran	Nombre d'abattoirs	Type	Lieu de Rejet	Nature des Rejets
Oran	2	Abattage de bétail Moutons et Poulet	Réseau d'assainissement	Eaux chargées en matières organiques, graisses, azotes
Mersa El Kebir	13	Abattoir clandestine	Milieu naturel	Eaux chargées en matières organiques, graisses, azotes
Hassi Bounif	1	Abattoir clandestine	Milieu naturel	Eaux chargées en matières organiques, graisses, azotes
Boufatis	1	Abattoir clandestine	Milieu naturel	Eaux chargées en matières organiques, graisses, azotes
Total	17			

Source : direction de l'environnement d'Oran

Le premier impact environnemental attribuable à l'abattoir est sa consommation d'eau, puisque toutes les opérations de production de viande impliquent l'utilisation de l'eau potable, préserver la ressource ne pourrait se faire au prix d'un risque accru pour le consommateur.

La nature organique de l'effluent implique que, dans une situation dégradée ou n'est pas traitée, il peut perturber le milieu récepteur dans lequel il est rejeté, il constitue une source de nutriments qui va déstabiliser les réseaux trophiques du milieu, favorisant la croissance des populations d'espèces saprophytes qui vont coloniser le milieu et dominer les autres espèces, amenant l'écosystème concerné à une réduction de sa biodiversité. Le rejet d'azote et de phosphore est quant à lui impliquer dans le processus d'eutrophisation. Les rejets des abattoirs conduits à un fort risque microbiologique, l'ensemble des études réalisées sur les rejets des abattoirs distingue la dominante des salmonelles qui sont souvent trouvées sur l'effluent brut, les sérotypes présents sont Salmonella, Typhimurium et Enteritidis.

Finalement, nous pouvons dire que ces différents types des eaux usées (urbaines, industrielles, hospitaliers et abattoirs) sont rejetés dans la nature en majorité non traités conduits à une forte dégradation des milieux récepteurs et par conséquent favorisent des nuisances environnementales et humaines. Dans ce contexte, il est utile de développer une méthode d'évaluation des impacts économiques et écologiques et évaluer les risques engendrés par ces rejets en eaux multi-origines.

IV. Méthode d'évaluation de l'impact économique et écologique des eaux usées : évaluation des incidences sur l'Environnement

Plusieurs méthodes ont été abordées au niveau international pour évaluer la sensibilité des milieux à la pollution, dans le cadre de l'évaluation des milieux récepteurs des eaux usées urbaines et industrielles, la méthode la plus reconnue de l'évaluation des rejets et la sensibilité de ces milieux, c'est identifier les impacts et les risques des rejets sur les milieux récepteurs à savoir :

- impact du milieu naturel (cours d'eau, barrage, lac, sebkha et mer) ;
- impact social ;
- Impact économique.

« La notion de sensibilité des milieux est fortement liée à la notion d'impact environnemental qui s'est développée avec la naissance du concept d'évaluation des incidences sur l'environnement (EIE), dont l'origine remonte à 1969, aux Etats-Unis » (CIKANKOWITZ, 2009).

Dans le cadre de cette étude, nous avons suivi une méthode d'évaluation des milieux récepteurs qui s'articule autour de l'Evaluation Détaillée des Risques, c'est quantifier l'impact des rejets sur le milieu naturel et l'aspect socio-économique, ainsi que définir les zones de fort risque de pollution. Nous allons réaliser une carte de risque qui regroupe les trois niveaux de risque, faible, moyen et fort. Nous avons proposé cette méthode permet l'évaluation des risques de dégradation de la qualité des eaux dans les bassins-versants et la mer dans la zone d'étude. Ce prototype méthodologique met en relation les éléments du bassin-versant (réseau hydrographique, barrage et lac) avec le risque de contamination des eaux de surface (points de rejets des eaux usées, traitement des eaux usées, zone industrielle et la qualité physico-chimiques des eaux de surface).

Cette méthode aide à la formulation de plans de gestion des points de captage des eaux brutes destinées à la potabilité et à l'irrigation, face à ces risques de contamination. Le document cartographique élaboré est un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires des ressources en eaux.

La méthodologie s'appuie sur :

- L'analyse des relations entre les milieux récepteurs des eaux usées (réseau hydrographique, mer, lac, barrages, sebkha) et l'état de la qualité des eaux de surface et de la mer permet de mettre en évidence les paramètres de contrôle permettant d'évaluer la dégradation de la qualité des eaux de surface et de mer.
- la production de carte de risques de dégradation de la qualité des eaux sur l'ensemble du réseau hydrographique.

Pour cela, différentes étapes ont été mises en œuvre à savoir :

- La cartographie du réseau hydrographique et la limitation des sous-bassins versants ;
- La localisation des points de rejets des eaux usées en oued et en mer ;
- L'identification des rejets traités et non traités ;
- La localisation des zones industrielles et leurs traitements des eaux usées ;
- L'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de surface, des barrages et de mer ;
- Analyse des relations pressions-état, pour la production de la carte de risque sur la base des flux de contaminants vers les eaux de surface et de mer.

V. Risques liés aux rejets des eaux usées en milieux récepteurs

Les rejets des eaux usées urbaines et industrielles sans traitement dans la nature causent plusieurs impacts sur les écosystèmes, dont le plus important, c'est l'eutrophisation, ou vieillissement prématuré et accéléré d'un plan d'eau. La matière organique contient du phosphore et de l'azote qui sont deux éléments importants pour la survie et la croissance de tout être vivant. Un surplus de ces deux éléments nutritifs provoque la prolifération d'algues et de plantes aquatiques. Ces

dernières peuvent rapidement envahir un plan d'eau ou gêner l'écoulement d'un cours d'eau. Elles consomment également une grande quantité d'oxygène. De plus, les bactéries et autres décomposeurs utilisent l'oxygène dissous dans l'eau pour digérer la matière organique (phénomène naturel exploité dans un traitement d'épuration secondaire). La prolifération des algues et des bactéries dans l'eau provoque une baisse de l'oxygène dans l'eau ce qui étouffe littéralement les poissons et les insectes qui y vivent. L'eutrophisation affecte plusieurs lacs, barrages et cours d'eau en Algérie.

Le rejet des eaux usées dans les oueds et la mer constitue un problème de déséquilibre du milieu écologique d'une part et la perte des eaux de surface sans récupération d'autre part. Ces eaux usées ont une part importante dans la dégradation du milieu récepteur et risquent de constituer à l'avenir la cause essentielle de la pénurie d'eau et des problèmes de santé publique (GHADBANE, 2003).

Les cours d'eau, la mer et la sebkha d'Oran, aujourd'hui, sont devenus un égout à ciel ouvert, ces espaces empoisonnent la vie des riverains en devenant un véritable problème pour l'ensemble de la zone d'étude. L'état actuel de ces espaces est très dégradé. Ils représentent une menace pour la population. Ces espaces constituent des lieux de concentration de microbes et de microorganismes nuisibles, ainsi que de substances dangereuses pour la santé. L'inhalation à faible dose des vapeurs d'eau polluée peut causer l'irritation des yeux, de la gorge, ainsi qu'une toux douloureuse.

1. Risques de rejets des eaux usées vis-à-vis ressources en eaux de surface

La zone d'étude souffre de sécheresse et de stress hydrique. Cette zone est soumise à des conditions climatiques extrêmes et caractérisée par un climat semi-aride et par une irrégularité des précipitations (ordre de 200 à 400 mm). En plus, les importantes agglomérations de la zone, grâce à une augmentation croissante de leurs populations, ont connu une urbanisation rapide et un développement industriel en plein essor. Cette situation s'accompagne par une demande importante en eaux utilisées pour l'alimentation humaine, l'industrie et l'irrigation. Par conséquent, ce développement socio-économique s'accompagne d'une augmentation des débits d'eaux usées rejetées et du degré de la pollution des eaux, avec le stress hydrique, le problème de rareté des ressources en eaux s'aggrave.

Les rejets se font sur environ 167 points importants, dont parmi eux, nous trouverons 138 points dans les cours d'eau qui sont devenus des réservoirs des eaux usées en quantité importante et en évolution rapide. Les eaux usées urbaines sont très chargées en nutriments et en matières organiques et pathogènes, les eaux usées industrielles sont très toxiques, avec le manque énormes des stations dépuración, la pollution des eaux de surfaces s'est aggravée.

1.1. Menace de dégradation et de pollution des eaux d'oued Tafna

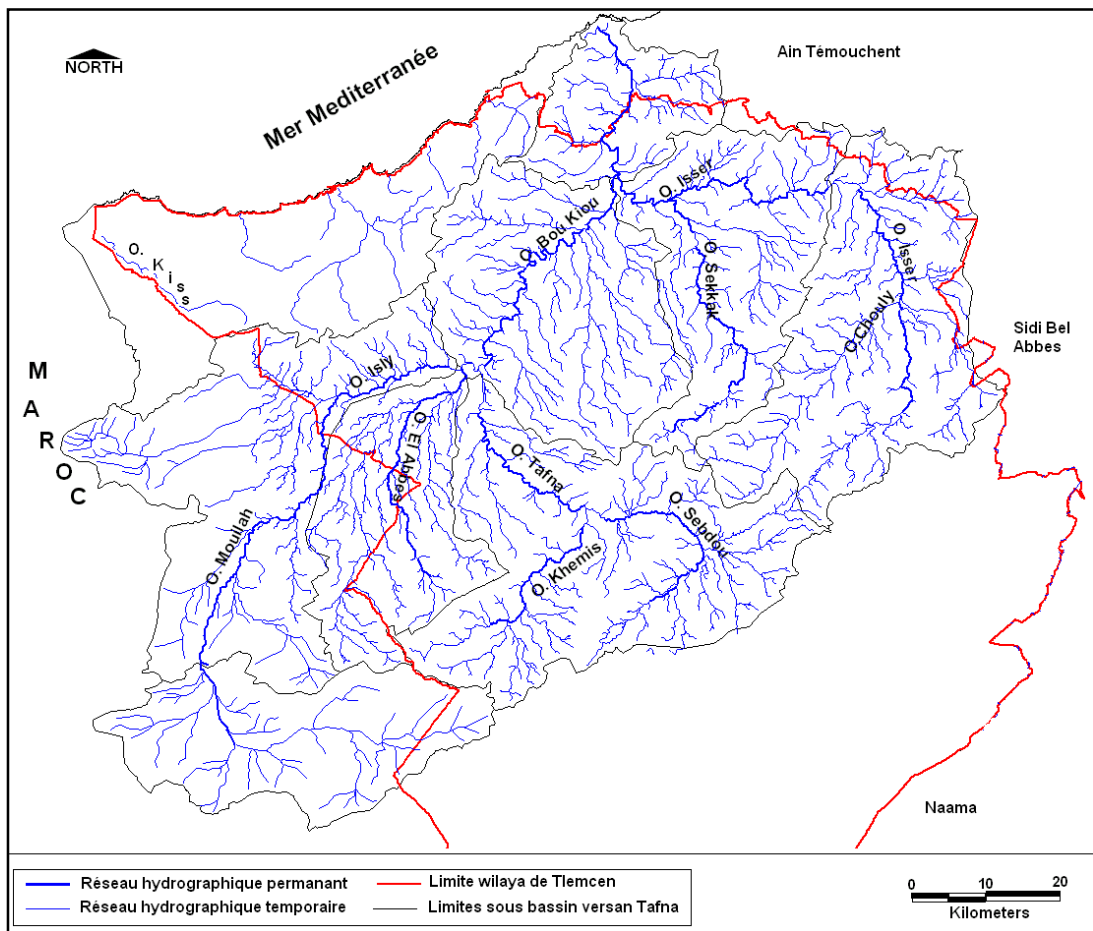
Le bassin de la Tafna est le plus important dans la zone d'étude, à cause de sa disponibilité en ressources hydriques d'une part et sa vulnérabilité, vue la présence de divers sources de pollution (eaux usées domestiques et industrielles) locales et frontalières d'autre part. En effet, jusqu'à la fin des années soixante-dix, le bassin de la Tafna présente une meilleure qualité des eaux. Malheureusement, actuellement, ces eaux superficielles charrient un important rejet domestique et

industriel, souvent non traité, et parfois même toxique, généré par la forte urbanisation et par une activité industrielle très développée.

Les principaux oueds du bassin de la Tafna et qui sont les milieux récepteurs des eaux usées sont comme suite (d'après : agence des bassins hydrographique, cadastre hydraulique bassin Tafna en 2015):

- **L'Oued Tafna** : cet oued représente l'exutoire naturel le plus important à l'échelle de la wilaya de Tlemcen et surtout du bassin. Environ **65%** de la charge hydraulique, est drainée par cet Oued jusqu'à l'embouchure de Rachgoun (vers la mer). La qualité des eaux de cet oued est bonne jusqu'à l'arrivée au barrage de Béni Bahdel. À l'aval, il reçoit les eaux usées des agglomérations environnantes d'une part et celles des différents affluents, eux aussi pollués, d'autre part.
- **L'Oued Kiss** : cet Oued ainsi que ses affluents, représentent un milieu récepteur non protégé jusqu'à l'heure actuelle. En longeant la frontière marocaine, il draine les rejets domestiques de la ville d'Ahfir (Maroc) jusqu'à Marsa Ben M'hidi (embouchure). Il forme également la frontière naturelle avec le Maroc.
- **Oueds Sikkak -Isser** : ces oueds sont les principaux affluents de la rive droite de l'oued Tafna. Ils drainent les sources pérennes des vallées d'Ouled Sidi Belhadj et de Beni Smiel ainsi que les anciennes cascades de l'Ourit. Ce sont les principaux collecteurs des eaux usées de la ville de Tlemcen et du couloir Ain Tellout – Ouled Mimoun en passant par Sidi Abdelli et Bensekrane. L'oued Sikkak est régularisé par le barrage de Sikkak qui au départ du remplissage était pollué par les rejets de la ville de Tlemcen.
- **L'Oued Mouillah** : Principal affluent de la rive gauche de l'oued Tafna. Il prend sa source dans le territoire Marocain pour aboutir dans le barrage de Hammam Boughrara. Il collecte les rejets de la ville d'Oujda, rejets mousseux et de qualité très mauvaise (eaux usées domestiques et industrielles).
- **L'Oued Ouderfou** : cet oued est un affluent de la rive droite de l'oued Mouillah. À travers l'oued Abbès. Il reçoit les rejets de la zone industrielle et domestiques de Maghnia qui sont de mauvaise qualité, dont une bonne partie transite par la station d'épuration.

Carte 51. Carte des oueds du bassin versant de la Tafna



Source : MNT Aster, 2002

Oued Mouillah reçoit les eaux usées urbaines sur 4 points de rejets et les eaux de provenance du Maroc ainsi que les eaux usées industrielles. Les eaux usées de l'agglomération de Maghnia sont traitées, par contre les autres rejets ne sont pas traités, la STEP de Maghnia ne prend pas en charge les effluents industriels. Il est à signaler que les eaux de l'oued Mouillah contaminées par les rejets du côté marocain, véhiculent non seulement une pollution d'origine domestique (eaux usées de la ville d'Oujda) mais aussi les effluents d'origine industrielle (rejets de tanneries surtout) et agricoles (engrais, pesticides et autres). Du côté marocain, nous avons rencontré un manque d'informations précises sur la quantité et la qualité de la pollution domestique, industrielle et agricole.

Photo 18. Prise Mouillah (rejets de Oujda) (clichée : ABH, 2008)



Au niveau du bassin versant de l'oued Mouillah dans le site de la digue, située à 328 m à l'amont du pont sur la RN7, l'oued reçoit essentiellement les rejets provenant du côté Marocain. L'ANRH contrôle périodiquement la qualité des eaux de l'oued Mouillah au niveau de trois points de surveillance des eaux de l'oued, un point est juste au niveau de la digue et un autre au niveau du lac de la digue (seuil) le troisième est près de RN7.

Les rejets, depuis l'amont, sont de diverses origines (domestiques, industrielles, agricoles, locales et transfrontalières), entraînent d'innombrables agents polluants diffusés dans le milieu récepteur du bassin versant de l'oued Mouillah. Nous avons collecté des données sur les analyses physico-chimiques des eaux d'oued Mouillah au niveau de ces 3 points de contrôle, illustrées en tableau 48. Les eaux de surface sont classées en quatre classes de qualité (bonne à très polluée) (tableau 49).

Tableau 48. Qualité physico-chimique des eaux de l'Oued Mouillah en 2012 et 2010

Localisation station	PH	DBO5	O2dissou	NH4	NO3
Près de la RN7 (juillet 2012)	7.9	147	10	42.5	36
Oued Abbès, au niveau du complexe industriel (juillet 2012)	/	24	3.02	1.4	11
Frontière Marocaine (juillet 2010)	7.7	64.8	/	30.8	5

Source : ANRH

Tableau 49. Classe de qualité des eaux de surface en 2017

Classe de Qualité					
Paramètres	Unité	Bonne	Moyenne	Polluée	Très Polluée
DBO ₅	mg O ₂ / l	<5	5 à 10	10 à 15	>15
DCO	mg O ₂ / l	<20	20 à 40	40 à 50	>50
MO	mg O ₂ / l	<5	5 à 10	10 à 15	>15
O ₂ dissout	%	90 à 100	50 à 90	30 à 50	<30
NH ₄	mg / l	0 à 0.01	0.01 à 0.1	0.1 à 3	>3
PO ₄	mg / l	0 à 0.01	0.01 à 0.1	0.1 à 3	>3
NO ₂	mg / l	0 à 0.01	0.01 à 0.1	0.1 à 3	>3
NO ₃	mg / l	<10	10 à 20	20 à 40	>40

Source : ANRH

Les résultats des analyses de la qualité des eaux d'oued Mouillah pour les trois stations montrent une qualité très polluée pour les paramètres DBO5 et NH₄, moyenne pour les nitrates au niveau d'Oued Abbès, bonne qualité au niveau des frontières marocaines et polluée au niveau de la station près de la RN7. Ces résultats montrent la dégradation excessive de la qualité des eaux de surface de cet oued causé par les rejets quotidiens des eaux usées urbaines et industrielles.

Les autres oueds du bassin de la Tafna (Oued Khemis, oued Sikkak, Oued Tafna et Oued Ouderfou) reçoivent une quantité importante des eaux usées dont seulement les eaux de l'agglomération de Tlemcen qui sont traitées.

Oued Khemis présente une qualité moyenne de pollution, par contre les eaux d'Oued Sikkak et Oued Ouderfou sont de très mauvaise qualité et très polluées. La pollution d'Oued Ouderfou est due essentiellement aux rejets de la zone industrielle de Maghnia. L'eau d'Oued Sikkak est chargée en matières organiques et chimiques, cette pollution est due essentiellement aux rejets domestiques et industriels non traités (polluant chimique) de l'agglomération de Tlemcen. Les eaux d'Oued Tafna sont de qualité acceptable (tableau 50).

Tableau 50. Qualité physico-chimique des eaux des oueds du bassin versant de la Tafna

Oueds	NO ₂	NO ₃	PO ₄	DCO	DBO ₅	MO	Qualité
Khemis	0.17	11	0.027	10	2	22.5	Moyenne qualité
	polluée	moyenne	polluée	bonne	Bonne	Très polluée	
Sikkak	6	43	4.03	40	82	73	Très polluée
	Très polluée	Très polluée	Très polluée	polluée	Moyenne	Moyenne	
Tafna	3	15	0.61	20	3.4	3.5	Bonne qualité
	Polluée	Moyenne	Polluée	Moyenne	Bonne	Bonne	
Ouderfou	1.9	29	21.1	70	14.4	70	Très polluée
	Polluée	Polluée	Très polluée	Très polluée	Polluée	Très polluée	

Source : ANRH 2010

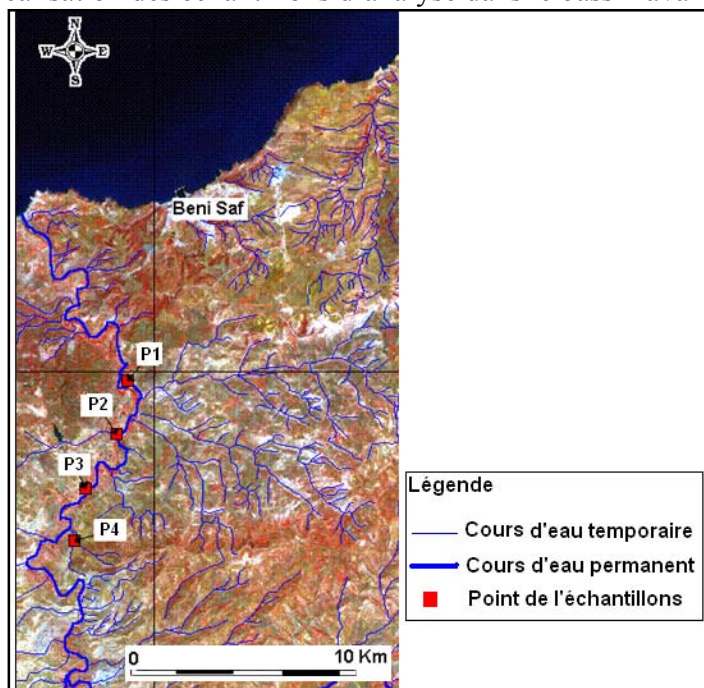
Au niveau de l'aval du bassin de la Tafna, nous avons pris 4 échantillons des analyses physico-chimiques des eaux de surface (carte 52), ces analyses ont été réalisées par le laboratoire AFAG à Ain Témouchent en 2010.

Tableau 51. Analyses physico-chimiques des échantillons des cours d'eau aval bassin Tafna

Oued_	X	Y	Ca	Mg	Chlorure	Sulfate	Sodium	Residu_sec	Ph	Nitrate
O. tafna P3	123 050	218 010	68	56	451	306	290	1 356	9	4
O. tafna P1	125 250	222 800	196	44	621	338	400	1 800	8	59
O. tafna P2	124 600	220 400	52	49	387	204	248	1 121	8	7
O. tafna P4	122 450	215 700	56	56	376	245	241	1 350	7	8

Source : laboratoire AFAG Ain Témouchent, 2010.

Carte 52. Localisation des échantillons d'analyse dans le bassin aval Tafna en 2010



Selon ces analyses physico-chimiques effectuées sur les eaux superficielles des cours d'eau aval Tafna (tableau 51), nous constatons que le point (P1) présente des teneurs élevées en calcium dépassant les normes (196 mg/l). Concernant les teneurs en nitrates, le point (P1) présente une teneur de 59 mg/l. La pollution par les nitrates provient essentiellement des rejets directs urbains de l'agglomération d'Emir Abdel-Kader, ces eaux usées sont traitées par lagunage, mais contiennent toujours des valeurs importantes en nitrates qui favorisent la pollution d'Oued Tafna.

1.2. Pollution d'Oued Mekerra : forte pollution organique

L'oued est, en partie à cause du développement rapide de la ville de Sidi Bel Abbes, source de nuisances visuelles et olfactives importantes et représente par conséquent un obstacle au développement urbain harmonieux de la ville.

Oued Mekerra est d'une longueur de 120 km, traverse plusieurs localités dont le chef-lieu de wilaya sur une distance de 17.5 km, il reçoit l'équivalent de 250 litres par seconde d'eau usée en provenance essentiellement des différents d'égoûts qui y déversent à longueur de journée depuis la commune de Rjem Démouche en passant par celles d'Oued Sbaa, Boukhanifis, Sidi Lahcen, Sidi Bel Abbes, Sidi Brahim et Sidi Hamadouche.

Tout ce volume d'eau usée et polluée depuis l'amont charrie des débris multiples et, est à l'origine d'émanations nauséabondes et sert par endroits où les eaux sont stagnantes par l'obstacle d'amas de roseaux à un véritable milieu de multiplication aux insectes et particulièrement aux moustiques. L'oued Mekerra se trouve actuellement dans un état d'insalubrité très prononcé et constitue de ce fait un danger sérieux pour la santé publique et une source de contamination permanente de l'environnement. Les eaux cet Oued sont passées par plusieurs étapes dont la dernière est la fermentation caractérisée par des odeurs nauséabondes dues à la production des algues. Aussi, on assiste à une explosion de la flore alguale avec une prolifération de bactéries très variées, dont certaines d'entre elles réduisent la matière organique en produisant du méthane CH₄.

Ces eaux usées déversées vers le milieu récepteur qui est l'oued Mekerra, n'ont subi aucun traitement au préalable sauf une partie des eaux de l'agglomération de Sidi Bel Abbès, de l'agglomération de Ras El Ma et de Moulay Sllisen, favorisant ainsi une forte pollution de ce milieu. Selon la direction de l'hydraulique de la wilaya de Sidi Bel Abbès, pour la qualité des eaux, une étude effectuée, durant la période 2010, indique que la charge polluante des eaux de l'oued Mekerra est comme suit : DBO₅ : 41 296 T/an; DCO : 123 465 T/an; Azote total : 3 193 T/an ; Phosphore total : 2 342 T/an; ces valeurs traduisent que ces eaux de surface sont très polluées. Ces résultats distinguent cet oued par une très faible concentration en oxygène, il présente une très grande concentration de DBO₅ et DCO d'où une eau fortement polluée, provoquant ainsi l'eutrophisation de ce milieu, l'Oued Mekerra draine tous les types de pollution (physique, chimique et biologique).

Les eaux usées évacuées par la ville de Sidi Bel Abbès présentent 30 % des eaux évacuées dans le bassin d'oued Mekerra, elles ont subi un traitement à boues activées. Des analyses physico-chimiques des eaux traitées d'un échantillon localisé après le confluent de l'oued Mekerra et oued Elmellah, effectuées par le laboratoire de la station de traitement, montrent la forte dégradation des eaux traitées. L'Oued Elmellah reçoit les eaux usées de la zone industrielle de Sidi Bel Abbès, ces eaux conduites à la contamination des eaux usées traitées.

Tableau 52. Analyses physico-chimiques des eaux usées traitées au niveau du confluent de l'oued Mekerra avec l'oued Elmellah en janvier 2008 (BENSALEM)

Paramètres	PH	MES	Nitrates	Nitrites	phosphates	sulfates	Fe	Zinc	Cu	DBO ₅	DCO
valeurs	7	480	24	0.56	2.6	175	1.25	4.1	0.61	556	710

Après épuration, nous avons remarqué que les valeurs de tous les paramètres physico-chimiques sont supérieures aux normes (du journal officiel Algérien). Une présence de la matière en suspension, la DBO₅ reste élevée malgré l'épuration biologique, ceci est expliqué par l'insuffisance de l'aération dans le bassin biologique de la STEP, la forte charge en métaux lourds est expliquée par la nature de déversement de la zone industrielle, et enfin, la forte charge en phosphore est traduite par l'absence de la technique de déphosphoration. Donc malgré le

traitement, les eaux usées traitées présentent encore un danger de pollution, suite au déversement des eaux usées industrielles non traitées.

1.3. Pollution des eaux du bassin côtier Oranais : rejets des eaux non traitées dans l'oued El Maleh

L'évacuation des rejets quotidiens des eaux usées traitées et non traitées vers les cours d'eau du bassin côtier Oranais provoque des perturbations néfastes de la qualité des eaux de surface, conduit à une forte pollution organique des eaux.

Ce bassin versant est caractérisé par des cours d'eau en écoulement temporaire et permanent comme oued El Maleh. En effet, ces espaces représentent des milieux récepteurs des eaux usées urbaines et industrielles sur 35 points de rejet, dont le plus important, c'est le côtier d'Ain Témouchent, compte 18 points de rejets. Ajoutant ainsi les eaux industrielles des zones industrielles d'Ain Témouchent et d'Es Senia).

Afin d'évaluer l'impact des rejets des eaux usées dans ce bassin, et voir son degré de pollution, il est nécessaire d'étudier les analyses physico-chimiques des eaux de surface. Pour cela, nous avons pris des échantillons d'analyse physico-chimiques des eaux de surface réalisées par laboratoire Afag d'Ain Témouchent en 2010 (tableau 53 et carte 53). Les analyses montrent les points suivants :

- **Les paramètres organoleptiques** : les différents oueds du bassin côtier d'Ain Témouchent ont une apparence claire sauf oued Chaabet El Ham et oued Medionni contient des mousses.
- **Les paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux** : la teneur en calcium variée selon la nature des terrains traversés, les teneurs les plus élevées se trouvent dans oued Aghllal. Le magnésium (Mg) provient de la dissolution des roches des cours d'eau, sa teneur à partir de 100 mg/l donne un goût indésirable, il provient aussi des rejets industriels, selon les analyses des eaux, nous constatons une teneur élevée en Mg dans l'oued Ain Tabga (P6) dépasse 100mg/l. Le chlorure est lié à la nature des sols en particulier les marnes, les teneurs les plus élevées sont dans les oueds El Maleh (P1), Eghlal (P3, P2), Hessassna (P4). L'oued Aghlal (P3) et oued El Maleh (P1) présente des teneurs très élevées en sulfate proviennent essentiellement des eaux usées industrielles. L'OMS recommande les teneurs maximales de sodium à 150 mg/l, les analyses montrent un taux élevée au niveau de tous les oueds sauf oued Ain Tabga, oued El Maleh et oued Aghlal où ils contiennent des valeurs très élevées en sodium, donnant une forte salinité des eaux. La détermination des résidus secs dans les eaux de surface permet d'évaluer la matière dissoute et en suspension non-volatils, l'OMS recommande les normes à 1 500 mg/l. Les eaux des oueds Aghllal, El Maleh et Hessasena présentent des teneurs très élevées en RS atteint jusqu'à 4 316 mg/l, ce qui présente une forte pollution par les matières en suspension.
- **Les paramètres indésirables dans les eaux (nutriments)**: la présence de nitrate dans les eaux de surfaces est d'origine domestique, industriel et agricole. C'est un indicateur de la pollution organique des eaux. Les normes Algériennes recommandent le teneur de 50 mg/l. En reliant les normes avec les résultats des analyses, on constate des fortes teneurs dans les eaux des oueds

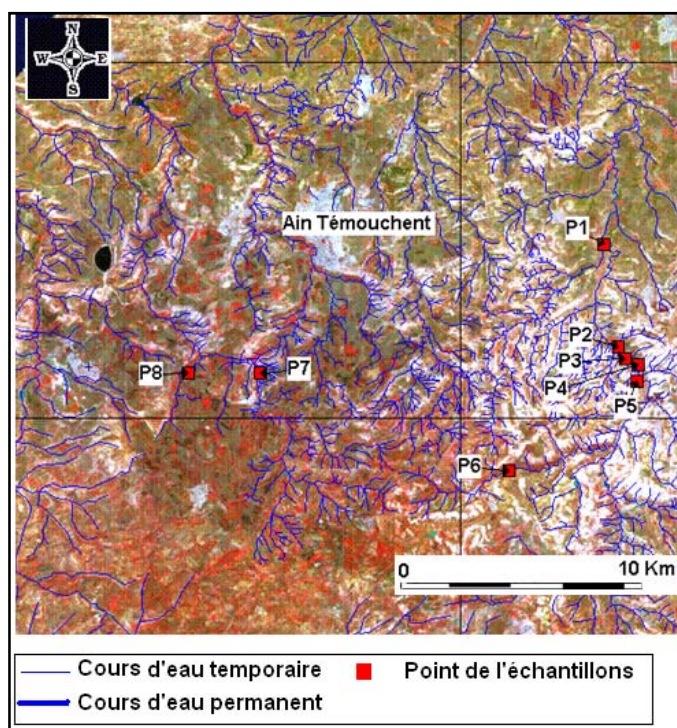
El Maleh, Ain Tabga et Hessayena, proviennent des apports urbains et agricoles. L'apport agricole est dû au forte fertilisant des terrains agricoles, en 2008 les agriculteurs ont utilisés environ 65 000 Tonnes d'engrais qui soit 0.35 tonnes/ha (direction de l'agriculture d'Ain Témouchent). C'est une fertilisation supérieure aux besoins des cultures qui ne prend pas en considération des réserves azotées des sols. Durant les saisons pluvieuses, le ruissellement emportera des quantités importantes d'azote et de phosphore aux cours d'eau. L'apport urbain est dû aux rejets domestiques qui contiennent des produits nutritifs.

Tableau 53. Analyses physico-chimiques des cours d'eau en 2010 (bassin côtier d'Ain Témouchent)

Oued_	X	Y	Ca	Mg	Chlorure	Sulfate	Sodium	Residu_sec	Ph	Nitrate
<input type="checkbox"/> O. sennane P7	223 750	148 100	28	22	170	101	109	856	8	15
<input type="checkbox"/> O. berkeche P5	164 000	222 500	74	30	444	207	286	1 471	8	33
<input type="checkbox"/> aghlilal P2	163 300	224 000	184	44	518	350	335	2 918	8	9
<input type="checkbox"/> el maleh P1	162 970	228 350	199	76	781	373	516	4 316	7	47
<input type="checkbox"/> aghlilal P3	163 580	223 500	274	55	817	534	527	2 540	7	9
<input type="checkbox"/> ain tabga P6	158 450	218 650	88	138	213	273	138	996	7	49
<input type="checkbox"/> hassasena P4	223 205	164 100	90	78	753	232	481	2 396	7	67
<input type="checkbox"/> kihel P8	223 950	145 000	60	24	231	197	148	682	8	22

Source : laboratoire AFAG, Ain Témouchent, 2010.

Carte 53. Localisation des échantillons d'analyse dans le bassin du côtier d'Ain Témouchent



À partir des valeurs des analyses des eaux de surfaces du bassin côtier d'Ain Témouchent, nous avons classé les eaux en quatre classes (bonne qualité, moyenne, polluée et très polluée). Aucune

des eaux analysées ne présente une bonne qualité, les eaux d'oued Sennane (P7) oued Kihel (P8), oued Berkeche (P5) sont de moyenne qualité et ne présente aucun risque à leurs usages, par contre les eaux d'oued El Maleh (P1), d'oued Aghlal (P2 et P3) et d'oued Hessesena (P4) sont de très mauvaise qualité et présentent une forte pollution, ces eaux sont inaptes à tout usage et présentent une menace pour l'homme et l'environnement.

2. Pollution organique des eaux des barrages : impacts des rejets des eaux usées

La zone d'étude comporte trois grands bassins versants, la Tafna, Mekerra-Mebtouh et côtier Oranais. Ces bassins appartiennent à l'ensemble de l'Oranie-Chott Cherguie.

Le bassin de la Tafna est subdivisé en trois grandes parties, la partie orientale avec comme principaux affluents l'oued Isser et l'oued Sikkak, ainsi que la partie occidentale comprenant la Haute Tafna (Oued Sebdu et Oued Khemis) et l'Oued Mouillah et enfin la partie septentrionale qui débute pratiquement de l'agglomération Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rachgoune, embouchure de la Tafna sur la mer, les Oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun sont les principaux affluents de cette partie (BOUANANNI, 2004)

Les eaux superficielles du bassin versant de la Tafna sont mobilisées par cinq barrages importants de la région Nord-ouest Algérienne qui sont : Boughrara, Beni Bahdel, Mefrouche, Sikkak et Sidi Abdelly.

Le barrage de Beni Bahdel est d'un volume d'eau de 63 Hm^3 , son bassin est d'une superficie de 1016 km^2 . Ce barrage constitue le premier ouvrage réalisé dans le bassin de la Tafna. Construit entre 1934 et 1940 et mis en eau en 1944. Beni Bahdel avait été conçu pour assurer l'irrigation de la plaine de Maghnia, sur la rive gauche de la Tafna. Mais afin de résoudre le grave problème de l'alimentation en eau de la région Oranaise avec les seules ressources locales, il a été décidé d'assurer ce manque d'alimentation à partir de ce barrage.

Le barrage Mafrouche est situé dans la commune de Terny dans la wilaya de Tlemcen. Il est construit dans la période 1957-1963, d'une capacité de 15 Hm^3 . Il devait servir à alimenter la ville de Tlemcen et sa zone industrielle. Le bassin versant correspondant est de 90 km^2 (ABH, 2010).

Le barrage de Sidi Abdely situé sur l'Oued Isser au Nord de l'agglomération de Sidi Abdelly et en amont de la ville de Bensakrane. Sa capacité globale est de 110 Hm^3 , ce volume est affecté à l'alimentation en eau potable de la wilaya de Sidi Bel Abbas et la valorisation agricole. La superficie de son bassin versant est de 1137 km^2 (ABH, 2010).

Le barrage de Boughrara est situé au Nord ouest de la wilaya de Tlemcen, à l'Est de l'agglomération de Maghnia. Son bassin est d'une superficie de $4\,000 \text{ km}^2$. Sa mise en eau fut en 1998, il constitue l'exutoire principal de l'oued Mouillah, avec une capacité de 177 Hm^3 . Il a été destiné à l'alimentation en eau potable des agglomérations Oran (33 Hm^3), Maghnia (17 Hm^3) et à l'irrigation (9 Hm^3) de la moyenne Tafna (ABH, 2010).

Le barrage de Sikkak se trouve sur l'oued Sikkak, dans la région d'Ain Youcef, c'est le prolongement de l'oued En Nechef qui est coupé par le barrage Mefrouche en amont. Affluente

rive gauche de l'oued Isser (lui-même affluent rive droite de la Tafna). La construction du barrage à débuté en 1999 et a duré quatre ans (1999-2003). Il a été mis en service en 2004, sa capacité est de 27 Hm³ pour assurer l'irrigation de la basse Tafna (ABH, 2010).

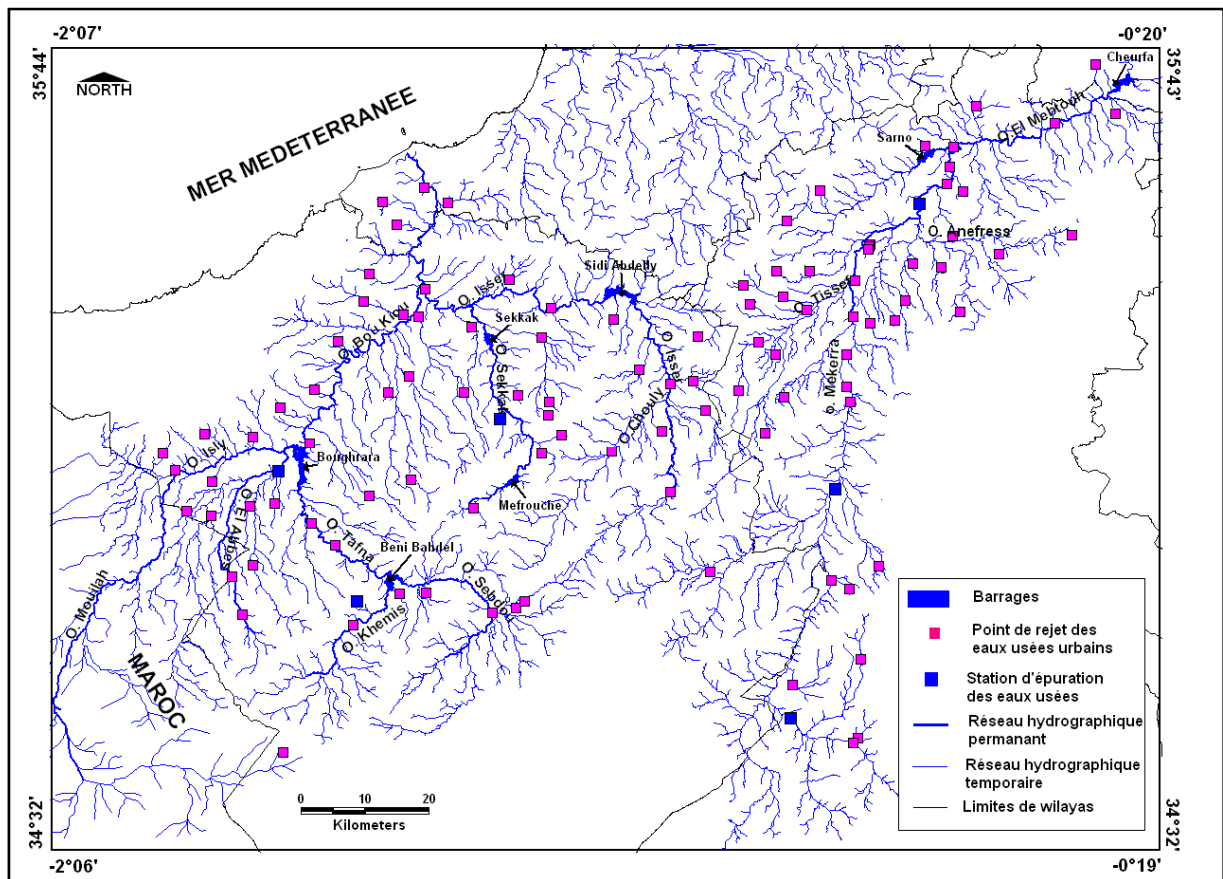
L'autre bassin de la Mekerra-Mebtouh, fait partie du grand bassin de la Macta. Ce bassin alimente deux grands barrages, barrages de Cheurfa et de Sarno.

Le barrage de Cheurfa régularise les eaux de l'Oued Mebtouh qui constitue le prolongement de l'Oued Mekerra, il est situe à 20 km en amont de l'agglomération Sig, il a été construit en 1880 - 1882 (Cheurfa I) et en 1992 (Cheurfa II) pour assurer l'irrigation de la plaine de Sig et le fonctionnement de la zone industrielle de Sig, il est d'une capacité de stockage de 82 hm³ (BOUAMRANE, 2008).

Le barrage de Sarno construit entre 1947 et 1954 sur l'oued Sarno, affluent de la Mekerra au Nord de la ville de Sidi Bel Abbas, il est d'une capacité de 22 millions de m³.

Les bassins de la Tafna et de la Mekerra-Mebtouh sont considérés comme les réservoirs d'eau de toute la région Nord-ouest de l'Algérie. Sept barrages y ont été réalisés, mais malheureusement ces eaux superficielles sont très menacées par la pollution organique, les rejets domestiques et industriels menacent de plus en plus la qualité des eaux de surface.

Carte 54. Localisation des barrages par rapport aux points de rejets des eaux suées



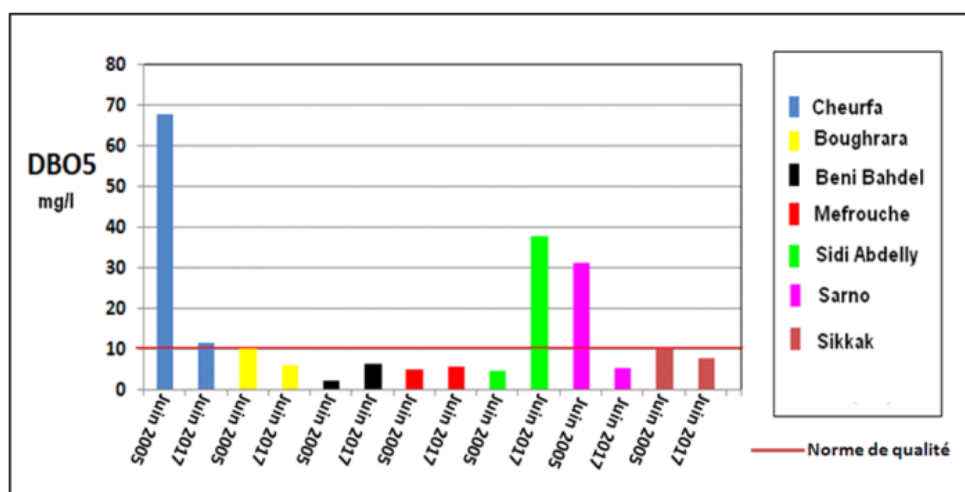
Face au problème de dégradation des eaux des barrages, l'évaluation de la qualité des eaux nécessite une connaissance, aussi complète que possible, des caractéristiques physico-chimiques des eaux. À cet effet, 10 paramètres ont été retenus. Dans ce cas, nous avons collecté des résultats des analyses physico-chimiques en mois de juin 2005 et juin 2017 auprès de l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH) (tableau 54 et figure 52), afin de voir la variation spatio-temporelle de la pollution organique.

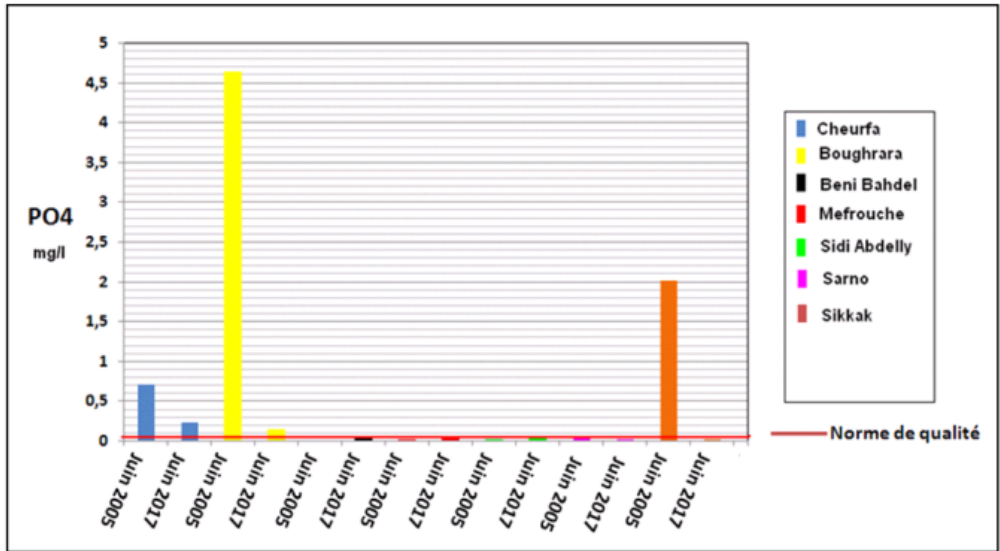
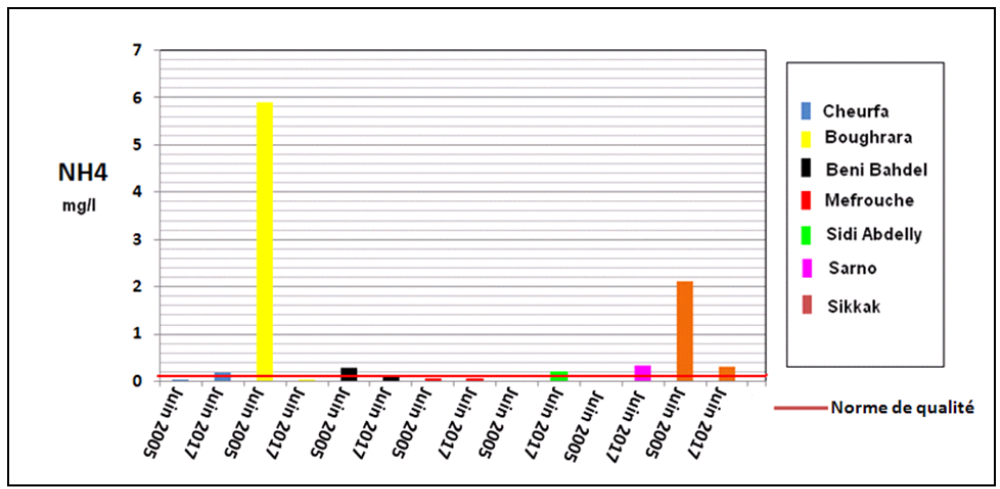
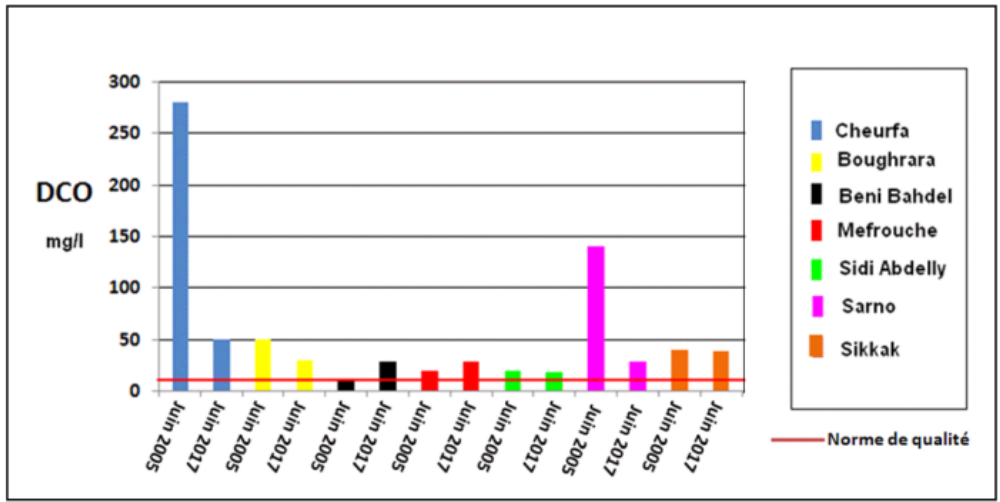
Tableau 54. Analyses physico-chimiques des eaux des barrages en 2005 et 2017

Barrages		PH	Rs mg/l	O ₂ dissous %	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NH ₄ mg/l	PO ₄ mg/l	DBO ₅ mg/l	DCO mg/l	MO mg/l
Cheurfa	Juin 2005			229.9	6	1.1	0.04	0.7	67.8	280	22.5
	Juin 2017	8.22	2060	121.3	2	0.06	0.19	0.22	11.6	50	19.4
Bouhrara	Juin 2005			67.8	8	3.6	5.9	4.64	10.6	50	7.8
	Juin 2017	8.87	1180	98.1	6	0.02	0.04	0.14	6	30	10
Beni Bahdel	Juin 2005			97.4	4	0.14	0.28	0	2.4	10	4.2
	Juin 2017	7.77	380	114.5	1	0.11	0.08	0.03	6.5	29	2.8
Mefrouche	Juin 2005			104.8	3	0.28	0.05	0.02	5	20	5.1
	Juin 2017	7.76	200	90	1	0.01	0.05	0.03	5.9	29	3.3
Sidi Abdelly	Juin 2005			92.4	5	0.12	0.02	0.02	4.6	20	4.4
	Juin 2017	8.13	1140	100.6	4	0.04	0.2	0.04	38	19	6.9
Sarno	Juin 2005			78.5	6	0.15	0	0.03	31.3	140	18
	Juin 2017	8.05	2480	121.3	1	0.05	0.32	0.02	5.5	29	9.9
Sikkak	Juin 2005			123.9	22	2.3	2.12	2.02	10.6	40	6
	Juin 2017	8.25	700	98.1	2	0.08	0.31	0.02	8.1	39	6.1

Source : ANRH, 2017

Figure 52. Graphes des teneurs des paramètres physico-chimiques dans les eaux des barrages en 2005 et 2017.





La représentation graphique des différents résultats et la lecture des variations des variables physico-chimiques imposent les commentaires suivants :

Barrage de Boughrara : les eaux du barrage en 2005 présentent une forte pollution par la DCO, le phosphore et l'azote ammoniacal, ces fortes valeurs correspondent à une forte charge en matières organiques provenant essentiellement des rejets non traités des industries agro-alimentaires. Les teneurs en phosphate (PO_4) sont largement supérieures aux normes de qualité, indiquent une eau de qualité excessivement polluée. Elles sont dues, d'une part, aux rejets industriels notamment ceux contenant des détergents, d'autre part, aux engrais phosphatés utilisés en agriculture. Les valeurs de nitrite sont assez élevées en 2005, ces valeurs élevées sont imputables aux rejets industriels (ERIAD, maïserie et ENCG) non traités.

Actuellement, en 2017, nous remarquons une amélioration de la qualité des eaux du barrage, un baissement des teneurs de l'azote ammoniacal, phosphate, nitrite et la DBO₅, mais la DCO dépasse toujours les normes de qualité, ceci favorise la prolifération d'organismes, tels que les *Chlorophycées*, les *Cyanophycées* et les *Diatomophycées*, qui représentent ensemble 93,03% de la population algale dans le barrage de Boughrara. Cette amélioration de la qualité est due principalement à la surveillance des rejets de provenance du Maroc et les rejets industriels ainsi que le bon fonctionnement de la STEP de Maghnia.

Barrage de Beni Bahdel : en 2005 et en 2017 la qualité des eaux du barrage est de qualité acceptable et ne présente aucun signe de pollution, cette qualité est due principalement au nombre faible de rejets des eaux usées avec l'existence de la station de lagunage de Sidi Snoussi.

Barrage de Mefrouche : pour les deux périodes des analyses des eaux (2005 et 2017) nous remarquons une meilleure qualité des eaux pour les paramètres (DBO₅, PO_4 , NH_4 , nitrite), par contre il présente une bonne qualité de la DCO en 2005 inférieur à la norme, actuellement elle dépasse les normes atteint 29 mg/l, cette situation est due principalement à l'augmentation du volume des rejets des eaux usées de l'agglomération Terni Beni Hediél non traités.

Barrage de Sidi Abdelly : Les eaux de ce barrage présentent une bonne qualité en 2005 et 2017 pour les paramètres NH_4 et PO_4 , seulement, nous remarquons une augmentation de la valeur du NH_4 , de 0.02 mg/l en 2005 à 0.2 mg/l en 2017. Par contre les valeurs de la DCO est supérieure aux normes pour l'année 2005 et 2017, la DBO₅ présente une valeur acceptable en 2005 les eaux ne présente pas des formes de pollution organique, en 2017 ces eaux sont très polluées organiquement, la DBO₅ atteint la valeur de 38 mg/l dépasse largement les normes, cette augmentation est suite aux rejets importants des eaux usées industrielles de la zone d'Ouled Mimoun et le manque énorme de traitement des eaux usées urbaines sur 10 points de rejet.

Barrage de Sikkak : la qualité organique des eaux de surface du barrage Sikkak est très mauvaise en 2005, les valeurs de la DBO₅, DCO, NH_4 , PO_4 , NO_2 dépassant les normes de qualité, indiquent une forte pollution organique. En 2017, nous remarquons une certaine amélioration de la qualité des eaux de surface, seulement la teneur de DCO dépasse les normes et indique une pollution. Cette amélioration est due essentiellement à la performance de l'épuration des eaux

usées ainsi que le traitement des eaux industrielles et la surveillance de la nitrification des terrains agricoles.

La présence d'anomalies de la qualité organique et de la qualité des paramètres azotés et phosphorés à confirmer que les eaux du barrage Sikkak sont affectées par une pollution urbaine et industrielle malgré la mise en service de la STEP de Ain El Houtz.

Barrage de Sarno : la localité de Delahim (commune de Sidi Hamadouche), située en amont du barrage de Sarno, les agglomérations d'Ain Thrid et de Tessala ne possèdent, malheureusement, pas de station d'épuration pour le traitement des eaux usées, ces eaux sont évacuées dans les cours d'eau qui atteignent le barrage de Sarno sans aucun traitement. À ce jour, l'eau du barrage continue de subir toutes les formes de pollution. Des milliers de mètres cube des eaux usées provenant des agglomérations sont déversées dans le barrage.

Les eaux usées contiennent des matières organiques en décomposition et des débris peuvent consommer l'oxygène dissous dans l'eau du barrage, ainsi causer la mortalité des poissons et des autres biotes aquatiques, les composés chlorés peuvent être toxiques pour les algues et les poissons, des bactéries, des virus et des agents pathogènes peuvent polluer le barrage, et l'eau devient un danger permanent tant pour les animaux domestiques et les baigneurs. Des métaux tels que le mercure, le plomb, le cadmium, le chrome et l'arsenic peuvent avoir des effets toxiques aigus et chroniques sur certaines espèces et enfin d'autres substances, des produits pharmaceutiques et des produits de soins personnels par exemple, qui entrent dans l'environnement surtout par le biais des eaux usées, peuvent aussi présenter des menaces pour la santé humaine, les organismes aquatiques et la faune. Les matières organiques, telles que les nitrates, essentielles à la vie aquatique en tant que nourriture, peuvent devenir un élément perturbateur quand leur quantité est en excès dans le milieu. Les matières organiques vont être dégradées par des bactéries qui vont consommer naturellement l'oxygène.

Les analyses des paramètres physico-chimiques collectées auprès de l'ANRH en 2005 montrent la mauvaise qualité des eaux, une pollution par les résidus secs qui dépassent les normes et indique la pollution excessive, la mauvaise qualité en DBO5 et DCO et les matières organiques, moyenne qualité en nitrate et nitrites.

Actuellement, en 2017, la qualité des eaux a connu certaines améliorations, un baissment de la qualité de la DBO5 et de la DCO, mais ces paramètres restent encours supérieurs aux normes, ce qui signifie la pollution organique, nous remarquons une augmentation de la valeur du NH4.

Les déchets contenus dans les eaux usées domestiques, sont cités parmi les substances qui entraînent une importante consommation d'oxygène, donc potentiellement polluantes. Les bactéries se multiplient dans le milieu riche en matières organiques en consommant de l'oxygène qui se raréfie pour les autres organismes vivants. La diminution de l'oxygène dans l'eau entraîne la mort des poissons par asphyxie. Les agents de surface ou tensioactifs qui composent la grande majorité des détergents sont des produits chimiques, ils sont potentiellement toxiques pour la flore et la faune aquatique, les tensioactifs entrant dans la composition des détergents et des lessives

présentent des effets néfastes pour l'environnement. Un agent tensioactif est un corps qui, même utilisé en faible quantité, modifie de façon importante la tension superficielle, en particulier celle de l'eau du barrage. Les agents infectieux comme les virus et les bactéries résistantes provenant des rejets d'origine domestique (centre de santé, habitations, élevage ovins et bovins) contenus dans les eaux usées restent un danger potentiel pour l'être humain et l'animal.

Le barrage Sarno était un lieu de prédilection des férus de la pêche. Malheureusement, le poisson a pratiquement disparu, de l'Oued Mekerra au barrage Sarno, l'écosystème est atteint. Le poisson ne nage plus et l'oiseau migrateur ne flotte plus. Ne restent que les déchets de l'homme.

Photo 19. Images montrent les eaux usées stagnantes et une fosse septique en aval creusée à la limite de la berge du barrage Sarno (clichée : photo Bel Abbès info, 2016)



Barrage de Cheurfa : les eaux du barrage de Cheurfa sont de très mauvaise qualité, en 2005 et en 2017, la teneur de l'ammonium (NH_4) est de 0.04 mg/l en 2005 et s'est augmentée à 0.19 mg/l, dues aux rejets des eaux industrielles non traitées de la zone industrielle de Sidi Bel Abbès.

Les nitrites ont des valeurs élevées de 1.1 mg/l en 2005 et sont diminués à 0.06 mg/l en 2017, ces teneurs élevées en 2005 peuvent être dues au dysfonctionnement des mécanismes microbiens impliqués dans le cycle d'azote.

Des teneurs élevées de phosphore indiquées en 2005 et en 2017 dépassent largement les normes de qualité, se sont des eaux polluées en phosphore provoquée essentiellement par des eaux usées urbaines (effluent domestique chargé en détergents et en matières organiques), elles contribuent à l'apparition des phénomènes d'eutrophisation.

Des valeurs élevées de la DBO5 dans les eaux des surfaces du barrage de Cheurfa, la DBO5 produit une déplétion de l'oxygène due à la dégradation de matière par les bactéries aérobies, ce type de pollution peut provoquer la mort des poissons par asphyxie. La DCO montre, elle aussi, qu'il y a une forte pollution organique des eaux.

On compare les résultats des deux années, on remarque que les eaux du barrage de Cheurfa sont toujours polluées, nous sommes en présence d'une forte pollution organique, azotée et d'un risque de l'eutrophisation des eaux.

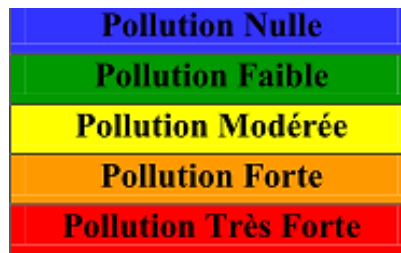
Pour caractériser la pollution organique au niveau des barrages, on a procédé à la méthode de calcul de l'Indice de Pollution Organique « IPO » établi par LECLERCQ ET MAQUET (1987), le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en cinq classes (tableau 55), puis de déterminer, à partir de ses propres mesures, le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre puis d'en faire la moyenne (BAHROUN et al., 2011). Le seul paramètre en relation directe avec la pollution organique est la DBO5, mais on peut considérer que les autres, qui sont des formes déjà minérales, résultent directement de la minéralisation des matières organiques et reflètent bien ce type de pollution (BAHROUN, ET AL., 2011).

Tableau 55. Grille de qualité (IPO)

Classes Paramètres	unité	5	4	3	2	1
DBO ₅	mg-O ₂ /l	< 2	2 - 5	5,1 - 10	10,1 - 15	>15
Ammonium	mg-N/l	< 0,1	0,1 - 0,9	2,4	2,5 - 6	>6
Phosphates	µg-P/l	15	16 - 75	76 - 250	251 - 900	> 900
Nitrites	µg-N/l	5	6 - 10	11 - 50	51 - 150	>150

Source : LECLERCQ et MAQUET, 1987

Figure 53. Classes d'altération de l'indice IPO



$$\text{IPO} = (\text{classe DBO5} + \text{classe NO4} + \text{classe NO2} + \text{classe PO4})/4$$

- IPO de 5.0 à 4.6** : pollution organique nulle ;
- IPO de 4.5 à 4.0** : pollution organique faible ;
- IPO de 3.9 à 3.0** : pollution organique modérée ;
- IPO de 2.9 à 2.0** : pollution organique forte ;
- IPO de 1.9 à 1.0** : pollution organique très forte.

Cette méthode permet de renseigner sur l'impact considérable des activités humaines (rejets liquides et agricoles) sur la qualité des eaux des barrages.

Tableau 56. Classe de pollution organique des barrages en 2005 et en 2017

Barrages	IPO 2005	Classe de pollution organique	IPO 2017	Classe de pollution organique
Beni Bahdel	3.75	Modérée	3.5	Modérée
Mefrouche	3.5	Modérée	4	Faible
Sidi Abdelly	3.5	Modérée	3.75	Modérée
Bouhrara	1.25	Très forte	3	Modérée
Sikkak	1.5	Très forte	2.75	Forte
Cheurfa	2.25	Forte	2.5	Forte
Sarno	2.75	Forte	3.25	Modérée

Source : traitement personnel, 2017

Les résultats des calculs de l'indice de pollution organique (IPO) des barrages en 2005 et 2017 montrent clairement l'amélioration de la qualité des eaux. Les eaux du barrage de Bouhrara étaient de très forte pollution organique, actuellement présente une classe modérée. Le barrage de Sikkak était de très forte pollution, mais reste encore polluée, on remarque une absence de l'auto épuration, il est de classe forte pollution avec une légère amélioration. Le barrage de Cheurfa présente une forte pollution et reste toujours polluée. Le barrage Sarno était de forte pollution organique, mais il a connu une amélioration de leur classe de pollution. Les barrages Beni Bahdel, Mefrouche et Sidi Abdelly ne présentent pas des risques de pollution organique, ils sont tous en qualité modérée et restent dans cette qualité sauf le barrage de Mefrouche qui est de qualité faible pollution organique. Au niveau de ces trois barrages, nous remarquons qu'il n'existe pas un fort impact des activités anthropiques (nombre faible de points de rejets des eaux usées et absence de l'activité industrielle).

3. Pollution des eaux de la mer : rejets urbains et industriels importants non traités

Les impacts des rejets des eaux usées dans le milieu marin sont de deux types, les impacts directs qui sont visibles à la surface de l'eau (les marées noires) et les impacts indirects lorsqu'ils dégradent la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la mer et conduits à une perturbation de la production halieutique et gêne la baignade.

Une grande partie des eaux d'égout de la région d'étude sont rejetées directement en mer sans aucun traitement sur 22 points de rejet. Ces eaux usées abritent des bactéries et des virus qui peuvent être nocifs à la faune et la flore aquatique ou peuvent déséquilibrer l'écosystème marin et développer des algues et empêcher d'autres espèces de vivre dans les zones qu'elles ont colonisées. Ces bactéries et virus peuvent aussi rendre les baigneurs malades et empêcher la consommation de certaines espèces et poissons.

Dans les pays développés, de gros efforts ont souvent été consentis pour généraliser la purification des eaux usées. Mais dans les pays en voie de développement, comme c'est le cas de l'Algérie, on assiste à un manque des moyens pour construire des stations d'épuration, alors que leurs populations et leurs rejets d'eaux usées augmentent constamment.

Le littoral Oranais est de plus en plus agressé, de nos jours, par diverses formes de nuisances : activités industrielles, tourisme intensif et urbanisation massive, avec comme corollaire une ampleur sans cesse croissante d'une pollution d'origine domestique. La frange côtière subit un accroissement des rejets d'eaux usées sans aucun traitement, à l'origine d'une contamination biologique (REMILI et al., 2006) et physico-chimique des eaux marines (KERFOUF et al., 2010). Cette frange côtière subit une expansion démographique galopante accompagnée d'une urbanisation anarchique, et d'intenses activités portuaires associées à diverses activités industrielles, qui ne sont pas sans conséquences sur l'environnement côtier (REMILI et al., 2009).

Des différentes observations effectuées, confirmées par de nombreuses études (AOUDJIT, 2001 ; BOUTIBA et al., 2003 ; BOUTIBA, 2004) sur des sites côtiers de rejets urbains montrent l'existence des effets très néfastes sur l'ensemble de l'écosystème marin et côtiers :

- contamination des sédiments ;
- dégradation des eaux de baignade ;
- déséquilibre des peuplements naturels.

Afin d'évaluer l'impact des rejets des eaux usées dans le littoral Oranais, nous avons basé sur les analyses physico-chimiques des eaux de mer réalisées par TAGHEZOUT (2015) du laboratoire Réseau De Surveillance Environnementale à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département de Biologie université d'Oran, trois campagnes d'échantillonnage ont été réalisées, la 1^{ère} le 17 décembre 2013 durant la saison d'automne, la 2^{ème} le 3 mars 2014 durant la saison hivernale, et la dernière le 26 mai 2014 durant la saison printanière. Ils ont prélevé des échantillons des eaux de la mer dans 5 sites, point de rejets des eaux usées d'Arzew, au niveau de Kristel, au niveau du port d'Oran (point de rejets des eaux usées urbaine d'Oran), au niveau de point de rejet des eaux usées de Bousfer et enfin au niveau du point de rejets des eaux usées urbaines les Andalouses (figure 54). Les résultats des valeurs moyennes sont regroupés dans le tableau 57.

Figure 54. Localisation des échantillons d'analyses dans le littoral Oranais (TAGHEZOUT, 2015)



Photo 20. Rejet des eaux usées urbaines et industrielles d'oued El Mohgoun et monts d'Arzew vers la mer (clichée : SAHNOUN et al., 2010)



Tableau 57. Résultats moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux de mer du littoral Oranais entre décembre 2013 à mai 2014

Paramètres	Kristel	Arzew	Port d'Oran	Bousfer	Les Andalouses	Normes
T° c	16	15	16.66	16.66	18	>30°C
PH	8.07	8.21	7.56	8.07	8.14	6.5-8.5
Conductivité	36733.3	37233.3	34933.33	36633.33	35766.66	ND
MES	343.33	322	810	314	342	35
Nitrates mg/l	1.66	1.66	2.66	1.66	2.66	50
Nitrites mg/l	0.036	0.03	0.066	0.046	0.103	ND
Ammonium mg/l	4.546	0.626	1.576	4.046	0.216	0.1-10
DCO	1449.6	1620.6	1396.2	1607.2	1536.66	120
DBO5	555.3	570.76	498.6	612.6	610.46	35
Phosphore mg/l	1.43	0.82	0.82	1.09	0.56	2
Matière organique	71	54.5	71	63	53.5	ND
O ₂ mg/l	4.83	7.26	4.3	5.53	6.3	ND
Pb µg/l	0.069	0.55	0.073	0.192	0.001	ND
Zn µg/l	0.247	0.12	0.218	0.2	0.273	ND
Cd µg/l	1.853	0.215	2.137	0.586	4.45	ND

Source : TAGHEZOUT, 2015

Les valeurs observées révèlent que le pH est légèrement neutre à alcalin au niveau de tous les sites. Les valeurs moyennes de température enregistrées dans l'eau de mer des sites étudiés varient entre 18°C et 15°C avec un maximum enregistré au printemps à Kristel (21°C) et un minimum enregistré en hiver à Arzew (12°C). Nous remarquons que la température d'eau de mer au niveau de tous les sites est dans les normes (inférieur à 30°C).

Les analyses de l'oxygène dissous effectuées sur les échantillons d'eau de mer varient entre 7.2 mg/l et 4.3 mg/l, avec une valeur maximale enregistrée au niveau d'Arzew (7.26 mg/l) et une valeur minimale enregistrée au niveau du port d'Oran (4.3 mg/l). L'absence des teneurs d'oxygène dissous dans les eaux enregistrées au niveau de Kristel peut être due à la forte pollution par les

rejets des eaux usées et au métabolisme bactérien, qui utilise cet élément pour dégrader la matière organique abondante au niveau de ce site (FEKHAOUI et PATEE, 1993).

La concentration de l'oxygène de l'eau est influencée par les processus biologiques. Ces derniers permettent, soit sa saturation dans les zones eutrophies, une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène, ou la sous-saturation dans les zones riches en matières carbonées dégradables par des microorganismes (oxydation de la manière organique, nitrification de l'azote ammoniacal) (AMINOT et CHAUSSE-PIED, 1983).

Les résultats des matières en suspension (MES) révèlent des concentrations très diversifiées entre les différents sites d'étude. Les analyses effectuées montrent que leurs concentrations varient entre 810 mg/l et 314 mg/l, avec un maximum trouvé au niveau du port d'Oran (810 mg/l) et une valeur minimale trouvée au niveau de Bousfer (314 mg/l). Les résultats obtenus montrent que ces concentrations au niveau de tous les échantillons analysés dépassent largement les normes nationales définies (35 mg/l). Ces concentrations sont probablement causées par la vidange des bateaux (le port d'Oran), déversement d'égouts et des rejets domestiques urbains qui sont riches en matières colloïdales d'origine minérales ou organiques. Les MES ont des effets très néfastes lorsqu'elles sont élevées sur les caractéristiques de l'eau, réduction aussi bien la transparence de l'eau que la production primaire photosynthétique, modification de la turbidité des eaux, réduction de la pénétration de la lumière (AASSIRI, 2001).

L'analyse de la DCO effectuée sur les échantillons des eaux de mer prélevées montre des concentrations variées d'un site à l'autre. Les moyennes enregistrées varient entre 1620 mg/l et 1396.2 mg/l avec un maximum enregistré au niveau d'Arzew (1620 mg/l) et un minimum trouvé au port d'Oran (1376 mg/l). Les résultats obtenus sont majoritairement dépassés les normes nationales définies (120 mg/l). Ces concentrations montrent une consommation excessive d'oxygène dissous pour oxyder chimiquement les charges organiques déversées dans les zones étudiées (BONTE et al., 2008).

Les échantillons d'eau de mer analysés révèlent des concentrations moyennes en DBO5 élevées, elles varient entre 612.63 mg/l et 498.63 mg/l, avec une valeur maximale (612 mg/l) au niveau de Bousfer et une valeur minimale (498 mg/l) enregistrée au niveau du port d'Oran. Ces teneurs élevées sont expliquées par l'instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l'activité s'intensifie avec le réchauffement des eaux. Cette activité, consommatrice d'oxygène, est à l'origine de l'auto épuration des eaux (BREMOND et PERRODON, 1979).

Les valeurs moyennes des matières organiques trouvées au niveau des échantillons d'eau de mer varient entre 71mg/l et 53.5 mg/l. La valeur maximale est enregistrée au niveau du port d'Oran et Kristel et la valeur minimale est enregistrée aux les Andalous. Les teneurs élevées en matière organique au niveau des sites d'études ont pour origine les taux élevés de matière organique rejetés dans le milieu. Cette forte teneur s'explique par la charge polluante charriée par les rejets anthropogénies côtiers des eaux usées rejetés dans le littoral Oranais.

Les valeurs moyennes du phosphore total varient entre 1.43 mg/l et 0.56 mg/l. Les teneurs en phosphore trouvées dans les eaux de mer de Kristel, Arzew, Bousfer et port d'Oran sont largement supérieures à la norme définie (2mg/l). La grande partie du phosphore organique provient également des déchets du métabolisme des protéines et de son élimination sous forme de phosphate et le reste provient surtout des détergents existants dans les eaux usées. (DUCHAUFOR, 1997). « *Le phosphore a un rôle important dans le phénomène d'eutrophisation du milieu marin, car un apport trop important de phosphore peut l'accélérer et créer des conditions propices au développement des algues, surtout lorsque la température de l'eau de surface est relativement élevée et qu'il y a un manque d'oxygène dissout* ». (DUCHAUFOR, 1997), c'est la plus importante forme de pollution marine.

L'analyse de la teneur de nitrate au niveau d'eau de mer révèle des concentrations très proches entre eux. Les moyennes obtenues oscillent entre 2.66 mg/l et 1.66 mg/l. Les teneurs en nitrates enregistrées au niveau des échantillons restent très inférieures aux normes Algériennes (50 mg/l). De ce fait, les eaux étudiées ne conduisent pas à un risque de pollution par les nitrates.

Les résultats des analyses de l'ammonium dans les échantillons de l'eau de mer montrent des concentrations variées entre 4.54 mg/l et 0.21 mg/l. Les fortes teneurs en ammonium s'expliquent par l'enrichissement de ces endroits en ce composé azoté qui provient des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles, on outre par la décomposition bactérienne des composés organiques azotés, le mécanisme bactérien appelé ammonification (LISEC, 2004).

Au niveau des échantillons de l'eau de mer, le dosage du plomb révèle des concentrations variant entre 0.19 µg/l et 0.001 µg/l, en comparant ces résultats à la norme Algérienne définie par le Journal Officiel 2002 qui fixe la teneur maximale du plomb dans les effluents liquides à 1 mg/l, nous trouvons que les sites étudiés sont loin d'être pollués par le plomb.

Généralement, les eaux usées ont un effet néfaste sur les écosystèmes marins et ruinent la vie aquatique. Le déversement direct des rejets d'eaux usées dans la mer augmente la concentration des polluants, ce qui conduit à une contamination des organismes marins par ces polluants en provoquant une perturbation des fonctions vitales de ces organismes.

La température des rejets peut avoir des impacts sur l'activité biologique, l'abondance et la distribution des espèces. Les teneurs d'oxygène dissous commandent fortement la vie aquatique : lorsqu'elle tombe au-dessous de 5 mg/l, cela montre que le milieu est perturbé et des mortalités piscicoles sont à redouter lorsqu'on mesure des teneurs inférieures à 3 mg/l.

Les teneurs élevées en DCO, DBO5 et MES, nous indiquent qu'il peut y avoir une pollution. Une baisse de la teneur en oxygène dissous est accompagnée par une augmentation de la concentration de la DCO et la DBO5 signifie la présence d'une pollution organique au niveau du long de littoral Oranais.

Les teneurs élevées en sels nutritifs (phosphore, nitrate, nitrite et ammonium) indiquent la richesse des sites étudiés en nutriments qui sont importées par le rejet des eaux usées. À cet effet, leurs déversements directs dans le littoral Oranais conduisent à des fortes perturbations du milieu

aquatique, conduit à l'apparition des phénomènes d'eutrophisation et la prolifération des microbes et bactéries. Ces analyses montrent le danger que peut présenter, dans cette partie du littoral, en matière de pollution et le risque encouru pour l'homme.

Pour la détermination de la pollution bactérienne du littoral Oranais, nous avons basé sur les études de KERFOUF (2010). La frange côtière Oranaise subit un accroissement des rejets d'eaux usées sans aucun traitement, à l'origine d'une pollution microbienne et d'une contamination des eaux de baignade par des matières fécales.

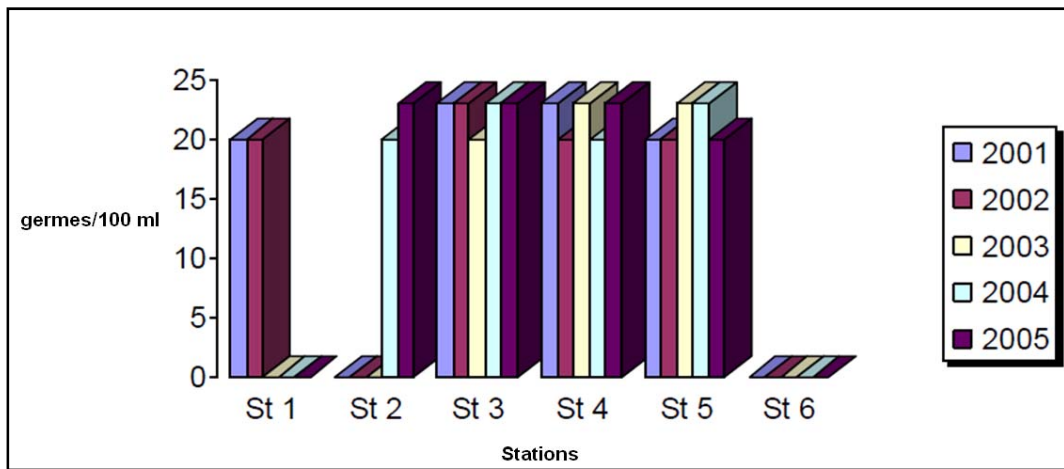
L'objectif de ces études est le suivi du niveau de contamination des eaux de baignade du golfe d'Oran durant cinq années successives (2001-2005). Ce qui a permis d'apporter une expertise scientifique à la détermination de l'impact des rejets d'eaux usées. L'auteur a pris 100 échantillons recueillis sur une période de 5 ans consécutifs afin d'évaluer la qualité microbiologique de l'eau de mer. Les stations d'échantillonnage retenues dans cette étude sont au niveau des six plages du golfe : (Trouville «st1», Bouisseville «st2», Beauséjour «st3», Claire Fontaine «st4», Paradis plage «st5» et Cap Falcon «st6»). L'échantillonnage est réalisé bimensuellement pendant la période estivale (août). Le dénombrement des coliformes totaux et fécaux montre que leur nombre varie d'une station à une autre.

C'est dans les stations st2, st3 et st4 principalement que la contamination est la plus fréquente et la plus élevée également (taux supérieur à 1400 germes/100 ml) noté durant les années 2001, 2002 et 2004, les coliformes fécaux sont présents dans les sites échantillonnés sauf dans la station st5 de 2001 à 2004, mais leur concentration ne dépasse pas 23 germes/100 ml. Il ressort de cette étude que les charges bactériennes maximales sont enregistrées au niveau des sites st3 et st4, qui se caractérisent par une forte concentration urbaine et un fort rejet urbain.

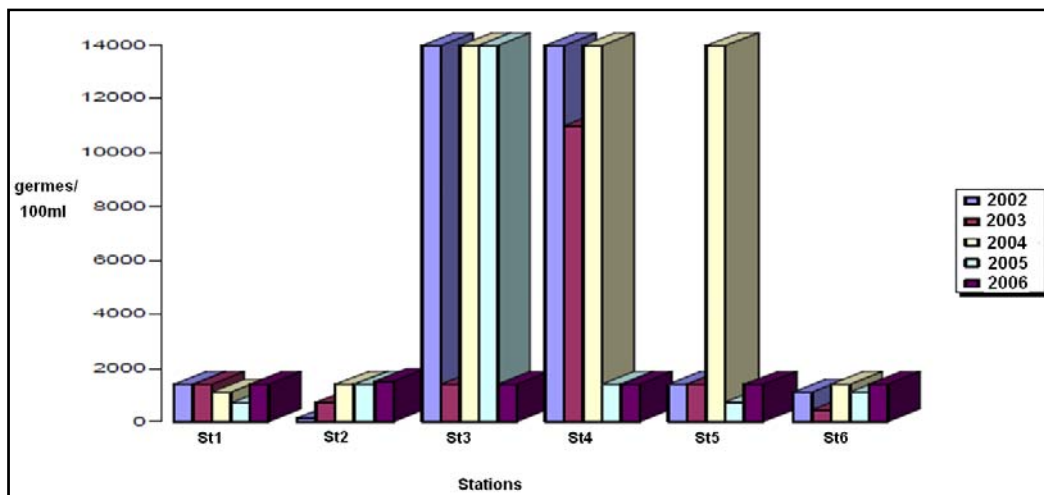
Des événements comme les surcharges des réseaux d'assainissement dans les zones touristiques d'Oran, ont des conséquences néfastes sur la qualité des eaux et sur les lieux de baignade. L'existence de nombreux points de déversement d'émissaires d'eaux usées et les pannes fréquentes des stations de relevage en sont à l'origine. La forte concentration en germes dans l'eau de mer serait la résultante d'une pollution bactériologique élevée due à l'absence totale de traitement.

Si on se réfère aux critères bactériologiques des eaux de baignade, les résultats des analyses nous permettent d'attester de la mauvaise qualité des eaux de baignade et conforte ainsi la décision des pouvoirs publics d'interdire la baignade dans ces espaces.

Figure 55 (A,B). Taux de coliformes fécaux et coliformes totaux des stations étudiées en mois d'août (KERFOUF et al., 2010)



A. Coliformes fécaux



B. Coliformes totaux

Les eaux usées urbaines et industrielles rejetées directement en mer, sont non seulement chargées en matières organiques polluantes, en métaux lourds toxiques, mais aussi en micro-organismes pathogènes tels que : les salmonelles, les entérobactères, les streptocoques, etc. La contamination microbienne des eaux véhicule des maladies à transmissions hydriques dangereuses comme la poliomyélite, choléra, typhoïde, la dysenterie, etc.

4. Risques sanitaires liés aux eaux usées : prolifération des maladies à transmission hydriques (MTH)

L'une des conséquences directes de la pollution des eaux pour l'homme est l'apparition des maladies à transmission hydrique, ces maladies constituant un véritable problème de santé publique. Disparaissant et réapparaissant périodiquement, elles sont ravageuses. Aussi, épisodiquement, on enregistre des épidémies causées essentiellement par des eaux contaminées.

Les médecins définissent comme maladies à transmission hydrique toutes les affections liées à l'eau de boissons causées chez l'homme ou l'animal par l'ingestion et le contact avec une eau insalubre. Elle est provoquée par l'eau ou la nourriture contaminée par les déchets humains, animaux ou chimiques. Il s'agit des infections gastro-intestinales dues à des bactéries, parasites ou virus.

La situation actuelle en matière de rejet des eaux usées et la pollution excessive des eaux de surfaces et souterraines ont conduit à l'apparition des maladies à transmission hydrique dans la zone d'étude. De nombreux cas de maladies microbiennes transmises par l'eau polluée peuvent être dénombrés, ainsi l'eau contaminée par des excréments humains ou animaux peuvent provoquer, chez l'homme qui en consomme, des maladies comme : le choléra, la fièvre typhoïde, les dysenteries, les hépatites et les parasites. Ces maladies représentent un problème prioritaire de santé publique du fait de la place importante qu'elles tiennent dans la mortalité et la morbidité générale (TALEB, 2007).

La typhoïde, également connue sous le nom de fièvre typhoïde ou de fièvre entérique est une infection provoquée par la bactérie *Salmonella typhi* dans l'eau, qui sont des bacilles mobiles acroanaérobies facultatives capables de survivre plusieurs semaines dans l'eau.

Au niveau de la wilaya de Tlemcen, les services sanitaires ont enregistré 62 cas en 2008, ils ont enregistré uniquement 5 cas en 2015, un seul cas en 2014 selon les données de la direction de la santé de Tlemcen.

Au niveau de la wilaya d'Ain Témouchent, les services de la santé ont enregistré 154 cas en 1999, 38 cas en 2003, 8 cas en 2009 et 8 cas en 2010 de fièvre typhoïde, selon les données de la direction de la santé d'Ain Témouchent.

Au niveau de la wilaya d'Oran, les services de prévention de l'hôpital universitaire (CHU) ont déclaré un chiffre de 8 cas en 2014 et 16 cas en 2015 selon les données de la direction de la santé d'Oran. La fièvre typhoïde se transmet par voie indirecte à la suite de l'ingestion d'une eau contaminée par le germe ou en étant en contact avec des aliments souillés. Les mauvaises conditions d'hygiène, les défaillances dans les réseaux d'alimentation en eau potable et d'assainissement des eaux usées sont les principaux facteurs mis en cause dans l'apparition et la transmission de l'infection. La prise en charge médicale se doit d'être immédiate, aussitôt les premiers symptômes constatés. Dans le cas contraire, la fièvre typhoïde risque de provoquer une septicémie (état infectieux généralisé) pouvant être mortelle.

L'hépatite A est une infection hépatique provoquée par le virus de l'hépatite A (VHA). Le virus se propage essentiellement lorsqu'une personne non infectée (ou non vaccinée) ingère de l'eau ou des aliments contaminés par les matières fécales d'un sujet infecté. La maladie est étroitement associée au manque d'eau potable, à une nourriture impropre à la consommation, à l'insuffisance de l'assainissement et à une mauvaise hygiène personnelle.

L'hépatite virale A est une conséquence de la gross-connexion qui est le mélange d'eau potable avec les eaux usées du fait de manque de l'entretien des réseaux et les mauvaises confections des

branchements, le branchement illicite par les citoyens sans l'avis des gestionnaires, le manque du curage des regards d'assainissement, le dépôt des calcaires dans les réseaux d'AEP, tous ces facteurs sont des causes de la gross-connexion, à titre d'exemple en 2000, il ont enregistré 10 cas de gross-connexion au niveau de la wilaya d'Ain Témouchent selon la direction de l'hydraulique d'Ain Témouchent. Cette wilaya a enregistré 45 cas de maladie hépatite virale A en 1995, 11 cas en 2003, 6 cas en 2005, 10 cas en 2009 et 3 cas en 2010 (direction de santé de la wilaya d'Ain Témouchent). La wilaya de Sidi Bel Abbès a connu 11 cas de l'hépatite virale « A » en 2011 (direction de la santé de la wilaya de Sidi Bel Abbès).

Au niveau de la wilaya d'Oran, les services de prévention du CHU ont déclaré en 2014 un nombre de 139 cas, 111 cas en 2015 et 123 cas en 2016, un nombre important des cas de cette maladie au niveau de cette région (direction de la santé de la wilaya d'Oran).

Le problème le plus inquiétant, c'est l'apparition de la peste à Oran en 2003 selon les données de la direction de la santé de la wilaya d'Oran. La peste est une maladie affectant de nombreuses espèces de rongeurs, et surtout le rat. Elle est transmise à l'homme par la piqûre de puces contaminées au contact de ces rongeurs malades, qui abandonnent les rongeurs après leur mort et vont chercher leur nourriture sur les humains. Ce qui explique l'ampleur que prennent les épidémies de peste dans les villes particulièrement insalubres. Chez l'homme, les manifestations de la maladie sont variables. Elle se manifeste par une forte fièvre et un gonflement des ganglions lymphatiques dans la région de la piqûre, qui suppurent et deviennent noirâtres. Elle peut évoluer en septicémie, mortelle en moins de 36 heures ou, quand la bactérie atteint les poumons, se transformer en peste pulmonaire, mortelle en trois jours en l'absence de traitement approprié. Forme la plus dangereuse, la peste pulmonaire, très contagieuse, se transmet par voie aérienne d'homme à homme, par l'inhalation des postillons expectorés par les malades. La peste est donc une maladie infectieuse grave, aujourd'hui heureusement curable par les antibiotiques.

À l'aube du deuxième millénaire, une épidémie de peste a éclaté au courant du mois de juin 2003 dans la banlieue d'Oran. Cette calamité fait suite à une multitude de catastrophes qui a frappé le pays à savoir, en 2002 la tuberculose avec 18 328 cas, la typhoïde avec 2 411 cas et la méningite avec 2 579 cas en plus des maladies à transmission hydrique avec en moyenne 8125 cas par an (ministère de la Santé). Ainsi, entre le 4 et le 18 juin 2003, 10 cas de peste bubonique sont apparus dans la localité de Kehaïlia, commune de Tafraoui, à 30 km d'Oran. On déplore le décès du premier cas signalé le 4 juin, un enfant de 11 ans. Le village fut mis en quarantaine pour 12 jours et tous les habitants du village sont mis sous traitement préventif en plus d'une campagne de désinsectisation. À ces dix premiers cas sont venus se rajouter 4 autres cas dans des communes des wilayas de Mascara et Ain Témouchent, limitrophes de la wilaya d'Oran. Ce sont les premiers cas de peste enregistrés en Algérie depuis l'indépendance en 1962 (direction de la santé d'Oran, 2015).

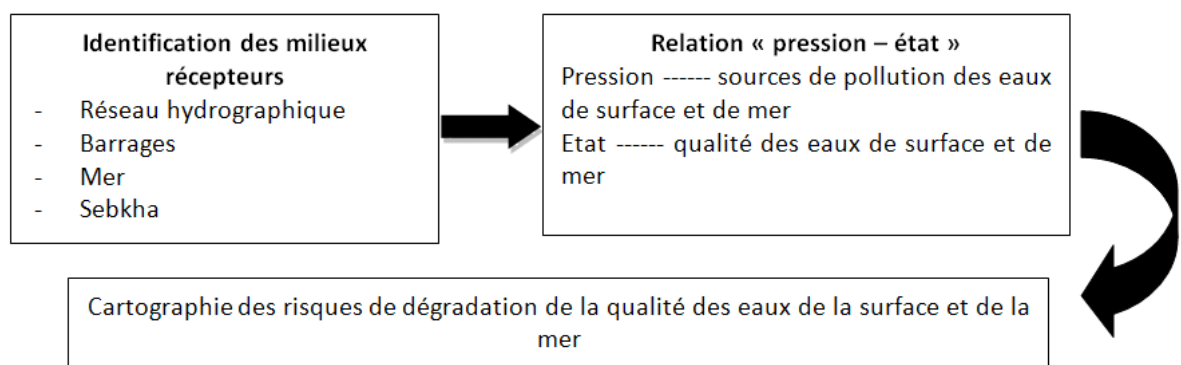
L'apparition de la peste est une conséquence du fait que les eaux usées soient déversées dans la nature, l'absence de canalisations a pour conséquence d'attirer les rats, ainsi que la multiplication des décharges sauvages, car les rats apprécient particulièrement de se nourrir d'excréments humains.

VI. Résultats de l'évaluation : cartographie de la carte de risque de contamination des eaux de surface et de mer par les eaux usées

Nous avons suivi la méthode proposée au-dessus en mettons l'analyse de la relation entre les milieux récepteurs des eaux usées (réseaux hydrographiques, mer, lac, barrages, sebkha) et l'état de la qualité des eaux de surface et de la mer, ceci a permet la production de la carte de risques de dégradation de la qualité des eaux sur l'ensemble de la zone d'étude. Pour cela, nous avons cartographie le réseau hydrographique et la limitation des sous-bassins versants, nous avons localisé les points de rejets des eaux usées au niveau des oueds et en mer, nous avons identifié les rejets traités et non traités, la nature de la station d'épuration, le fonctionnement des stations d'épuration des eaux usées urbaines et la qualité des eaux épurées. Nous avons ainsi localisé les points de rejets des eaux industrielles leurs états de traitement.

Dans une deuxième étape, nous avons évalué la qualité physico-chimique des eaux de surface, des barrages et de mer ainsi que le degré de pollution organique des eaux (faible pollution, pollution modérée et forte pollution) selon l'indice de la pollution organique (IPO). L'analyse des relations pression-état a permet l'élaboration de la carte de risque sur la base des flux de contaminants vers les eaux de surface et de mer (carte 55 A,B,C,D).

Figure 56. Étapes de cartographie le risque de dégradation de la qualité des eaux de surface et de la mer



L'interprétation de cette carte permet de décrire les points suivants : La carte de risque illustre des résultats obtenus sur les bassins-versants de la zone d'étude par tous les rejets des eaux usées. Le risque est divisé en trois degrés, risque faible avec une pollution organique faible, risque moyen avec une pollution organique modérée et risque fort avec une pollution organique forte.

Zone à risque faible : présente les cours d'eau temporaires et permanents qui reçoit un nombre faible de rejet des eaux usées avec un faible volume et absence des zones industrielles. Parmi ces zones les oueds Boukiou, Tafna, Isser, ces derniers présentent une qualité acceptable des eaux. Le barrage de Mefrouche, car il présente un degré de pollution organique faible et rejet faible des eaux usées. L'oued Sennane est de bonne qualité par la présence de la STEP d'Ain Témouchent et l'absence de rejet industriel, donc il présente un risque faible de contamination. L'oued Mekerra

moyen et amont a des faibles risques de pollution par le traitement d'un volume important des eaux usées urbaines, une partie des eaux d'oued Mekerra aval présente un risque faible par le traitement des eaux usées urbaines (STEP Sidi Bel Abbès) et il est de bonne qualité organique des eaux.

Zone à risque moyen : les oueds Khemis, Sebdo et Isser qui débouche dans le barrage Sidi Abdelly, oued Sarno, présentent un risque moyen de pollution par l'existence des points de rejets des eaux usées avec l'absence de traitement, donnent à ces oueds le moyen risque, ainsi qu'ils sont de qualité physico-chimique moyenne. Les barrages de Boughrara, Sidi Abdelly, Beni Bahdel et Sarno présentent un risque de contamination moyen suite à un degré de pollution organique modérée. Au niveau du littoral d'Ain El Turk, il est soumis à un risque moyen de contamination, et ce à cause de traitement des eaux usées par la STEP d'Ain El Turk. Nous constatons que les parties de la sebkha d'Oran aux niveaux des rejets de la STEP d'El Kerma et la STEP d'El Amria présentent un risque moyen, cette situation est suite aux qualités des eaux usées épurées.

Zone à risque fort : les oueds Isly, Mouillah sont classés dans la zone de fort risque de contamination à cause des rejets de provenance du Maroc non traités et qui sont de mauvaise qualité.

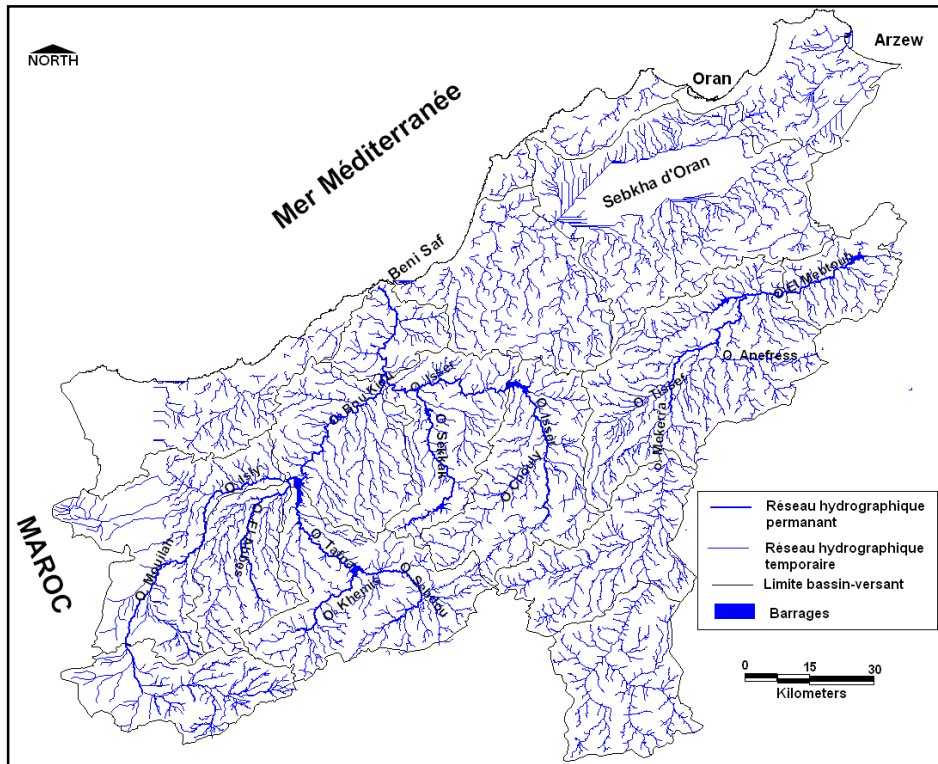
L'oued Abbès et oued Ouderfou présente aussi un fort risque due aux rejets de la zone industrielle de Maghnia qui sont en majorité non traités et présentent une mauvaise qualité des eaux rejetées contribues à la pollution des oueds.

L'oued Sikkak présente un fort risque suite aux rejets industriels des zones industrielles Tlemcen, Hennaya et Choutouane en majorité non traités, malgré l'existence de la STEP de Tlemcen qui a un bon fonctionnement. Cette zone est dans la catégorie de fort risque à cause de la pollution industrielle et agricole. L'oued Sikkak contribue à la pollution organique des eaux du barrage Sikkak qui est de forte pollution organique selon la classe de l'indice IPO.

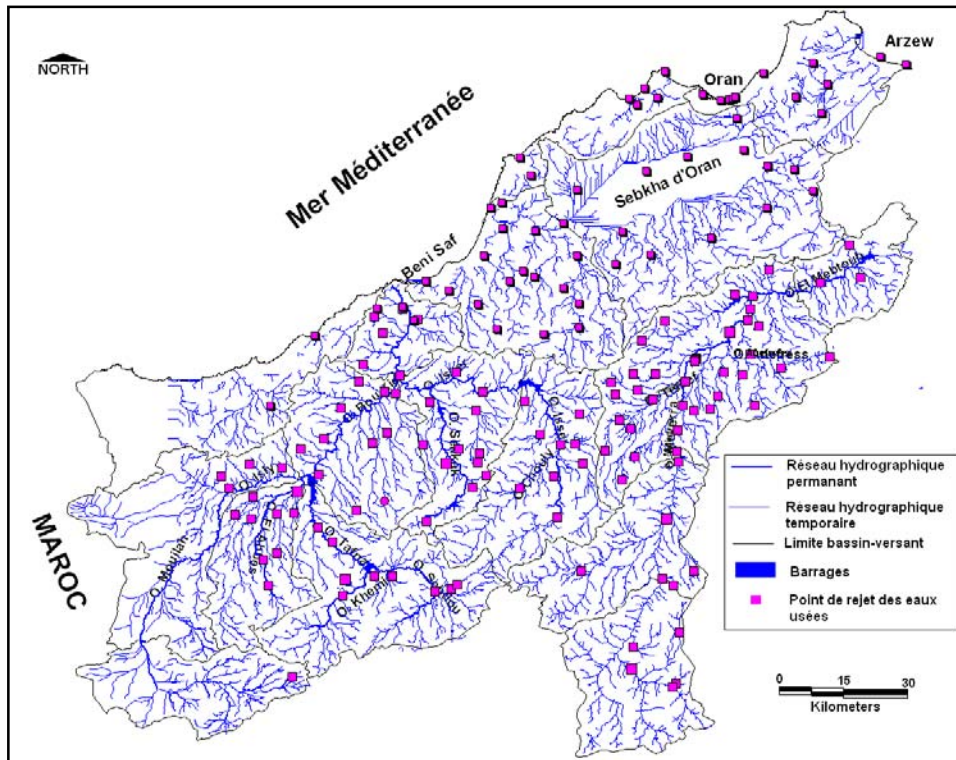
L'oued Mekerra après le conflue avec oued Elmallah présente un risque fort de pollution, ceci est dû à la pollution des eaux épurées par les eaux industrielles. Oued Mebtouh est dans la catégorie de fort risque à cause des rejets de la zone industrielle de Sidi Bel Abbès, aux rejets des agglomérations non traités et à la pollution agricole, ce risque fort conduit à la pollution du Barrage de Cheurfa.

Le littoral d'Arzew est classé dans le risque fort suite aux activités portuaires, industrielles et rejets des eaux usées non traitées. Au niveau du port d'Oran, cette zone est classée dans le fort risque, à cause d'un nombre important de rejets des eaux usées de la ville d'Oran non traitées et l'activité portuaire. Nous distinguons aussi la partie Ouest du littoral d'Oran (les Andalous) comme zone de risque fort à cause des rejets importants des eaux usées non traitées. Le littoral de Beni Saf et Ghazaouet sont classés dans la catégorie de fort risque, résultante de non-traitement des eaux usées urbaines et industrielles directement rejetées dans la mer et l'existence de l'activité portuaire dans cette région.

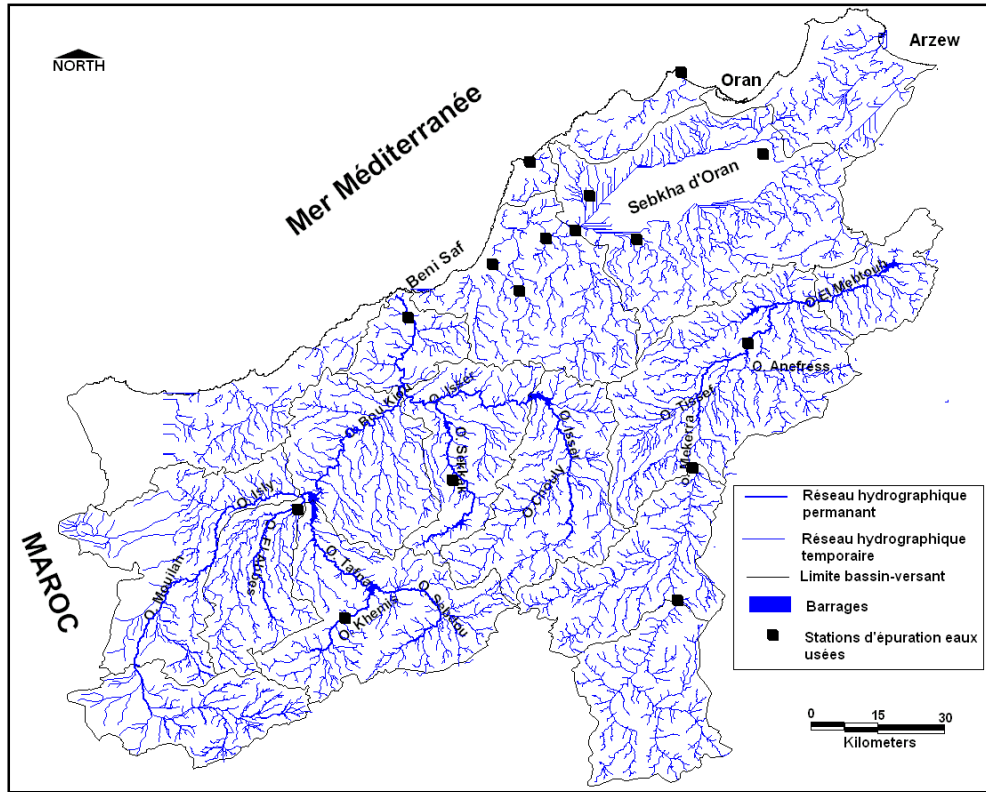
Cartes 55 (A,B,C,D). Cartes de combinaison pour l'analyse du risque de pollution des eaux de surface et de la mer



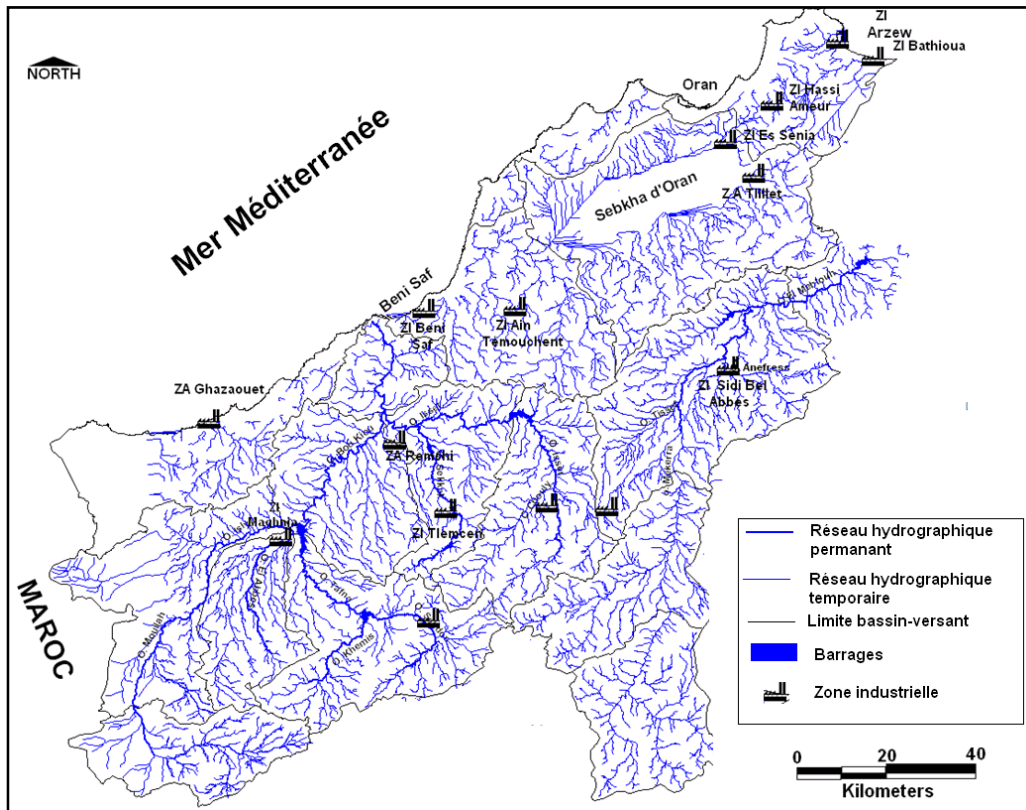
A. Carte des milieux récepteurs



B. Carte des points de rejets des eaux usées

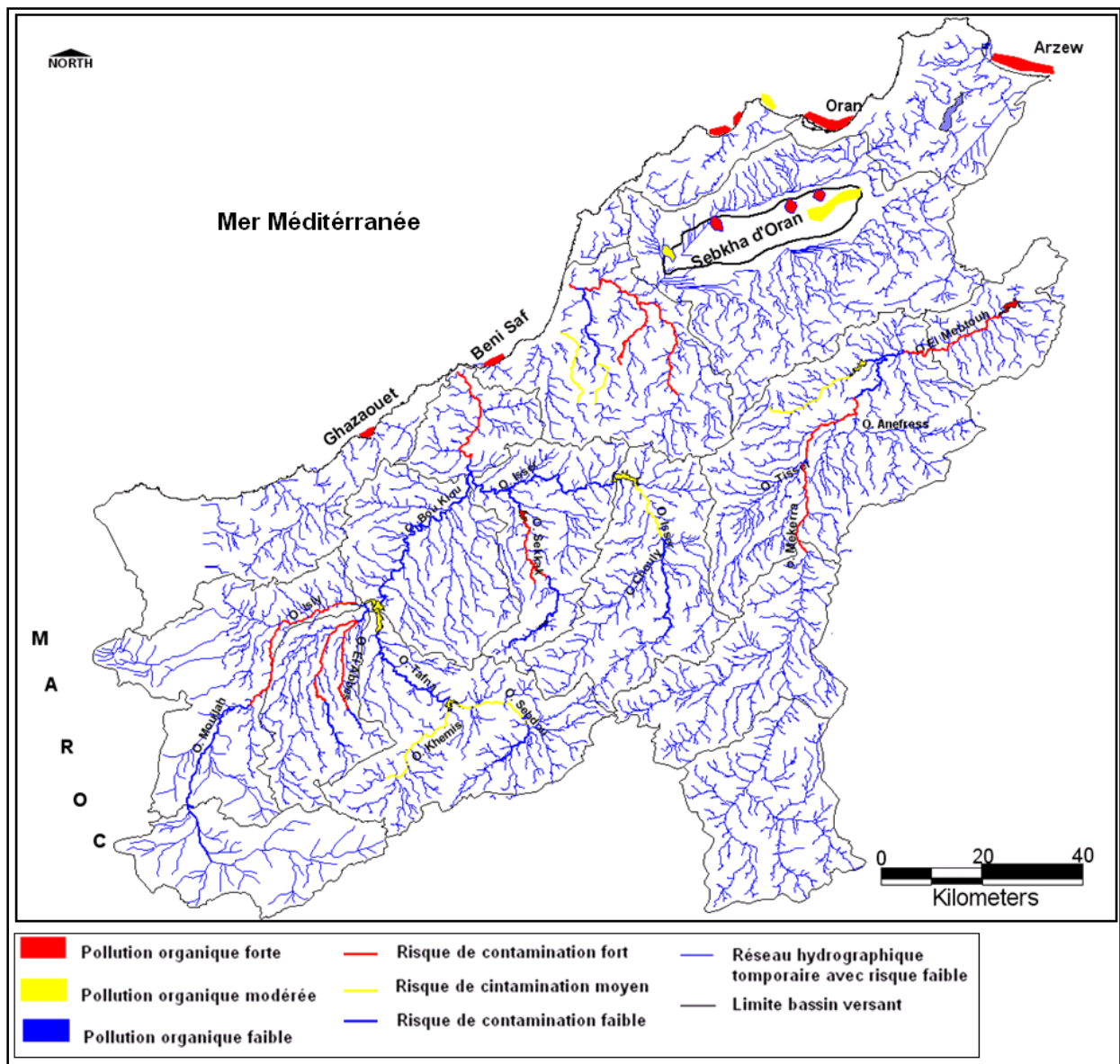


C. Carte des STEP



D. Carte des zones industrielles

Carte 56. Carte de risque de contamination des eaux de surface et de la mer



Source : traitement personnel, 2017

VII. La stratégie d'acteur : état actuel en termes de solution de mise en œuvre de la gestion des eaux usées

1. Efficacité de la gestion actuelle des eaux usées

Il est clair qu'il ne peut y avoir de développement durable sans la maîtrise de la ressource en eau, particulièrement pour les pays soumis à un climat aride et semi-aride comme le Nord-ouest Algérien où l'eau a une valeur économique et devrait donc être protégée. La gestion actuelle en matière de gérer les ressources en eaux et plus particulièrement l'assainissement et la gestion des

eaux usées au niveau de notre zone d'étude présente plusieurs difficultés, notamment en termes d'assainissement et de traitement.

Malgré les efforts entrepris par les services de la gestion de l'eau, les problèmes de maîtrise de l'eau usée restent encore posés. Les taux de raccordement des populations à des systèmes d'assainissement (respectivement entre 93% et 86% dans la zone d'étude) sont très élevés dans les agglomérations, un peu plus faibles dans le monde rural, ce qui montre une certaine amélioration dans le domaine de raccordement en eaux usées. Mais ces taux relativement élevés ne traduisent pas l'état réel d'abandon et de dégradation dans lequel se trouvent la plupart des systèmes de collecte et d'épuration des eaux usées.

Les réseaux et d'autres ouvrages n'ont souvent pas été entretenus pendant plusieurs décennies et des stations d'épuration sont à l'arrêt. Malgré la réalisation de plusieurs stations durant ces derniers dix années, comme les stations d'Ain Témouchent en 2013, d'El Kerma en 2011, de Tlemcen en 2005, de Bouzjedjar en 2013, un manque énorme reste posé en termes de traitement, car sur un nombre très élevé de points de rejet seulement 16 stations sont exploitables. La wilaya d'Oran est caractérisée par un manque très élevé de stations, deux stations sont disponibles pour traiter le grand volume des eaux usées rejetés.

Nous remarquons qu'au niveau d'une seule ville (comme le cas de la ville d'Ain Témouchent, de Sidi Bel Abbes et d'Oran) un volume des eaux usées est traité et d'autre est rejeté dans la nature sans traitement, ce point doit être pris en considération par les gestionnaires dans les programmes de gestion des eaux usées afin d'avoir une gestion efficace et protéger les milieux récepteurs des eaux usées.

La vétusté des réseaux ou la mauvaise qualité des tuyaux et buses dans les nouveaux quartiers d'habitation font que les conduites sont souvent éventrées et/ou bouchées, laissant les eaux sales rejaillir à la surface ou s'en aller contaminer le réseau d'alimentation en eau potable (KERZABI, 2009), le manque du curage des réseaux d'assainissement, un étalement urbain important sans prendre en compte la satisfaction et les diamètres des réseaux d'assainissement, l'ancienneté des réseaux, le rejet industrielles dans les réseaux d'assainissement domestique qui conduit au dysfonctionnement des stations, le manque de traitement des eaux, le rejet quotidien des eaux usées dans les oueds et la mer sans aucun traitement, tous ces insuffisances de gestion des eaux usées conduit à une forte pollution des ressources en eau et la mer, à l'apparition des maladies à transmission hydriques et à l'irrigation par des eaux polluées.

Les autorités Algériennes ont mené une amélioration de l'aspect législative de l'eau en particulier l'assainissement et la pollution des eaux, cette action sera efficace si ces lois et décrets sont applicables. Par contre nous trouverons que presque tous les articles de la loi de l'eau améliorée en 2005 ne sont pas adaptés par les autorités locales et régionales.

2. Réutilisation des eaux usées traitées : solution d'une valeur économique

De par leur charge en différents types de polluants, les eaux usées rejetées directement dans le milieu naturel constituent un risque sur les ressources naturelles et l'environnement. Néanmoins,

une fois épurées adéquatement, les eaux usées pourraient être une source d'eau pour les secteurs connus pour leur forte consommation d'eau, comme l'agriculture (El MEHDI, 2010).

Dans les régions arides et semi-arides comme le cas de la région Nord-ouest Algérienne, les variations dans les précipitations accompagnées par des périodes de sécheresse successives engendrent des impacts à long terme sur la disponibilité des eaux pour les agriculteurs (KHOURI et al., 1994). Pour cela, d'un point de vue quantitatif, les eaux usées sont une source d'eau toujours disponible étant donné que la consommation d'eau propre ne s'arrête pas. En effet, les eaux usées traitées peuvent assurer l'équilibre du cycle naturel d'eau et préserver les ressources en réduisant les rejets néfastes dans le milieu naturel (BOUCHET, 2008). En fait, le recyclage des eaux usées traitées permettrait de générer une grande quantité d'eau qui serait disponible pour le secteur agricole.

La réutilisation des eaux usées épurées afin de subvenir aux besoins en eau croissants du secteur agricole a longtemps été entravée en raison de la vétusté des stations d'épuration en Algérie. Dans la nouvelle politique de l'eau, elle est devenue un axe prioritaire et des investissements ont été consentis dans la réhabilitation des anciennes stations et dans la construction de nouvelles. Étant donnée la situation de *stress hydrique*, les pouvoirs publics ont vu dans cette opportunité un moyen de réduire ou du moins de préserver les ressources en eaux traditionnelles tout en accroissant la production agricole.

Avec l'apparition de la loi n° 05 - 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, elle a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n°60- année 2005). Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de ces concessions ainsi que le cahier des charges afférent (JO n°35 année 2007). L'arrêté interministériel portant spécifications des eaux usées épurées, l'arrêté interministériel portant laboratoires des analyses des eaux usées épurées. Les arrêtés interministériels publiés le 15 juillet 2012 ont fixé respectivement la liste des cultures autorisées et les spécifications normatives de qualité des eaux usées épurées. L'utilisation des eaux traitées peut bénéficier également aux municipalités (espaces verts, lavage des rues, lutte contre les incendies, etc.), aux industries (refroidissement) et au renouvellement des nappes (protection contre l'intrusion des biseaux salés en bord de mer) et permet de lutter contre la pollution des ressources en eau (oueds, barrages, nappes phréatiques, etc.) (MORGAN MOZAS et al., 2013).

L'usage des eaux usées traitées pour l'irrigation peut également aider à améliorer les rendements agricoles à cause de certains composés résiduels présents dans les eaux après leurs traitements. Généralement, ces eaux sont riches en certains éléments nutritifs et en matières organiques comme l'azote minéral, l'azote organique, le phosphore et les micronutriments. Ces derniers sont importants à la fois pour augmenter la fertilité et la structure du sol et la productivité agricole (MAAARO, 2009). Cela permettrait de remplacer, en partie, l'usage d'engrais minéraux. En plus des avantages environnementaux, les eaux usées épurées pourraient avoir un impact économique positif sur les agriculteurs. À la suite de la forte demande d'eau dans le secteur agricole,

l'acheminement de l'eau traitée vers les champs agricoles diminuerait les incidences négatives causées par l'utilisation d'eaux propres en irrigation (El MEHDI, 2010).

Les eaux traitées pourraient rendre l'irrigation moins coûteuse et à la portée des agriculteurs locaux, ce qui leur permettrait d'investir leur argent dans la diversification des cultures et de s'orienter vers une agriculture à grande valeur ajoutée et plus durable. Même les responsables de l'assainissement et du traitement des eaux pourraient bénéficier du prix de vente de l'eau traitée et des produits dérivés au lieu de la rejeter directement dans le milieu naturel (LAZAROVA ET BRISSAUD, 2007).

À la fin de l'année 2011, en Algérie, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m³/an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricoles (MRE, 2012). Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles évoluera d'une manière significative d'environ 17 millions de m³ en 2011 à environ 200 millions de m³ en 2014, et le nombre de stations concernées est de 25 stations d'épuration en 2014 (MRE, 2012). Les stations d'épuration gérées par l'ONA concernées par les projets de réutilisation des eaux usées épurées en cours d'étude ou de réalisation, sont au nombre de 12, pour l'irrigation de plus de 8 000 hectares de terres agricoles (MRE, 2012).

L'arrêté interministériel du 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irrigués par les eaux usées épurées, exige que l'irrigation avec ces eaux soit permise aux conditions que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte et les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont détruits. Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs, se sont les normes pour la réutilisation des eaux épurées, le problème pose si ces conditions sont suivies par les agriculteurs ou pas ?

Au niveau de la zone d'étude, seulement les eaux usées épurées par la STEP de Tlemcen sont réutilisées pour l'irrigation sur un périmètre de 912 ha répartis sur 28 exploitations agricoles collectives et individuelles (EAC) et (EAI) spécialisées dans les agrumes, l'arboriculture, les maraîchers et les légumes secs. La STEP de Aïn El Houtz, située dans la commune de Chetouane, fournira une quantité de 30 000 m³ d'eaux traitées aux agriculteurs suivant des techniques et normes en vigueur. Les eaux traitées se déversent dans un réservoir de 9 300 m³ avant leur transfert vers le périmètre d'Hennaya à travers des canalisations de 14 000 m de long selon les données de la direction de l'agriculture de Tlemcen (direction de l'hydraulique de Tlemcen 2016). La problématique qui concerne la réutilisation de ces eaux usées épurées de Tlemcen, c'est que cette STEP n'utilise pas le traitement chimique, ainsi que l'absence des tests microbiologiques dans la caractérisation des échantillons de l'eau de la station d'épuration (STEP) pose aussi un problème.

Un autre programme de réutilisation des eaux usées qui est en cours d'étude c'est l'irrigation du périmètre de M'leta (Oran) par la STEP d'El Kerma pour une superficie projetée de 8000 ha. Cette zone regroupe les terres agricoles des communes de Tafraoui et d'El Kerma.

3. La lutte contre l'irrigation par les eaux usées

L'irrigation de terres agricoles par les eaux usées ne cesse de prendre de l'ampleur à travers la zone d'étude, ce qui est devenu alarmant pour la santé publique. L'oued Tafna représente un site à haut risque du fait de déversement des eaux usées urbaines et industrielles sans aucun traitement dans l'oued, l'inutilisation de ces eaux à des usages d'irrigation risque de provoquer des impacts néfastes sur la qualité des eaux souterraines, du sol agricole et pour le rendement agricole.

Les eaux usées représentent un important véhicule d'agents biologiques (parasites, bactéries et virus) et chimiques (métaux lourds surtout) issus de l'activité humaine et/ou industrielle. Dans les zones d'épandage, le rejet de ces eaux usées est intense. Les agents pathogènes peuvent être transmis à l'homme lors du contact direct avec les eaux usées, ou indirectement par la consommation de cultures irriguées avec ces eaux, ou encore par des produits d'origine animale.

D'une manière générale, l'irrigation avec les eaux usées entraîne à une accumulation des sels dans le sol. Les horizons les plus profonds voient leur conductivité augmentée suite à un lessivage des sels surtout les chlorures, le sodium et les sulfates. Le principal risque encouru par le sol lors de l'irrigation avec des eaux usées brutes est le colmatage (VALIRON, 1983) qui n'affecte généralement que la couche superficielle. Il peut être de plusieurs types, *colmatage physique* causé par les matières en suspension qui obturent les pores du sol et entraînent une imperméabilisation de surface. *Colmatage chimique* est dû à la précipitation de certains sels, qui est en fonction du pH, de la température et du potentiel redox (VALIRON, 1983) établie la formation de couches lamellaires blanchâtres qui sont probablement des sels de sodium. Et enfin le *Colmatage biologique*, l'apport de matières organiques par les eaux usées peut entraîner le colmatage du sol en favorisant un développement d'algues.

Ce phénomène est devenu très inquiétant dans la zone d'étude, l'irrigation au moyen d'eaux usées brutes est strictement interdite au vu des dangers parfois mortels qu'elle représente. Au niveau de wilaya de Tlemcen, selon la direction de l'hydraulique en 2012, ont calculé 83 ha de surface irriguée par des eaux usées non traitées (tableau 58).

Tableau 58. Irrigation avec les eaux usées dans le bassin de Tafna en 2012

Communes	Chetouane	Ain fezza	Tlemcen	Sebdou	Mansourah	Beni Mester	Remchi	Hennaya	Total
Superficie ha	33	5	9	6	2.5	2.5	8	17	83

Source : direction d'hydraulique de Tlemcen, 2012

Dans la plaine d'Hennaya, les rejets des eaux usées déversent directement dans le canal d'irrigation engendre un risque de pollution élevé à la fois pour le sol et les eaux souterraines dans la zone irriguée (BEMMOUSSAT, 2012), pour cette raison qu'on retrouve une surface importante de 17 ha irriguée par les eaux usées.

Pour la région d'Oran, en 2015, 35 affaires toutes liées à l'utilisation des eaux usées dans l'irrigation des champs agricoles ont été traitées par la gendarmerie nationale.

Au niveau de la wilaya de Sidi Bel Abbes, dix-huit hectares de culture de melons et pastèques irrigués par des eaux usées dans la commune de Lamtar, située à 25 km à l'Ouest du chef-lieu de wilaya de Sidi Bel Abbes, ont été détruits en 2012. En même date, deux motopompes et du matériel servant à l'irrigation ont été saisis par la commission de wilaya chargée de lutter contre l'irrigation des cultures avec des eaux usées. En 2016 au niveau de la R.N 13, entre ladite localité et le chef-lieu de wilaya de Sidi Bel Abbes, quatre engins pour l'irrigation de quelque 90 hectares de cultures en eaux usées ont été enregistrées. Au niveau même de cette wilaya, les services de la gendarmerie nationale ont lancé en 2012 une vaste opération pour traquer les producteurs maraîchers qui irriguent leurs récoltes avec des eaux usées. Cette opération a notamment ciblé la région d'Aïn El Berd où 8 pompes et 8 moteurs ont été saisis. Au niveau de la commune de Sfisef, la police des eaux a enregistré la détérioration d'un champ de tomate de 2 ha de superficie irriguée en eau usée, et ce, à l'aide d'un pompage à partir d'Oued Elmaleh situé à la sortie Sud de la commune de Sfisef (direction d'hydraulique de Sidi Bel Abbes, 2016).

Conclusion du 4^{ème} chapitre : volume important des eaux usées avec un manque énorme de traitement et une gestion défaillante de l'assainissement, provoquent la dégradation de la qualité sanitaire des milieux aquatiques et l'homme

La pollution des eaux par les eaux usées représente un sérieux problème dans les pays en voie de développement comme l'Algérie, avec l'absence des stations d'épuration, les eaux usées sont rejetées dans les milieux récepteurs sans traitement, ce qui provoque la perturbation des milieux aquatiques. Ce chapitre a permis, en effet, de mettre en évidence cette pollution et dégradation des milieux récepteurs des eaux usées (oueds, sebkha, lacs et mer) dans la zone d'étude. Cette zone comporte un nombre important de points de rejet, 167 points de rejet dont 56 se trouvent dans le bassin d'oued Tafna, 47 au niveau d'oued Mekerra, 35 points dans le bassin du côtier Oranais, 22 points se trouvent dans tous le littoral de la zone d'étude et 4 points où les rejets se font directement vers la sebkha d'Oran. Ces différents points de rejets mettant en danger les ressources en eaux de surface et souterraines et conduits aussi à la dégradation du littoral.

La gestion de ces eaux usées, au niveau de la zone d'étude connue une grande défaillance, notamment en matière d'assainissement, ce dernier est l'un des éléments nécessaires pour assurer une vie convenable aux citoyens, l'assainissement au niveau de la zone d'étude se trouve dans un mauvais état, malgré que le taux de raccordement en réseau est important (83% pour la wilaya d'Oran, 98 % pour la wilaya d'Ain Témouchent, 95.48 % pour la wilaya de Sidi Bel Abbes et 92.53 % pour la wilaya de Tlemcen) cela ne signifie pas que la problématique de l'assainissement est résolue. Ces réseaux connus différentes problèmes comme l'ancienneté, ils ne répondent pas au diamètre et aux débits des eaux usées, le système d'assainissement est dépassé par les étalements urbains, un dysfonctionnement des stations de relevages par des problèmes techniques, de gestion, des entretins et de curage.

Cette zone est marquée par un manque énorme de traitement des eaux usées, sur 167 points de rejets seulement 16 stations d'épuration existantes, dont 60 % des eaux usées sont rejetées dans la nature sans traitement, la zone comporte six stations à boues activées et les autres sont de nature lagunage. La station de Tlemcen est un très bon exemple de fonctionnement, les eaux traitées sont de meilleure qualité et sont utilisées pour l'irrigation de la plaine d'Hennaya. Les eaux usées traitées par la station d'El Kerma sont caractérisées par un taux élevé en nitrate à cause de la faible nitrification et la dénitrification est nulle. Les eaux usées traitées par la STEP de Sidi Bel Abbes se caractérisent par la présence de métaux lourds provenant des rejets industriels et à l'absence de traitement chimique des eaux, ainsi nous pouvons citer que les rejets industriels non traités au niveau d'Oued Elmellah contaminent les eaux usées traitées de Sidi Bel Abbes. La STEP d'Ain Témouchent est un très bon exemple du bon fonctionnement, elle a permis la protection d'oued Sennane contre la pollution, ces rejets sont de meilleur qualité physico-chimique, aussi la STEP de Maghnia a permis en grande partie, la protection des eaux du barrage de Boughrara. Malgré l'existence de ces stations, le manque est énorme en termes de traitement, le rejet en milieu

récepteur des eaux usées non traitées menace l'écosystème aquatique et conduits à des conséquences sur le plan environnemental, économique et humain.

Un volume important est rejeté quotidiennement en milieu naturel, l'agglomération d'Oran rejette environ 51.73 hm³ /an d'eau usée, l'agglomération de Sidi Bel Abbas évacue environ 839 000 m³/j, Ain Témouchent rejette 11 447 m³/j et l'agglomération de Tlemcen évacue 19 851 m³/j, se sont des volumes importants peuvent causer des graves menaces sur l'homme et l'environnement. Ces eaux usées domestiques sont très chargées en matières organiques, les eaux usées industrielles sont caractérisées par la présence des métaux lourds et des produits toxiques ainsi que les hydrocarbures engendrent différents risques sur les ressources en eaux et de la mer.

L'évaluation des risques engendrés par les eaux usées sur les milieux récepteurs nécessite une analyse de la qualité physico-chimique et bactériologique des ressources en eaux et de la mer. Selon ces analyses, oued Mouillah est en état très pollué par les eaux usées en provenance du Maroc, oued Khemis est en moyenne qualité, par contre l'oued Sikkak et Ouderflou sont de très mauvaise qualité avec un DBO₅, DCO, MES, Phosphore, Nitrites de valeurs très élevées. Les analyses de la qualité des eaux de surface montrent que les eaux d'oued Mekerra sont dans un état d'insalubrité très prononcé, il est très pollué sauf au niveau des rejets de STEP de Sidi Bel Abbas jusqu'à le conflue avec oued Elmellah, où il devient pollué par les eaux industrielles. Oued El Maleh du bassin du côtier d'Ain Témouchent prend une forte pollution et une très mauvaise qualité au niveau du Chaabet El Ham par les eaux résiduares de la zone industrielle d'Ain Témouchent et les oueds El Maleh, Aghllal et Hessassena par les eaux usées domestiques. Seulement les eaux d'oued Sennane qui sont en bonne qualité physico-chimique suite à la présence du traitement des eaux usées (STEP d'Ain Témouchent).

Nous pouvons dire que l'étude de la qualité des eaux superficielles du bassin versant de la Tafna, Mekerra et côtier Oranais nous a permis d'évaluer le degré de pollution de la zone. Ceci montre la dominance de la pollution organique sur tous les bassins et particulièrement dans les oueds proches des agglomérations où sont déversés les rejets urbains et les rejets des zones industrielles.

L'écoulement des eaux polluées par les eaux usées favorise la dégradation de la qualité des eaux des barrages utilisées pour l'alimentation en eau potable. Dans ce contexte et afin d'évaluer l'état de cette pollution nous avons analysé la qualité physico chimique des eaux des barrages afin de voir les risques engendrés par les rejets quotidiens des eaux usées. Dans ce chapitre, nous avons analysé des indicateurs de pollution représentés par la *DBO₅*, *DCO*, le phosphore total et les produits azotés tel que l'ammonium (NH₄) et les matières en suspension (MES) effectuée sur les eaux des barrages en 2005 et en 2017, ainsi nous avons appliqué la méthode du calcul de l'indice de pollution organique (IPO) afin de classer le niveau de pollution des barrages. Selon les résultats des calculs nous pouvons dire que les eaux du barrage Sikkak et Cheurfa sont classées dans la grille de forte pollution organique en 2005 et 2017. Les eaux des barrages Beni Bahdel, Mefrouche et Sidi Abdelly ont une pollution organique modérée et faible. Le barrage de Sarno et Boughrara ont été classé dans la grille de forte pollution et très forte pollution en 2005, les eaux de ces

barrages ont connu certaines améliorations ces dernières années à cause de la prise en conscience par l'état de la protection des eaux de ces deux barrages.

Nous avons noté aussi, dans ce chapitre, les nuisances considérables des rejets des eaux usées non traitées directement vers le littoral Oranais, plus de 90 millions m³ d'eaux usées se déversent annuellement sur les côtes de ce littoral. Un constat accablant qui renseigne sur l'étendue des dégâts causés par cette situation sur l'écosystème marin et les réserves halieutiques. Avec un volume régulier de plus de 7 millions m³ par mois d'eaux usées, c'est tout le littoral qui est menacé de pollution aggravée et de dégradation écologique marine irréversible. Cette pollution a des impacts négatifs directs sur l'activité et l'efficacité économiques, sur la santé et la qualité de vie de la population, sur la productivité et la durabilité du patrimoine naturel. Il apparaît que le littoral Oranais est plus que pollué aux alentours de la zone industrielles et urbaines. Les valeurs de la DCO et de la DBO5 qui dépassent les normes tolérées par la réglementation, la présence d'une pollution bactériologique, montrent l'ampleur de la forte pollution notamment de la zone industrielle pétrochimique d'Arzew et la côte ouest Oranaise.

Selon cette situation de pollution des ressources en eaux de surface et de la mer et l'apparition de plusieurs cas de maladie à transmission hydriques, nous avons développé une méthode d'évaluation des risques de contamination des eaux basée sur la relation pression-état, nous avons réalisé une carte de risque classée en 3 degrés (faible, moyen et fort). La carte obtenue permet de définir les zones à fort risque de pollution, ces derniers nécessitent une forte protection et importante préservation. Oued Mouillah, Oued Sikkak, Oued Isly, Oued Abbès, Oued Oudarfou, Oued Mebtouh, Oued El Maleh, la côte d'Arzew, la zone du port d'Oran, la partie Ouest de la corniche d'Oran (les Andalous), les barrages de Sikkak et de Cheurfa, sont classées dans les zones à fort risque de contamination.

Ces problèmes de gestion des eaux usées ne seront résolus que si des solutions simples, peu coûteuses et adaptées au contexte local sont trouvées. Tout ceci nécessite absolument l'engagement de tous (Etat, collectivités territoriales, société civile, population, partenaires au développement, médias et leader d'opinion, entrepreneurs, chercheurs, scientifiques et techniciens...) en faveur de l'assainissement, dans le respect de la démarche participative et du processus de décentralisation (KONATE, 2012)

L'assainissement n'est pas un fardeau de plus à supporter : c'est une condition du développement durable. À cet effet, il reste beaucoup à faire pour la gestion des eaux usées, un plan d'action doivent être suivre pour remédier à la problématique de la gestion des eaux usées développer en chapitre suivant. Les populations continuent de déverser les ordures et les eaux usées dans les canaux ainsi que dans les rues. Certes de la part des autorités locales et des services chargés de l'assainissement, beaucoup d'efforts sont faits, mais il en reste encore. Les uns et les autres doivent conjuguer leurs efforts pour parvenir à des résultats probants. Ces efforts passent nécessairement par le respect des règles élémentaires d'hygiène.

Chapitre 5

Protection et préservation de l'environnement, qu'elles solutions pour un développement durable dans les quatre wilayas du Nord-ouest Algérien

Introduction

La zone d'étude est confrontée actuellement à des sérieux problèmes de pollution. En effet, les pollutions engendrées par les rejets des eaux usées non traitées, la production de déchets et leurs éliminations anarchiques et les décharges non-conformes à la protection de l'environnement et la dégradation de l'écosystème posent d'énormes problèmes environnementaux. Ainsi, l'état de l'environnement est devenu ces dernières années très préoccupantes. Au vu de cette situation alarmante, toutes les parties concernées de la protection de l'environnement sont conscientes de devoir mener une intervention urgente dans le cadre d'une politique environnementale, en appliquant intégralement les textes législatifs, tout en appuyant sur la contribution du mouvement associatif pour concrétiser une protection efficace de l'environnement, d'où la nécessité d'adopter une nouvelle approche basée sur la concertation, la communication et la participation de tous les secteurs et les différents acteurs institutionnels, privés et associatifs à tous les niveaux pour pouvoir efficacement protéger l'environnement.

Les problèmes environnementaux dans la zone d'étude ont des impacts négatifs directs sur l'activité et l'efficacité économiques, sur la santé et la qualité de vie de la population, sur la productivité et la durabilité du patrimoine naturel. La question des ressources en eau est une préoccupation de premier plan. En raison de la sécheresse, les ressources en eau sont limitées. Les ressources potentielles liées au volume annuel des pluies que reçoivent les bassins versants ne sont en outre que partiellement mobilisable. La gestion défailante de ces ressources aggrave la situation, la pollution par les rejets des eaux usées, la dégradation des eaux des barrages.

Le littoral est incontestablement une zone stratégique pour l'avenir et le développement futur de la zone d'étude. Le développement des zones côtières n'a pas été inscrit dans une politique d'aménagement du territoire sous-tendue par une logique de fonctionnement solidaire des espaces, ce qui s'est traduit par une accélération de la dégradation du littoral, la pollution des eaux marines. Les apports telluriques de polluants sont importants. Un volume important d'eaux usées non traités (eaux usées des populations urbaines, pôles industriels) qui arrivent dans les enceintes et les rades portuaires.

L'urbanisation accélérée, la croissance démographique, la densité de la population et les changements de modes de consommation ont engendré une dégradation constante du cadre de vie (pollutions des ressources en eaux, pollutions de l'air, déchets solides, etc.), exposant l'environnement de la zone d'étude à des risques de pollution permanente tout en portant atteinte à la salubrité et la santé publique.

Les eaux usées proviennent essentiellement des agglomérations situées dans les principaux bassins telliens (bassin Tafna, Mekerra et côtier Oranais) constituées une source importante de pollution portant préjudice non seulement au littoral, mais également aux ressources en eau (qui sont déjà rares). La dégradation des ressources en eau commencée à atteindre des proportions inquiétantes.

La combustion des déchets ménagers est également un élément significatif de la pollution d'origine urbaine. Les CET réalisés actuellement posent de sérieux problèmes de pollution des eaux et des nuisances à l'homme. Ce type de pollution locale est un problème qu'il convient de traiter dans le cadre d'une politique globale des déchets ménagers. La croissance démographique et le développement urbain ont provoqué la prolifération des décharges, déchet dont sa gestion n'est pas encore bien maîtrisée. La gestion non-rationnelle et insuffisante des déchets solides se traduit par la pollution des nappes phréatiques, l'apparition d'émanations gazeuses, la prolifération de moustiques et de rongeurs, des impacts sur la santé publique due aux incinérations des déchets dans les décharges, des pertes économiques (matériaux non recyclés, absence de compostage, perte de terrains, etc.) et des pertes esthétiques (dégradation des paysages).

Les chapitres précédents démontrent l'étendue et la gravité des problèmes environnementaux affectent la santé et la qualité de vie de la population, la productivité et la durabilité du capital naturel de même que l'efficacité de l'utilisation des ressources et la compétitivité de l'économie. La transition environnementale qui en découle se trouve clairement reliée à la transition socio-économique dans laquelle l'Algérie s'est engagé. Cela signifie qu'il ne s'agit pas simplement des propositions antipollution ou des mesures préventives, mais d'une stratégie réfléchie, objet du présent chapitre, doit non seulement viser des objectifs de qualité sous-tendus par une vision du futur, mais également proposer un train de mesures à court et à moyen terme. C'est dans cette optique qu'il apparaît illusoire d'envisager, à court terme, la mise en place des plans d'aménagement permettant de résoudre la problématique abordée dans cette étude, ses plans d'aménagement englobent les cartes de vulnérabilité de la nappe à la pollution afin de protéger les eaux souterraines, les plans de protection des eaux de surface et une meilleure gestion des déchets solides et aménagement des décharge et des CET, une méthode appréciable pour une sélection des sites aptes à recevoir les déchets solides urbains à l'aide des outils SIG et télédétection.

I. L'Algérie a décidé d'investir dans le développement durable : un plan d'action pour l'environnement

L'Algérie, à l'instar d'autres pays du monde, aujourd'hui est confrontée à une crise écologique majeure qui menace, à la fois, la santé, la pérennité des écosystèmes fragiles, le développement durable du pays et surtout la capacité des générations futures à disposer de ressources nécessaires à la satisfaction de leurs besoins

Ayant progressivement pris conscience de la nécessité d'intégrer la dimension environnementale à la démarche de planification du développement et d'utilisation durable des ressources naturelles, pour se placer dans une logique de développement durable (DD), l'Algérie a développé une stratégie nationale de l'environnement.

Le développement durable est une nécessité pour tout programme d'aménagement et préservation de l'environnement. Cet environnement est, en effet, apparu à partir des années 1970 comme un patrimoine essentiel à transmettre aux générations futures. Au sommet de la terre, à Rio de Janeiro en 1992. L'Algérie a décidé d'investir dans le développement durable. Ceci constitue le principe fondamental de la stratégie de l'environnement et du plan national d'action pour l'environnement et le développement durable (PNAE-DD) et signifie que l'Algérie entend donner une place prépondérante aux aspects sociaux et écologiques dans ses choix de développement économique.

Pour donner un contenu tangible et appliquer le principe du développement durable, la préservation de notre environnement nécessite de mettre en évidence quatre objectifs stratégiques de qualité : l'amélioration de la santé et de la qualité de vie ; la conservation et l'amélioration de la productivité du capital naturel ; la réduction des pertes économiques et l'amélioration de la compétitivité ; enfin, la protection de l'environnement global. La réalisation de ces objectifs repose sur la mise en œuvre des mesures institutionnelles et des plans d'aménagement prioritaires d'aide à la décision.

Préserver l'environnement avec les principes de développement durable, c'est une stratégie qui consiste, d'une part, à s'attaquer aux causes fondamentales de nature institutionnelle (voir objectifs stratégiques liés à la qualité du capital naturel) et, d'autre part, à engager des actions vigoureuses et soutenues de sensibilisation des populations et de protection du patrimoine biologique national. Cette préservation repose sur le renforcement de dispositif législatif et réglementaire, le renforcement des capacités institutionnelles, le renforcement des capacités de mesure, de surveillance et de suivi des pollutions, le renforcement des capacités techniques et institutionnelles devra être complété par le renforcement des ressources humaines au travers notamment de formation dans le domaine de l'environnement, formation dans le domaine de l'urbanisme et de la préservation du patrimoine.

Des investissements ciblant les problèmes les plus urgents viennent compléter les mesures institutionnelles, tels que l'eau potable et l'assainissement. Amélioration de la distribution et/ou de l'accès à l'eau potable ; amélioration du taux d'épuration des eaux usées et de leur réutilisation pour certaines activités ; réhabilitation des réseaux de distribution d'eau potable, réhabilitation des stations d'épuration et mise en service sur une base durable; protection des principaux réservoirs d'eau.

II. Une gestion efficace dans la cadre du PROGDEM : proposition des techniques modernes

La politique de gestion des déchets s'inscrit dans la Stratégie Nationale Environnementale (SNE), ainsi que dans le Plan National d'Actions Environnementales et du Développement Durable (PNAE-DD) qui s'est concrétisée par la promulgation de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, traitant des aspects inhérents à la prise en charge des déchets, et dont les principes sont :

- la prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source ;

- l'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets ;
- la valorisation des déchets par leur réemploi et leur recyclage ;
- le traitement écologiquement rationnel des déchets ;
- l'information et la sensibilisation des citoyens
- l'institution d'outils de gestion : Programme National de Gestion Intégrée des Déchets solides Ménagers (PROGDEM) et Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNAGDES).

La gestion des déchets urbains dans la zone d'étude est loin d'être efficace. Les collectivités locales éprouvent encore beaucoup de difficultés dans la collecte, le transport et le traitement de ces déchets, malgré les efforts déployés. Les études d'évaluation de la faisabilité environnementale des sites de décharges et des centres d'enfouissements techniques réalisées traduisent les importants risques environnementaux et sanitaires engendrés. Dans ce contexte, nous avons trouvé utile de penser à une gestion durable et efficace des déchets solides.

L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation (ZEGELS, 2004). La nécessité de gestion durable des déchets est dictée par les impératifs sanitaires et environnementaux. L'objectif ultime de la gestion des déchets était de réduire le volume des matériaux destinés à la décharge finale pour minimiser les risques de pollution. Les stratégies de gestion doivent passer par l'application des principes simples qui permettent d'atteindre les objectifs spécifiques correspondants.

Il s'agit principalement des points suivants :

- le recours aux technologies de réduction la quantité ou la production de moins polluant.
- la mise en œuvre de filière de réutilisation, de recyclage et de compostage des déchets est l'aspect le plus important dans la gestion des déchets ;
- le rejet « éco-compatible » des déchets ;
- l'enfouissement ultime ;

Ses différents principes régissent aujourd'hui la gestion des déchets de manière générale dans plusieurs pays industrialisés et on a besoin de recourir à plusieurs stratégies en même temps pour résoudre le problème des déchets. Le but de toute gestion durable des déchets permet et aboutit à la préservation de la santé des populations et de l'environnement dans lequel elles vivent; il est nécessaire et recommander de minimiser la quantité de refus et de faire en sorte que les rejets soient inoffensifs pour le milieu naturel.

Il existe aujourd'hui plusieurs modes de traitement des déchets utilisés en fonction de ces enjeux sanitaires, environnementaux mais aussi économiques. Toutefois, le coût d'investissement dans certaines approches technologiques respectueuses de l'environnement reste un vrai problème dans notre zone. Mais malgré cette contrainte, la zone d'étude doit désormais répondre aux exigences des populations locales.

L'évolution des modes de vie et de fabrication des produits a induit une croissance rapide de génération des déchets et parallèlement le refus des populations de l'apparition de nouvelles approches dans la gestion intégrée des déchets (CHARNAY, 2005). Ces approches doivent mettre en avant deux objectifs fondamentaux qui sont :

- la *réduction des flux* par la valorisation
- la *protection de l'environnement*

1. Plan de gestion des déchets : application des méthodes de traitement durable

Les déchets solides proviennent de tous types d'activités humaines. À ce stade, il convient de rappeler que le coût des mesures de restauration de l'environnement, étant souvent, très supérieur aux profits économiques réalisés, il faut aux tous premiers stades de développement d'une ville, faire le nécessaire pour assurer une bonne gestion des déchets. En effet, il est beaucoup plus coûteux de débarrasser les rues et les parcs des immondices et des papiers plastiques, que de mettre préventivement en place les installations et règlements nécessaires à leur dépôt et à leur ramassage. La collecte et l'élimination correctes des déchets urbains sont donc une nécessité et une obligation pour chacun de nous.

La meilleure gestion des déchets passe par le suivie correcte de collecte et d'élimination des déchets. Au premier plan, il est nécessaire d'organiser un système de collecte qui oblige un personnel permanent, une bonne formation, une valorisation financière du poste, un contrôle à posteriori, un travail d'équipe, une bonne organisation du service d'exploitation et du service de maintenance des véhicules, un découpage de la ville en secteur pour une meilleure exploitation et de contrôle véhicules, un bon emplacement des dépôts de transit pour minimiser les coûts de collecte. Une bonne organisation opérationnelle (caractéristiques du matériel, vitesse de collecte, horaire de collecte et de balayage, désignation des circuits de collecte pour tous les moyens de collecte, une bonne connaissance des quantités et qualités des déchets). En deuxième plan, il est nécessaire de donner une valeur économique aux déchets, il consiste à considérer les déchets comme une ressource à exploiter et non comme des rebuts dont il faut se débarrasser.

Les méthodes pour produire de nouvelles ressources à partir de déchets sont diverses et nombreuses, par exemple on peut extraire les matières premières des déchets puis les recycler, ou les brûler pour produire de l'électricité. Ces méthodes sont en plein développement, grâce notamment aux apports des nouvelles techniques. Ce processus de valorisation des déchets s'appelle valorisation matière, ou recyclage, si on récupère des matériaux réutilisables, et valorisation énergétique si on obtient à la place de l'énergie.

Dans la zone d'étude, la meilleure procédure de réduire la quantité des déchets consiste à traiter les déchets comme des matières premières, en particulier que l'espace réservé pour ouvrir de nouvelles décharges ait raréfié. L'opinion publique évolue sérieusement vers la position estimant que, sur le long terme, on ne peut pas se contenter de se débarrasser des déchets alors que les matières premières ne sont disponibles qu'en quantités limitées. Les méthodes de la valorisation qui peuvent être appliquées sont très variées dont on peut citer le compostage, la méthanisation, le recyclage et enfin l'enfouissement.

1.1. Technique de compostage : solution économique en domaine de l'agriculture non maîtrisée dans la zone d'étude

Le compostage est un procédé ancestral de fabrication d'amendement organique. Le terme de compostage est familier à tout un chacun et évoque pour la plupart, un produit organique plus ou moins dégradé provenant d'un tas de déchets organiques au fond du jardin. Bien que ce procédé se réalise de lui-même dans la nature, le compost ainsi obtenu présente des caractéristiques et des propriétés différentes en fonction de la nature du substrat et du déroulement de la fermentation. Ces transformations s'accompagnent de modifications physico-chimiques et microbiologiques, qu'il est nécessaire d'identifier afin de mieux les appréhender pour obtenir un compost de qualité. Cette notion de qualité doit être clairement définie afin que les producteurs et les utilisateurs soient capables de juger la valeur du produit.

Le processus de compostage se réalise en plusieurs phases dont la première est la fermentation, c'est une dégradation rapide de la matière organique fraîche et facilement biodégradable en molécules moins complexes comme les sucres ou les polymères. La seconde phase, la maturation, plus lente, correspond à la mise en jeu des processus d'humification (CHARNAY, 2005). Le compostage est donc une technique très ancienne visant à valoriser les déchets organiques pour les réutiliser sous forme d'humus. Cette valorisation permet de boucler les cycles naturels et d'améliorer la productivité du sol. L'épandage d'un amendement organique laisse espérer des effets positifs sur le sol.

Le processus de compostage correspond à une fermentation aérobie, faisant intervenir une multitude de micro-organismes. Ces derniers varient d'une part au cours des phases du procédé et d'autre part en fonction de la nature du substrat (CHARNAY, 2005). Le compost est essentiellement utilisé comme amendement organique pour améliorer la qualité des sols et les rendements de production des cultures. Il doit correspondre à des standards de qualité répondant eux-mêmes aux exigences des consommateurs et du marché. La qualité du compost est conditionnée par la nature des produits initiaux et le suivi des paramètres physico-chimiques. Elle est en fonction du degré de stabilisation de la matière organique, la teneur en métaux lourds, son aptitude à améliorer la fertilité du sol.

La préparation d'un compost passe par plusieurs étapes telles que :

- la préparation du substrat comme le tri (la séparation des déchets) ;
- le broyage offrir aux micro-organismes un champ d'action aussi large que possible et de réduire le volume des matières de base ;
- la fermentation ;
- la maturation ;
- la mise en forme du produit pour la commercialisation.

1.2. Technique de méthanisation des déchets solides : peut couvrir un besoin de 10 % d'électricité de la zone d'étude

La méthanisation traite la fraction organique des déchets solides urbains et les papiers cartons. C'est une fermentation en anaérobiose qui dégrade les déchets et produit du biogaz. Ce dernier, trouve son utilisation dans les différents secteurs qui avaient recours aux énergies fossiles pour la production de chaleur, de combustible et d'électricité.

L'Algérie est reconnue, en 1938, comme le premier pays qui a lancé la maîtrise de la technique de méthanisation à travers les travaux de DUCÉLIER et ISMAN menés à l'Institut National Agronomique en 1938. Quoique cette technique de traitement et de valorisation énergétique offre d'importants avantages, très peu d'études et de réalisations ont été recensées depuis. Actuellement, la méthanisation est très utilisée pour le traitement des déchets par le monde. Le recours à cette technique serait approprié pour solutionner la problématique des déchets en Algérie. Dans cette optique, nous avons proposé la méthanisation des déchets solides dans la zone d'étude qui présente un taux élevé de matière fermentescible. Celui-ci est évalué à 81.7 % avec une composition de 74.3 % de matières organiques et 7.4 % de papier cartons (IGOUD et al., 2007). Ainsi, la méthanisation des déchets générés de 3 700 tonnes nous permet de prévoir la production de 120 millions de m³ de biogaz. Ce volume représente la production d'une énergie électrique d'environ 240 GWh qui couvrirait les besoins en électricité de 10 % de la population de la zone d'étude

L'unité de méthanisation comprend une grande cuve surmontée d'un couvercle, dans laquelle on place les déchets à traiter. Ces cuves sont appelées réacteurs, fermenteurs ou digesteurs. Une température de 35°C est nécessaire pour que les bactéries soient bien à leur aise. La fermentation anaérobie produit très peu de chaleur, il faut donc souvent chauffer les réacteurs. Pour cela, on utilise une partie du biogaz produit.

La méthanisation, dans les réacteurs les plus récents, dure quelques jours et produit du biogaz à hauteur de 1 à 10 m³/j/m³ de réacteur. La taille des unités de production de biogaz peut être très variable, d'un petit digesteur agricole dans une ferme (environ 100 m³) jusqu'à le méga central de 20 Mw. La composition du biogaz de méthanisation est la suivante :

- 55 à 70 % de méthane CH₄ ;
- 30 à 45 % de dioxyde de carbone CO₂ ;
- de petites quantités d'ammoniac NH₃ et de sulfure d'hydrogène H₂S ;
- les résidus solides de la méthanisation qu'on appelle le digestat, ceci peut être séché et utilisé comme engrais (BERNET, 2006).

L'autre voie principale de production de biogaz est la récupération du gaz des décharges et des CET, qui dégagent spontanément du méthane sur de longues périodes de temps. La récupération du méthane issu des CET est capitale pour éviter sa dispersion dans l'atmosphère, notamment que c'est un gaz à effet de serre. Dans les cas où il n'est pas encore valorisé, le gaz des décharges est d'ailleurs brûlé à la torchère, le CO₂ ainsi produit ayant un effet moins néfaste. Avant d'utiliser le

biogaz, il doit être débarrassé de toutes ses traces de sulfure d'hydrogène, car ce dernier est un puissant corrosif des métaux, il est toxique, et brûle en dégageant de dioxyde de soufre SO₂.

Le biogaz peut être brûlé pour produire de la chaleur, de l'électricité ou les deux en cogénération (170 kWh électriques + 340 kWh thermiques par tonne de déchets méthaniers). Après avoir été débarrassé de toutes ses impuretés (dont le CO₂), il peut aussi être injecté dans le réseau de gaz de ville, ou encore servir de carburant par les véhicules GNV (gaz naturel véhicule), qui fonctionnent au méthane comprimé (MOLETTA, 1993).

1.3. Technique de recyclage : Oran exemple à suivre dans l'application du tri sélectif des déchets solides

Au cours des années passées, le volume des déchets produits par habitant dans la zone d'étude n'a cessé d'augmenter, ce qui représente un réel et un sérieux problème et reste une menace pour l'environnement, notamment que la seule solution dont nous disposons, depuis plus d'une vingtaine d'années, était de détruire ces déchets en les brûlant, ou de s'en débarrasser en les enterrant.

Une autre méthode d'élimination des déchets est nécessaire, au lieu d'éliminer systématiquement la totalité des déchets, il est utile d'en valoriser une bonne partie, c'est-à-dire de les transformer pour les réutiliser dans différents domaines. Le recyclage est un procédé de traitement des déchets provient des industries et des déchets urbains. Nous avons trouvé utile d'encourager les services publics pour l'augmentation et l'enrichissement des procédures de recyclage des déchets. C'est une méthode qui s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets et qui permet de :

- *réduire*, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets ;
- *réutiliser*, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage ;
- *recycler*, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage (ZEGELSM, 2004).

Le recyclage des déchets présente un double avantage, il permet d'abord d'économiser de la matière première et donc de préserver les ressources naturelles, il permet également de réduire le volume et le poids de nos poubelles et donc de limiter les risques de pollution de l'air et des sols. Oran est la ville pilote dans le domaine de Tri sélectif, près de 100 tonnes de déchets secs recyclables en 2016 ont été collectés à Oran dans le cadre de l'opération pilote de tri sélectif lancée en avril 2015, après la signature de la convention avec la R20-MED, organisation non-gouvernementale R20 Regions for Climate Action, fondée en 2010 par l'acteur et ex-gouverneur de Californie, ARNOLD SCHWARZENEGGER, qui a ouvert son bureau méditerranéen à Oran en juin 2013 suite à la convention signé en juin 2013 entre ARNOLD SCHWARZENEGGER et le ministre de l'aménagement du territoire, de l'environnement et de la ville. Cette opération a été démarrée dans trois quartiers, Akid Lotfi, cité Hasnaoui et AADL Pépinière, des bacs de tri sélectif (gris à couvercle jaune) sont installés pour faciliter la collecte des déchets solides secs recyclables (plastique, carton, papier, verre, métal et aluminium), d'autres bacs de couleurs différentes (vertes) sont également installés pour renforcer le dispositif de collecte des déchets organiques et non

recyclables. Ce système de tri permettra de valoriser chaque type de déchets dont ceux organiques qui peuvent se transformer en engrais au profit du secteur de l'agriculture, cette opération contribuera à la création de nouvelles opportunités de travail et d'investissement dans le cadre du développement de l'économie verte.

La récupération des déchets, à Oran, est une importante opportunité à saisir. Les investisseurs peuvent y trouver un intérêt et l'état gagnerait à faciliter la filière environnementale, à fort potentiel de création d'emplois. À Oran, il existe 60 micro-entreprises qui opèrent dans la récupération des déchets et qui valorisent, à peine 40% des déchets, selon la direction de l'environnement en 2017. Selon la même source, l'activité n'est pas nouvelle à Oran, elle se pratique, depuis des années, dans l'informel et près de 20% des déchets sont récupérés et recyclés, par le secteur informel. En plus de la création de postes d'emplois, l'opération de gestion, de recyclage et de valorisation des déchets permet de générer de la valeur ajoutée. « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » et de plus en plus d'entreprises se lancent, désormais, dans la filière du recyclage des déchets ménagers à Oran.

Les autorités misent beaucoup sur le développement d'une industrie de récupération et de recyclage, elle est au cœur même du programme national de gestion des déchets municipaux (PROGDEM), qui constitue le principal cadre de référence, en matière de gestion et de valorisation des déchets ménagers. Depuis les années 1970, le recyclage est source d'énergie et une activité incontournable de l'économie de beaucoup de pays. En plus de l'indéniable intérêt, pour l'avenir écologique des générations futures, le recyclage a une incidence, particulièrement, positive sur l'économie. Certaines viennent, en effet, de se lancer dans des programmes de récupération de verre, de plastique, les déchets ferreux et non-ferreux et même de papier. À travers des bonifications et des avantages, plusieurs entreprises se sont investies dans la récupération des déchets en carton et en papier. En effet, près de 5 000 tonnes de déchets de papiers ont été exportées par des entreprises privées spécialisées dans la collecte de ces déchets, durant le premier semestre de l'année 2016. Cette quantité a été exportée via le port d'Oran vers l'Espagne, l'Arabie Saoudite et les Emirats arabes unis. Cette activité stimulante participe, d'une part, dans la préservation de l'environnement, et contribue, d'autre part, à combler le déficit de production du papier, voire à dégager un plus pour l'exportation.

Suite aux avantages des recyclages, nous recommandant d'appliquer la méthode testée au niveau des trois quartiers d'Oran sur toute la wilaya d'Oran et les autres wilayas de la zone d'étude. Nous proposons, dans le cadre de la mise en place des plans d'aménagement, des méthodes modernes de recyclage. Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage, chimique, mécanique et organique.

- le recyclage dit chimique utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants ;
- le recyclage dit mécanique est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer ;

- le recyclage dit organique consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz (SIDI OULD ALOUEIMINE, 2006).

Les méthodes de recyclage passent ainsi par 3 étapes qui sont :

Étape 1 : collecte de déchets.

Étape 2 : transformation.

Étape 3 : commercialisation et consommation (HARDOUIN, 2001).

L'optimisation de la gestion technique des déchets est une des actions prioritaires dans les efforts nécessaires pour le développement de ce secteur. Cependant, étant donné la multiplicité des responsables (collectivités locales pour les déchets ménagers et producteurs pour les déchets industriels et médicaux) et l'absence des critères techniques de gestion. Ce secteur a été considéré très souvent comme non-prioritaire, et s'est concentré essentiellement sur l'élimination des déchets qui se trouvent sur la voie publique (collecte et transport).

La maîtrise effective de la production, du recyclage, du transport, du stockage, du traitement, de la réutilisation et de l'élimination des déchets est essentielle pour le développement de ce secteur, et pourrait être assurée directement par les différents responsables, ou à travers une concession à un professionnel spécialisé. Afin d'assurer cette tâche correctement par les différents responsables, et de répondre aux exigences qui figurent dans le projet de loi n° 01 - 19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, les mesures ci-après doivent être prises :

- élaboration des normes de gestion des déchets ;
- élaboration de plans communaux des déchets ménagers et assimilés, médicaux, industriels non-dangereux et inertes ;
- élaboration de schémas directeurs d'assainissement solide : ces schémas permettront d'identifier en détail les modalités d'une gestion adéquate des déchets ménagers pour les collectivités locales qui assurent-elles même cette tâche.

1.4. Proposition de nouvelle gestion des décharges et des centres d'enfouissements techniques pour une meilleure exploitation

1.4.1. Cas de l'aménagement du site de la décharge d'El Kerma pour la conservation de la sebkha d'Oran

Pendant très longtemps, le moyen le plus simple et le plus économique d'élimination des déchets est la mise en décharge sauvage ou non contrôlée. Ces décharges n'étaient pas suivies ni surveillées et ne disposaient pas d'infrastructures garantissant la maîtrise des émissions liquides (lixiviats) et gazeuses (biogaz) tel que le cas de l'ancienne décharge publique d'El Kerma.

Après l'exploitation du centre d'enfouissement technique de Hassi Amar, la décharge publique d'El Kerma est exploitée d'une façon anarchique. Dans ce contexte, après la fermeture de cette décharge, il est nécessaire d'établir certaines mesures de prévention et de réhabilitation du site afin d'éviter son utilisation illicite. Il est nécessaire d'arrêter définitivement l'apport de déchets dans le

site et appliquer des mesures de réduction des impacts de la décharge à long terme. Ces mesures comprennent trois types d'actions :

- travaux d'aménagement visant à réduire les impacts ;
- programme de suivi à long terme permettant de contrôler l'efficacité des travaux d'aménagement et leur pérennité dans le temps ;
- établissement de servitudes concernant l'usage futur du site pour s'affranchir de tout nouveau risque ou impact.

L'ensemble de ces propositions fera l'objet d'une synthèse technico-économique mettant en relation les ordres de réduction des impacts causés par les déchets. Les actions à entreprendre sont basées sur l'étude confectionnée par le bureau d'étude tunisien (BET) présentée en 2013:

- **Réduction d'impact attendu** : cette mesure alliée à la fermeture du site (arrêt d'acceptation des déchets) permettra de réduire fortement les impacts liés aux émissions de fumées (impacts sanitaires et visuels, odeurs, gênes pour les transports).
- **Clôture des accès** : cette mesure peut être appliquée à deux stades :
 - mise en place de clôture complémentaire au droit des accès existants et potentiels et aux niveaux des voiries longeant le site. Cette mesure permettra de garantir l'arrêt total de dépôts de déchets sur le site ;
 - mise en place d'une clôture périphérique complète du site. Cette mesure permettra d'interdire l'accès à la majorité des animaux terrestres en plus des personnes.
- **Reprise du talus de la sebkha** : la mesure proposée pour limiter ce risque est de retailler les talus avec une pente plus douce de 3/2 (horizontal/vertical) par exemple. L'impact lié au glissement du talus périphérique (du côté de la grande sebkha) présente peu de conséquences en l'état actuel. Cependant, si des aménagements périphériques sont réalisés (comme la mise en place d'une couverture ou de dispositifs d'isolement vis à vis d'une remontée des eaux de la grande sebkha) un glissement de talus pourra ponctuellement remettre en cause les objectifs des dits aménagements. La mise en œuvre de cette mesure permettra donc de mieux garantir la pérennité des aménagements spécifiques réalisés.
- **Nivellement et couverture** : compte tenu de la hauteur de déchets relativement uniforme et pour ne pas augmenter l'impact visuel, l'option de regrouper les déchets sur une surface plus petite et une hauteur plus importante est retenue.

Cette mesure consiste à:

- niveler les surfaces de déchets en créant un dôme central ;
- les recouvrir d'une couche de matériaux semi-perméables ;
- puis d'une couche de terre afin de favoriser la colonisation de cette couverture par la végétation.

Le premier rôle de cette couverture est de ne plus laisser de déchets à l'air libre. En complément à cette couverture masquant les déchets, il conviendra également de nettoyer les abords et bas côtés de la piste d'accès.

D'autre part, la création d'un dôme avec des pertes minimales permettra d'éviter la stagnation des eaux pluviales en surface et de favoriser le ruissellement et donc de diminuer l'infiltration dans les déchets.

Pour les terrassements dans les déchets, la mise en place de ces derniers devra être effectuée à l'aide d'un compacteur au moyen de trois ou quatre passés croisés.

La colonisation par la végétation favorisera l'évapotranspiration et diminuera donc l'infiltration dans les déchets. La mise en place d'une couverture semi-perméable permettra également de limiter l'infiltration sans empêcher totalement l'infiltration d'eau. En effet, la dégradation des déchets nécessite un peu d'eau et l'absence d'eau prolongerait la dégradation des déchets dans le temps et la durée de la production de biogaz.

Le recouvrement des déchets permet de limiter drastiquement les nuisances suivantes :

- envols de déchets légers ou de poussières de déchets ;
 - émanations d'odeurs éventuelles issues des déchets frais et associés au biogaz ;
 - risques sanitaires en empêchant le contact direct avec les déchets d'activités de soin;
 - impact visuel du site notamment à partir d'avions ;
 - prolifération d'animaux en supprimant l'accès à cette nourriture facile que constituent les déchets ;
 - impact écologique local en recréant un écosystème naturel (dôme végétalisé).
- **Gestion des eaux pluviale** : parallèlement à la mise en place d'une couverture favorisant le ruissellement, un réseau de collecte des eaux de pluie devra être mis en place afin de faciliter rapidement leur évacuation vers la grande sebkha. Ce réseau de fossés comportera deux parties indépendantes :
- la première partie permettra de détourner les eaux extérieures au site vers la sebkha en contournant le massif de déchets ;
 - la seconde partie permettra de collecter les eaux de ruissellement du site ruisselant sur la couverture finale.

L'ensemble de ces réseaux sera réalisé dans les matériaux du site et présentera une pente minimale de 1%. Le but de ce réseau est d'éviter toute stagnation des eaux et constitue un complément à la couverture. En effet, il paraîtrait illogique à mettre en œuvre une couverture favorisant le ruissellement sans prévoir la collecte et le rejet final de ces eaux.

- **Programme de suivi à long terme, surveillance des tassements en surface** : par contrôle visuel mensuel et topographique semestriel durant les deux premières années. Par la suite, les contrôles topographiques annuels pourront être menés (ou plus espacé si on constate que les tassements tendent à s'arrêter).

En cas de constatation de tassements et de création du point bas des matériaux devront être rapportés pour rétablir des pentes régulières vers l'extérieur.

- **Surveillance des incidences de la décharge** sur la nappe par la création de piézomètres de contrôle à proximité immédiate de la décharge. On peut proposer la création de cinq ou six piézomètres répartis autour du site et si possibles la moitié à l'amont hydraulique sur la bordure Sud-est et l'autre moitié à l'aval sur la bordure Nord-ouest, en pied du talus de déchets donnant sur la sebkha. Les analyses chimiques (PH, DBO5, DCO, éléments majeurs, métaux lourds, hydrocarbures totaux...) pourraient être réalisées suivant une fréquence mensuelle au départ pour constater l'évolution de la situation après le réaménagement du site puis suivant une fréquence annuelle dès que la situation se sera stabilisée.

En complément, des analyses indicatives de conductivité et PH pourront être menées à l'aide du matériel portatif léger et des paramètres caractéristiques à l'aide du papier de dosage colorimétrique.

- **Surveillance des émissions gazeuses** par des mesures de méthane, oxygène, dioxyde de carbone, azote et hydrogène sulfuré réalisé au moyen d'un appareil d'analyse portable de terrain. Ces mesures pourraient être réalisées suivant une fréquence mensuelle au départ pour constater l'évolution de la situation après le réaménagement du site puis suivant une fréquence annuelle dès que la situation se sera stabilisée.

Elles pourraient être réalisées sur une vingtaine de points répartis sur l'ensemble du site. En outre, des analyses complémentaires devront être réalisées en cas de plaintes de riverains ou d'odeur manifeste. En cas de constatation d'un impact notable la faisabilité de la mise en place d'un système de dégazage actif avec un traitement par une torchère pourra être étudiée (bureau d'études ENCO engineering consultant Italie El Binaa, 2003).

1.4.2. Cas de l'aménagement des CET : exemple d'épuration des lixiviats et traitement des biogaz du CET de Hassi Bounif

Les centres d'enfouissement techniques de la zone d'étude sont dépourvus de station de traitement des lixiviats et même ils ne possèdent pas des équipements de traitement des biogaz, ces CET rejettent leurs lixiviats dans les oueds et leurs biogazs présentent une vraie nuisance pour les populations notamment avec la proximité des CET aux agglomérations. Il est nécessaire de récolter les lixiviats afin de pouvoir les contrôler pour respecter les valeurs de rejets réglementaires notamment en matière de pH, carbone organique total, demande chimique en oxygène, ammonium, phosphore et métaux, et de les traiter pour pouvoir les rejeter sans risque dans le milieu naturel.

Ces lixiviats au niveau des CET de la zone d'étude sont recueillies par un système de captage, mais ne peuvent être rejetés dans l'environnement que s'ils respectent les valeurs-limites. Dans ce cas, nous recommandons la réalisation des stations de traitement efficace des lixiviats par des méthodes biologiques. Les procédés de traitement sont :

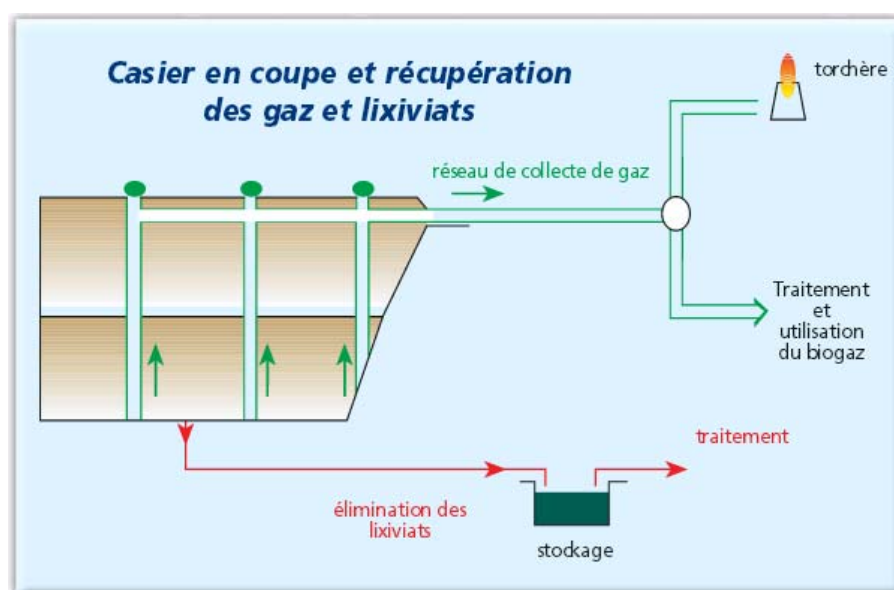
- Une lagune où sont collectés les lixiviats à traiter. Sur les sites des CET trois lagunes récoltent les lixiviats.
- Dans ces trois bassins de récoltes, une unité de traitement de type réacteur biologique devra être installée, constituant la phase biologique, elle permet de dégrader les pollutions organiques et azotées et de piéger certains éléments minéraux (les substances métalliques en particulier) par nitrification via les bactéries aérobies puis dénitrification via les bactéries dénitrifiantes. L'expérience dans de nombreuses stations de traitement des lixiviats montre que le traitement biologique est très efficace sur la DCO et l'azote. Le traitement biologique de l'ammoniac et surtout de l'azote global permet des rendements supérieurs à 99% grâce aux étapes de nitrification et dénitrification qui transforment l'azote ammoniacal en azote gazeux. Les procédés biologiques ne sont adaptés que pour le traitement des lixiviats qui ont une biodégradabilité élevée comme le cas des CET de classe II qui réceptionnent seulement les déchets domestiques. Par ailleurs, le traitement biologique a pour intérêt également la dégradation des odeurs.
- Ensuite, un traitement carboné par un filtrage mécanique via du charbon actif et des filtres en céramique est nécessaire : c'est l'unité d'ultrafiltration en sortie de biologie qui permet de séparer l'eau traitée et les boues, et le traitement de finition par absorption sur charbon actif qui permet de piéger la pollution résiduelle.
- Une surveillance et un contrôle quotidien des lixiviats traités avant le rejet, afin de voir le rendement des stations et pour évaluer les nuisances des lixiviats sur le milieu récepteur.

Le CET de Hassi Bounif dans la wilaya d'Oran est un bon exemple de traitement de lixiviats, avec la réalisation de la nouvelle station de traitement par la technologie de l'osmose inverse opérationnelle depuis le 20 juin 2017 (direction de l'environnement d'Oran). L'osmose inverse est un procédé de filtration qui consiste à passer les « lixiviats » dans une machine pour les débarrasser de l'humidité. Ces affluents étant composés à 70 % d'eau, leur traitement permet de réduire leurs quantités de manière significative. Il en résulte des boues, nommées « concentras », fortement chargées en toxines, c'est une « technologie efficace », qui a fait ses preuves dans d'autres pays. Cette station traite un volume de 80 m³ de lixiviat par jour, c'est une technologie « fragile et coûteuse » qui génère des concentras dans les moyens de traitement, aucune solution n'existe en outre pour le traitement de ces concentras, actuellement, ces derniers sont remis dans les casiers du CET.

Les CET de la zone d'étude sont des installations modernes et sécurisées, mais malheureusement sont dépourvues des stations de traitement des biogaz. Notant que ce traitement est très nécessaire afin d'éviter les nuisances sanitaires sur les populations riveraines. Les déchets dans les CET sont déversés dans un casier étanche puis compactés à l'aide d'un engin spécialisé, de manière à réduire leur volume et pour minimiser les odeurs. Le casier réhabilité devra être équipé d'un réseau de récupération du biogaz, issu de la fermentation naturelle (ou méthanisation) de matières organiques animales ou végétales, lorsqu'elles sont privées d'oxygène. Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane (50%) et de gaz carbonique, avec des quantités variables

d'eau et d'hydrogène sulfuré, c'est une source d'énergie renouvelable qui peut être captée et valorisée sous forme d'électricité, de chaleur pour des réseaux de chauffage urbain ou encore de biocarburant. Une torchère sera installée aux CET de la zone d'étude. Elle permet de brûler 160 à 180 m³ de biogaz toutes les heures. Cette combustion supprime les odeurs dues à la présence de soufre. La captation du biogaz dans les sites d'enfouissement des déchets requiert un système de collecte et de prétraitement performant. Celui-ci est généralement constitué d'un réseau nécessaire à la récupération et à la valorisation du méthane, ainsi que d'une unité de production d'électricité, composée de générateurs par turbine à gaz dont les capacités diffèrent selon le dimensionnement du site.

Figure 57. Méthode de traitement des lixiviats et des biogaz dans les CET



Source : Le guide des énergies renouvelables en Midi-Pyrénées, A.R.P.E., 1998

1.5. Bonne application de la législation Algérienne : une solution efficace pour remédier contre les problèmes de déchets solides

Le problème de la gestion des déchets ménagers en Algérie se pose encore avec acuité. Les pouvoirs publics, conscients que cette activité recèle de nombreuses opportunités socio-économiques, ont montré leur volonté de doter le pays d'un système de gestion sain et performant. Ainsi, pour améliorer la gestion des déchets ménagers, le ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du territoire a initié un programme national de gestion des déchets solides municipaux (PROGDEM). Ce programme national, selon ses initiateurs, vise à éradiquer les pratiques de décharges sauvages, à organiser la collecte, le transport et l'élimination des déchets solides municipaux dans des conditions garantissant la protection de l'environnement et la préservation de l'hygiène du milieu par, notamment, la réalisation, l'aménagement et l'équipement de centres d'enfouissement technique (CET) dans l'ensemble des wilayas. Le PROGDEM s'est-il fixé pour objectifs la préservation de l'hygiène publique et la propreté des agglomérations ainsi que l'amélioration du cadre de vie du citoyen et la protection de sa santé.

Il s'agit, en outre, de l'élimination saine et écologiquement rationnelle des déchets, la valorisation des déchets recyclables. Ce programme a mis l'accent sur la nécessité de mettre en place une planification intégrée de la gestion des déchets municipaux conformément aux dispositions de la loi 01-19 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, l'application du PROGDEM est une meilleure solution pour remédier les problèmes de gestion des déchets solides.

Il a été signalé que les communes auxquelles incombe la responsabilité de la gestion des ordures, sont tenues notamment d'élaborer et de mettre en œuvre les plans communaux de gestion des déchets municipaux comme instruments de planification et de gestion. À ce titre, elles doivent veiller au respect de la teneur des différentes études relatives aux plans de gestion des déchets municipaux (diagnostic des systèmes de gestion, faisabilités technico-économiques, de gestion et des potentialités de marchés de récupération et de valorisation des déchets, choix de sites, d'aménagement et d'équipement des centres d'enfouissement techniques...). Les communes doivent aussi améliorer continuellement les conditions de ramassage et d'évacuation des déchets en réglementant les conditions de présentation des déchets à la collecte, fixant les normes et conditions de ramassage et d'évacuation des déchets et en rationalisant les circuits de collecte.

Les responsables des communes sont également chargés d'établir un cahier des charges précisant les obligations auxquelles doivent être soumises les entreprises chargées du ramassage et de l'évacuation des déchets, de mettre à la disposition des usagers des récipients hermétiques et de mener des actions de sensibilisation incitant les usagers à respecter les conditions d'entreposage des déchets et les horaires de ramassage, sans omettre l'amélioration et la professionnalisation des capacités de gestion. Ces mesures consistent particulièrement à réorganiser l'administration communale chargée de la gestion des déchets, à renforcer les capacités de collecte et de transport des services de la commune en charge de la gestion des déchets et à ouvrir la gestion des déchets urbains à l'investissement privé et à la concession. Il s'agit aussi de mettre en œuvre un programme de formation et d'assistance technique destinée aux collectivités locales qui doivent être dotées d'équipements de collecte appropriés. Un autre volet porte sur l'information des citoyens pour qu'ils respectent les horaires de dépôt des déchets, déposent les déchets dans les récipients prévus à cet effet et évacuent les déchets inertes. Cependant, si ces volets sont mis en pratique, la problématique de la gestion des déchets en termes de collecte et d'élimination peut être résolue.

2. Application technique d'un choix favorable d'un site de décharge contrôlée : cas de la plaine de Sidi Bel Abbes

L'évaluation environnementale des sites de décharge et des centres d'enfouissements techniques, recevant les déchets produits par les grandes agglomérations de la région d'étude (Tlemcen, Ain Témouchent, Oran et Sidi Bel Abbes), établie par une analyse des données multi sources ainsi que l'application des normes d'implantation d'une décharge, a permis de décrire que ces sites présentent un danger réel de pollution de l'air de sol et des eaux à court et à long terme.

Devant cet état, il est devenu impératif de réfléchir à un mode de gestion des déchets qui pourrait satisfaire les communes concernées, d'où l'idée de proposer des nouveaux sites de décharges aptes à recevoir les déchets urbains et ne présentent aucun danger pour la santé de la population et

l'environnement. Un site favorable, apte à recevoir une gamme étendue de déchets, constitue l'élément fondamental pour une décharge contrôlée ou un centre d'enfouissement technique. Ce choix est évidemment en fonction des déchets concernés, mais doit également prendre en compte un certain nombre de paramètres concernant le site, dont il convient d'établir la liste et de préciser l'importance relative.

L'approche proposée s'appuie sur des expériences menées en Maroc et dans d'autres pays européens. Elle permet de sélectionner des sites favorables pour une décharge en se basant sur les plus importants critères de choix (éloignement par rapport aux agglomérations, éloignement par rapport aux réseaux hydrographiques, une occupation des sols favorable, un sol imperméable, une profondeur de la nappe élevée, une accessibilité aux réseaux routiers et enfin une pente faible). Lors de la sélection du site, une meilleure adéquation entre capacité, durée de vie, localisation et nuisances doit être objectivement recherchée.

La méthodologie suivie lors de la présélection des sites de décharge ou du CET permettra aux responsables administratifs et techniques concernés par la gestion des déchets de se mettre à l'avant les nuisances engendrées par une décharge sauvage ne répondant à aucun critère de protection de l'environnement. Ce choix est très complexe du point de vue technique et conflictuel du point de vue social, économique et politique. Il est confronté à la pluridisciplinarité et au devoir d'information. Les systèmes d'informations géographiques (SIG) et la télédétection (TLD) se proposent comme des outils bien adaptés à cette démarche et illustrant le mieux l'approche multidisciplinaire à la gestion des risques environnementaux et à la sélection des sites de stockage des déchets.

Nous avons proposé une zone pilote pour le choix d'un site de décharge, dans le cadre de cette recherche, nous avons pris comme zone la plaine de Sidi Bel Abbas.

2.1. Méthode de sélection d'un site de décharge : apport des SIG et la télédétection

La plaine de Sidi Bel Abbas présente la plus importante plaine dans la région Nord-ouest algérienne, vis-à-vis de son importance agricole et ces ressources en eaux, mais actuellement elle est confrontée à des problèmes de prolifération des décharges sauvages. Le CET de l'agglomération de Sidi Bel Abbas pose de sérieux problèmes de pollution de l'air par l'approche de ce dernier à l'agglomération de Sidi Bel Abbas ainsi que il conduit à la dégradation des terrains agricoles et des eaux souterraines.

Les ordures ménagères posent des problèmes graves dans la plaine de Sidi Bel Abbas, dans ce contexte, nous avons établi une démarche basée sur le SIG et la Télédétection comme outil d'aide à la décision dans le domaine de la gestion des déchets. Outil qui devrait permettre aux gestionnaires de gérer et d'analyser les informations nécessaires pour le choix des sites de décharge contrôlée, il contribuera à la limitation des décharges sauvages.

Le choix d'un site favorable pour l'implantation d'une décharge consiste à une compilation des données relatives à plusieurs disciplines, comme la géologie, l'hydrogéologie, l'hydrologie, la topographie et la géographie. Ainsi, plusieurs cartes et données ont été utilisées, cartes

topographiques à 1/50 000, carte hydrogéologique à 1/100 000, données hydrogéologiques, le modèle numérique de terrain ASTER et les images satellitales du capteur Landsat 8 prises en mars 2016.

La méthodologie que nous avons adoptée pour optimiser l'emplacement d'un site de décharge consiste à la réalisation des plans d'informations intégrées dans un Système d'Informations Géographiques (SIG). Par la suite, nous avons classé ces plans d'informations en classe favorable pour implanter une décharge et en classe défavorable pour être une décharge, basée sur le guide de présélection d'un site de décharge contrôlée.

2.2. Application de la méthode : critères d'une meilleure sélection

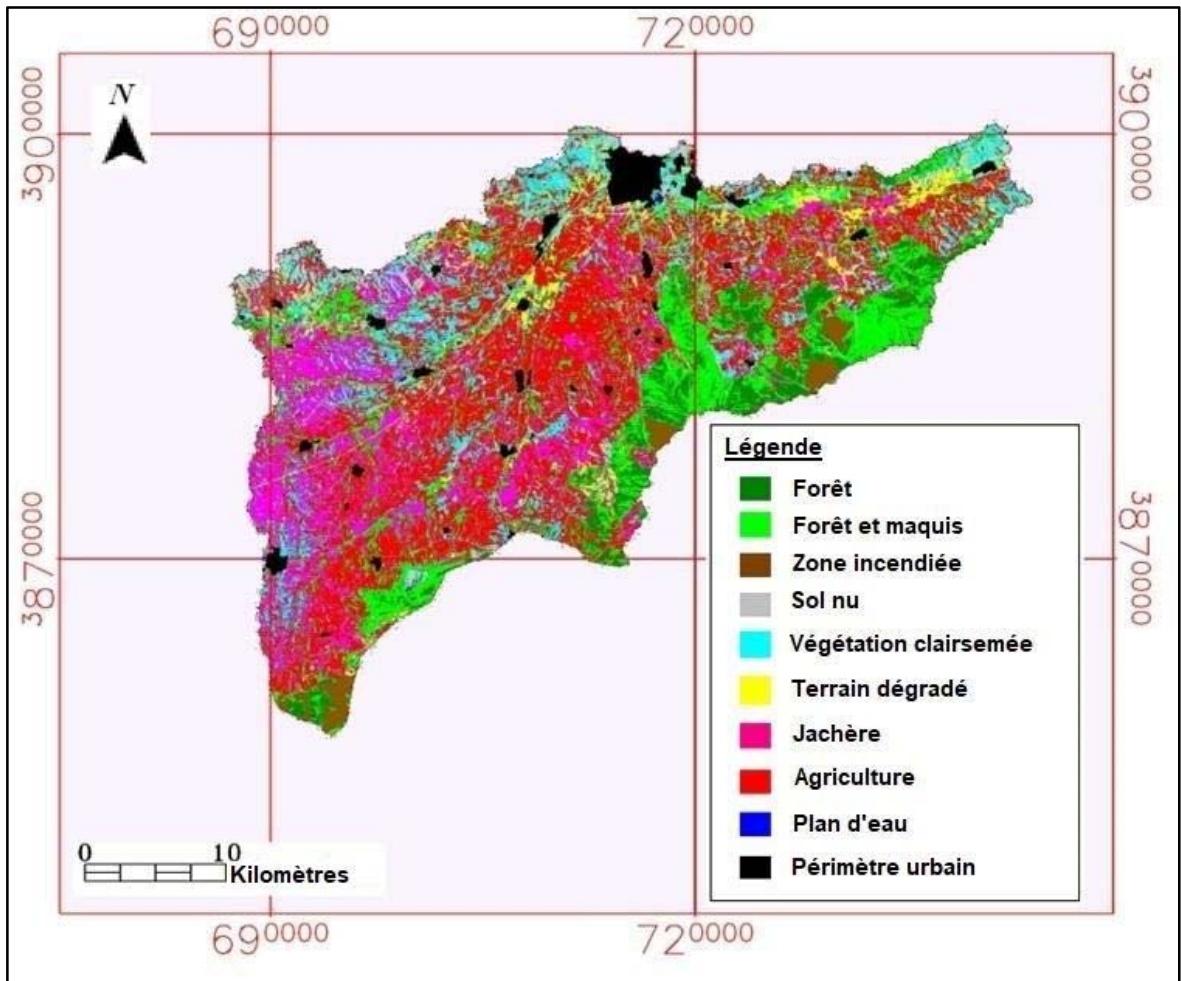
Le choix d'un site de décharge dans la plaine de Sidi Bel Abbes constitue une démarche importante dans l'aménagement du territoire. En effet, une gestion optimale des déchets ne doit pas inclure que des considérations relatives à l'aspect économique, elle doit intégrer également d'autres aspects environnementaux et sociaux. Ces aspects regroupent tous les critères d'implantation d'une décharge, qui ont été présentés sous forme des plans d'informations, dont leurs aspects touchant directement et indirectement la présente étude, favorise un constat considérable dans la classification et le dégagement des sites adéquats pour le stockage des déchets.

a. Aspect utilisation du sol et protection du couvert végétal

Dans le but de préserver et conserver la diversité végétale de la région ainsi que les richesses du milieu naturel, nous avons réalisé une carte d'occupation du sol de la plaine de Sidi Bel Abbes. La carte de l'occupation du sol est l'un des plus importants plans d'information dans le choix des sites favorables pour la décharge, car c'est un paramètre déterminant de l'utilisation et de la gestion du territoire. Elle est susceptible d'éclairer toute prise de décision, d'aménagement et d'élaborer les grandes orientations en matière de développement régional. Elle conditionnera donc grandement l'emplacement optimal des sites de décharge. Il s'agit de l'identification des grands thèmes d'occupation du sol tels que l'eau, les espaces boisés, le parcellaire agricole, les zones urbanisées, les sols nus, les terrains de faible densité de végétation. Certains thèmes comme les espaces artificialisés et sols nus leurs limites doivent être prises en considération pour la sélection des sites favorables au stockage de déchets.

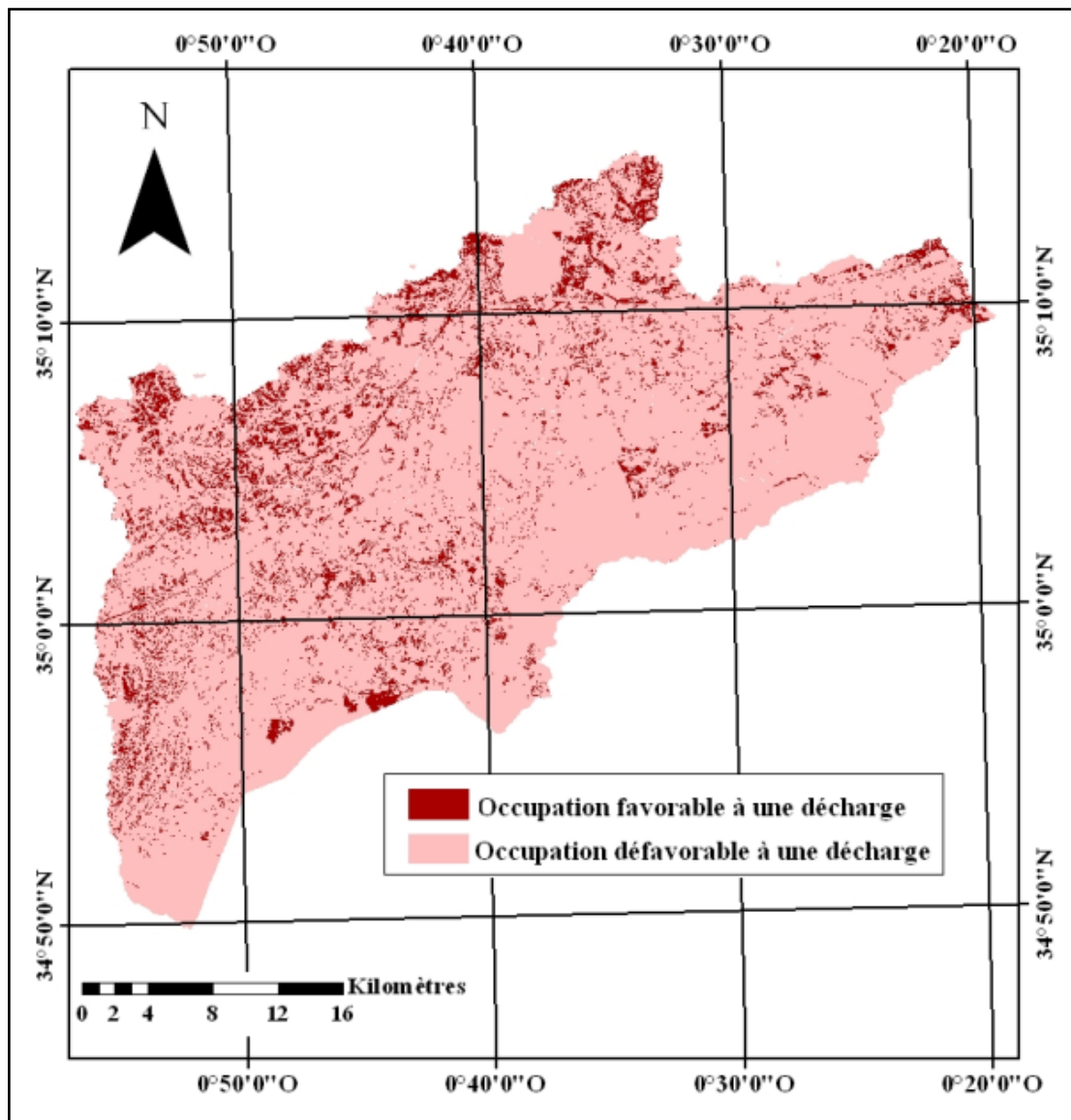
Afin d'établir une carte d'occupation du sol de la plaine de Sidi Bel Abbes, nous avons réalisé une classification supervisée de l'image satellite Landsat 8 prise en mars 2016. L'analyse de la carte d'occupation du sol de la plaine de Sidi Bel Abbes montre une grande occupation de terre agricole au niveau du centre de la plaine, dans le Sud (espaces montagneux) on trouve des forêts denses et des végétations arbustives (forêt claire et maquis) (carte 57). Les sols nus sont les plus favorables pour la sélection d'un site de décharge, ces sols présentant des faibles superficies dans la plaine.

Carte 57. Carte d'occupation du sol en mars 2016 de la plaine de Sidi Bel Abbes



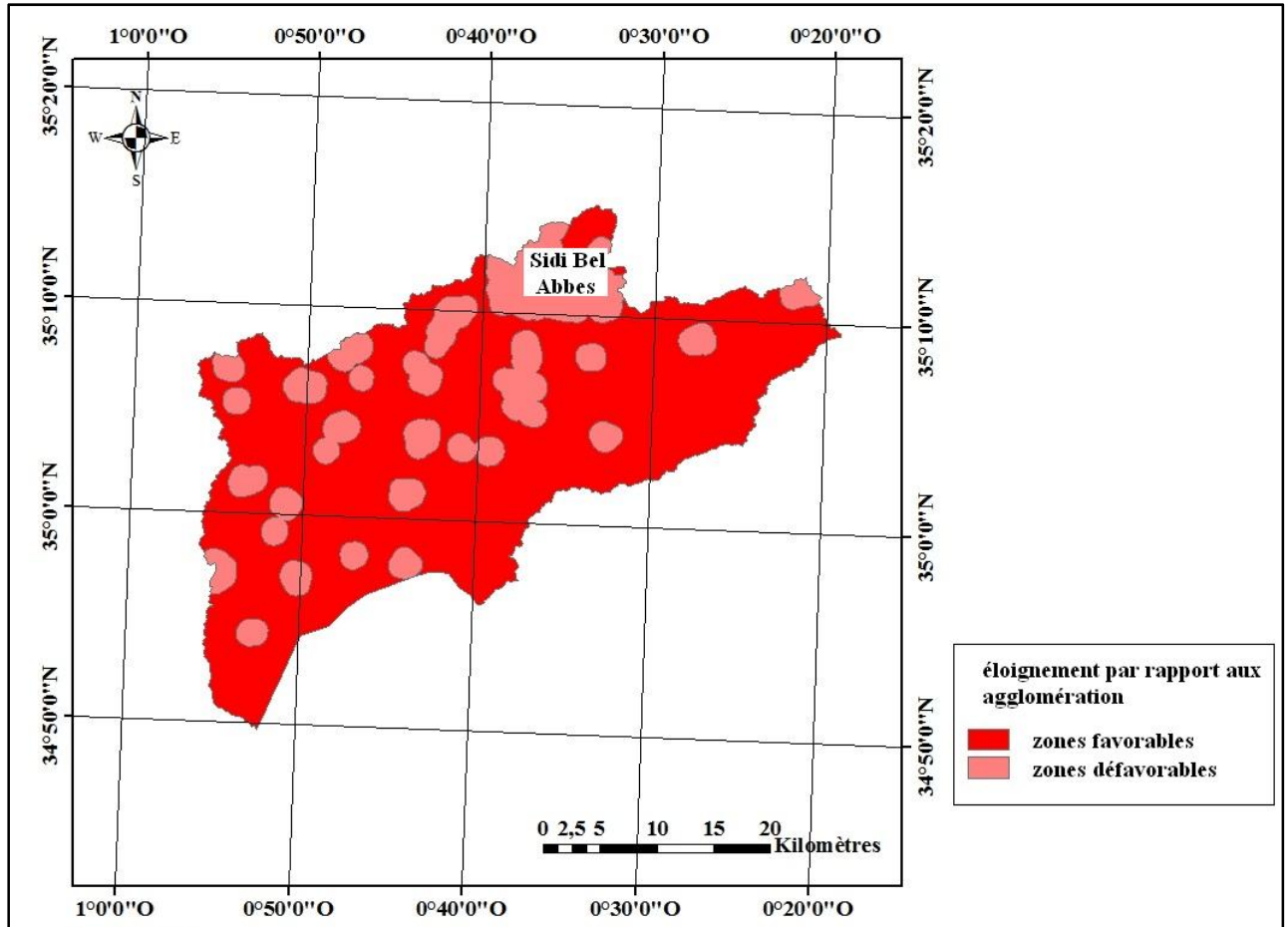
Pour l'identification des types d'occupations favorables, il est nécessaire d'établir une évaluation de la carte d'occupation du sol du point de vue favorabilité pour être une décharge. Les types d'occupation comme les patrimoines forestiers et les terrains agricoles jouent un rôle important dans l'économie régionale, à cet effet, leurs préservations contre tous types de dégradation et de pollution sont utiles. Nous avons classé les types d'occupation : forêts, végétation, surfaces d'eau, agriculture et agglomérations dans le degré défavorable pour le choix d'un site de décharge. Les sols nus présentent les meilleurs types d'occupation adéquats pour être une décharge, dont nous avons donné un degré favorable (carte 58).

Carte 58. Classification de l'occupation du sol selon la favorabilité à une décharge en 2014



La décharge présente des nuisances et des impacts non-négligeables sur la santé humaine et le mode de vie, elle doit être implantée loin d'un centre urbain ou rural. Dans ce contexte et afin de protéger l'homme contre les nuisances excessives résultant de l'exploitation de la décharge (biogaz, odeur, bruit) il est nécessaire que la décharge soit implantée dans une distance de 2 km d'une agglomération. Nous avons délimité toutes les agglomérations urbaines et rurales à partir de l'imagerie satellite Landsat 8 prise en 2016, nous avons réalisé une zone tampons de 2 km autour des agglomérations (carte 59).

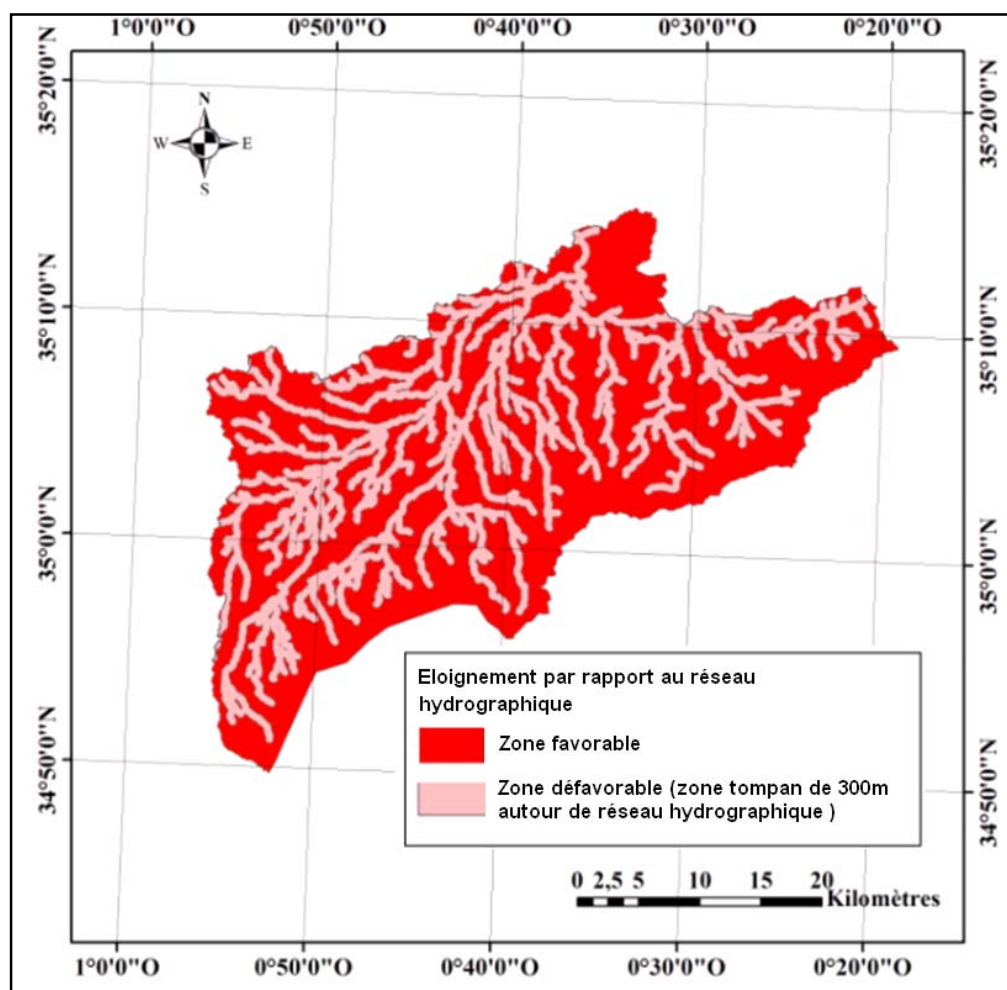
Carte 59. Éloignement par rapport aux agglomérations selon la favorabilité à une décharge en 2014



b. Zone de protection des ressources en eaux de surface (oued Mekerra)

Une décharge implantée au milieu d'un réseau hydrographique ou à proximité des rivières, ruisseaux et des lagunes, les lacs, les barrages présente un risque élevé de dégradation de la qualité des ressources en eaux de surface. Dans ce cas, il est utile de cartographier le réseau hydrographique de la plaine de Sidi Bel Abbas. En se basant sur le guide d'implantation d'une décharge, une distance minimale moyenne de 300 m a été choisie comme zone tampons autour de réseau hydrographique. Par conséquent, toutes les surfaces qui se trouvent dans cette zone tampons sont considérées comme des sites défavorables pour le stockage de déchets (carte 60).

Carte 60. Critère éloignement par rapport aux réseaux hydrographiques d'oued Mekerra

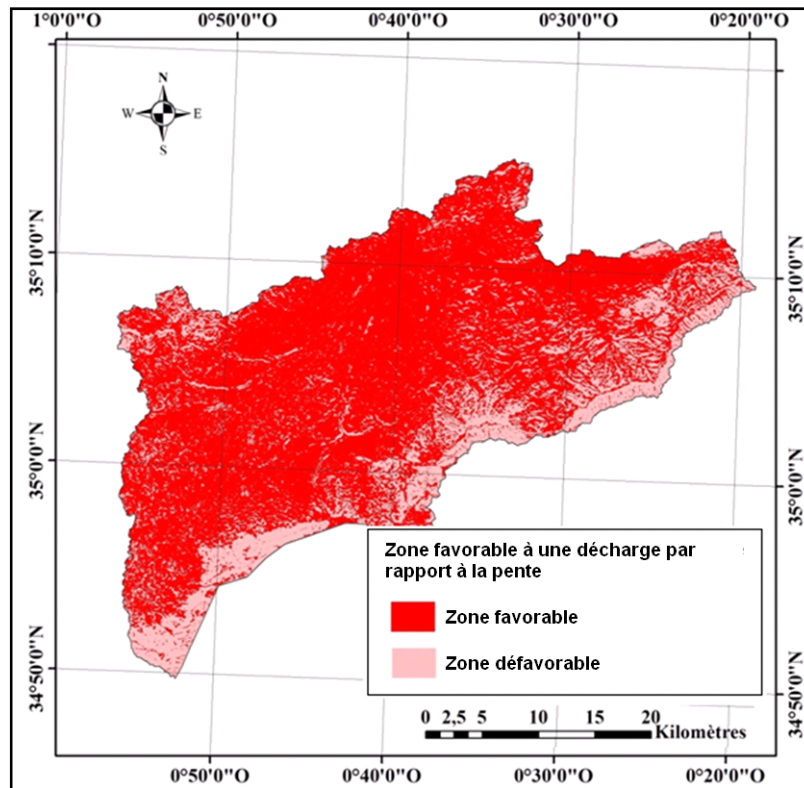


c. La topographie favorable pour un site de décharge

La pente est un paramètre important dans le choix d'un site de décharge, car elle influence sur le ruissellement et l'infiltration des eaux. La décharge nécessite une pente faible afin de faciliter le déchargement de l'ordure ménagère. Le modèle numérique de terrain ASTER permet de réaliser la carte des pentes de la plaine de Sidi Bel Abbas.

Le site de la décharge doit être conçu de telle façon que son emplacement ne soit pas exposé à des risques de glissement de terrain, d'érosion ou à des risques de crue. Une classification de la carte des pentes a été effectuée, deux classes ont été établies une classe de pente forte ($+ 20^\circ$) représente le degré défavorable pour être une décharge et l'autre classe de faible pente (0° à 20°) indique la classe la plus favorable pour un site de décharge, ces deux classes ont été classées sur la base du guide de présélection international d'une décharge contrôlée (carte 61).

Carte 61. Classification des pentes selon la favorabilité à une décharge dans la plaine de Sidi Bel Abbès à partir d'un MNT aster en 2002



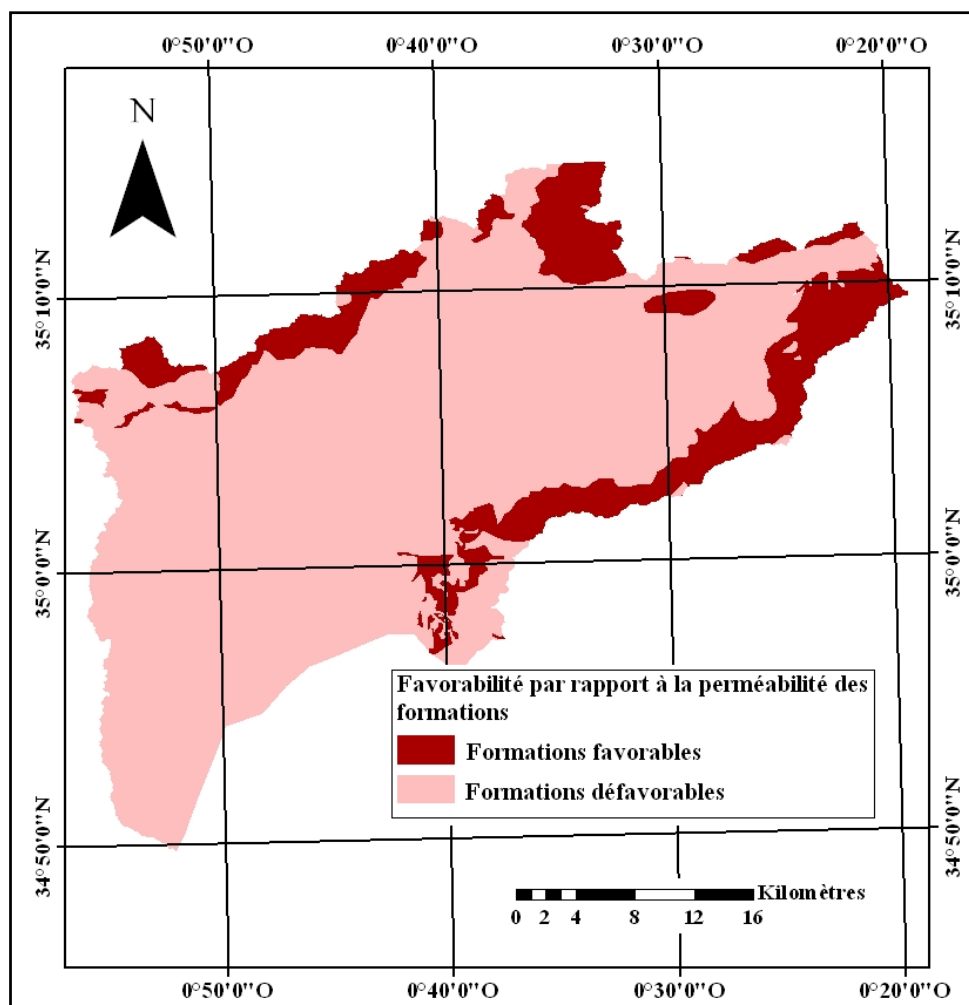
d. Protection de la nappe et imperméabilité des formations lithologiques

Compte tenu de la pression anthropique sur l'environnement, la carte géologique représente actuellement un outil précieux d'aide à la décision pour la gestion des ressources naturelles, de l'environnement, de l'aménagement et de la planification du territoire. Elle nous renseigne sur la variation spatiale des propriétés physiques des roches (la lithologie et la structure). Les formations lithologiques ont une influence non seulement sur la répartition des écoulements superficiels et souterrains, mais aussi sur le choix de sites adéquats au stockage de déchets.

Le substratum d'une décharge doit être étanche et ne présente aucune fissure ni diaclase pour éviter tout type de pollution et de contamination des eaux souterraines et de sol. C'est dans ce contexte que nous avons cartographié la carte lithologique de la plaine de Sidi Bel Abbès à partir de la carte hydrogéologique à échelle 1/100 000 réalisée par SOURISSEAU (1973). À partir de cette carte, nous avons classé les couches lithologiques selon la classification de SOURISSEAU en classe perméable, semi-perméable et imperméable.

L'emplacement de la décharge est acceptable dans les zones de formations imperméables, donc les zones de perméabilité et de semi-perméabilité sont classées dans le degré défavorable, les zones d'imperméabilité sont classées en degrés favorables (carte 62).

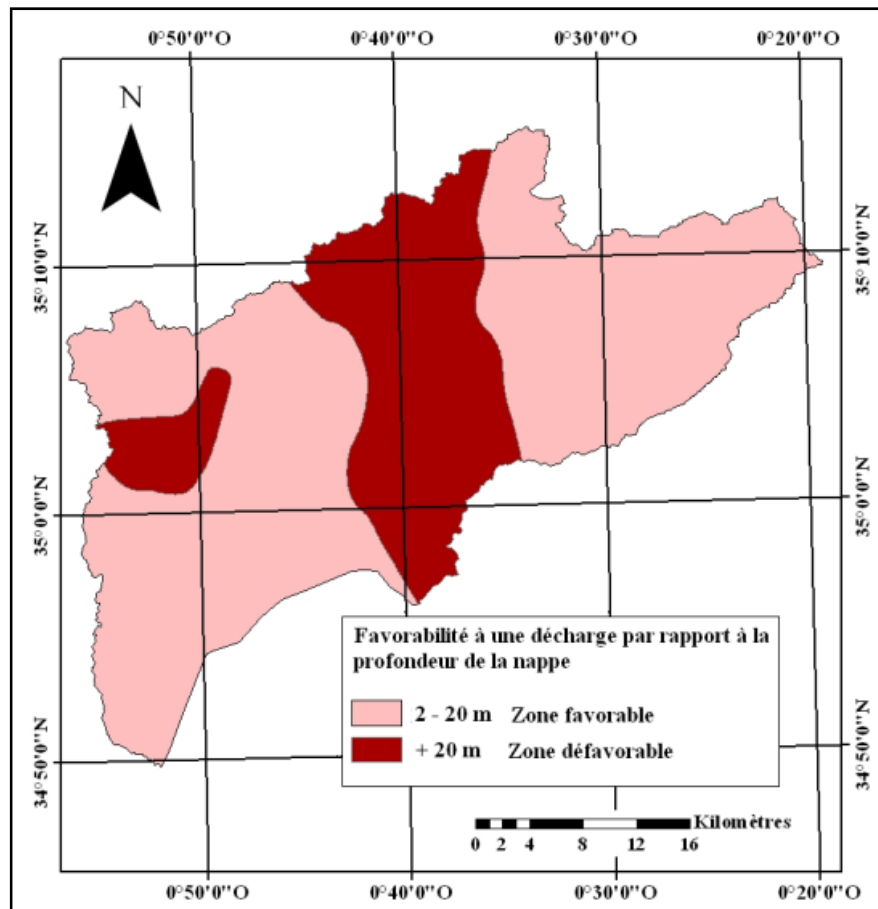
Carte 62. Classification de la perméabilité des formations lithologiques (carte hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbès) selon la favorabilité à une décharge



La préservation de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès, compte de leur importance stratégique et économique dans la plaine, nécessite la cartographie de la profondeur de la nappe. Cette profondeur joue un rôle très important dans le choix d'un site favorable pour le stockage des déchets solide afin d'éviter l'infiltration des lixiviats et la contamination de la nappe.

À partir des données des forages et puits existant dans la plaine, collectés auprès de l'ANRH durant la campagne piézométrique de septembre 1996, nous avons réalisé un modèle numérique de profondeur de la nappe, ensuite nous avons classé ces profondeurs. En se basant sur le guide d'implantation d'une décharge, une profondeur moyenne de (0-20 m) a été choisie comme une distance de protection de la nappe contre les polluants et (+ 20 m) et une distance qui nous permette de sélectionner ce site comme un site favorable (carte 63).

Carte 63. Classification de la profondeur des aquifères de la plaine de Sidi Bel Abbas pour implantation d'une décharge



2.3. Sélection des sites favorable pour une décharge contrôlée

Le croisement des différentes couches d'informations des critères d'implantation d'une décharge, tout en excluant les noyaux à protéger, a permis de sélectionner des surfaces adéquates pour une décharge contrôlée. Il s'agit des surfaces qui ne présentent pas, sur la base de la combinaison des plans d'informations, des contraintes à l'implantation d'une décharge.

Sur la base des plans d'informations cités ultérieurement, nous avons pu établir une carte de l'indice de favorabilité à partir du calcul raster sous Arc Gis selon l'équation suivante :

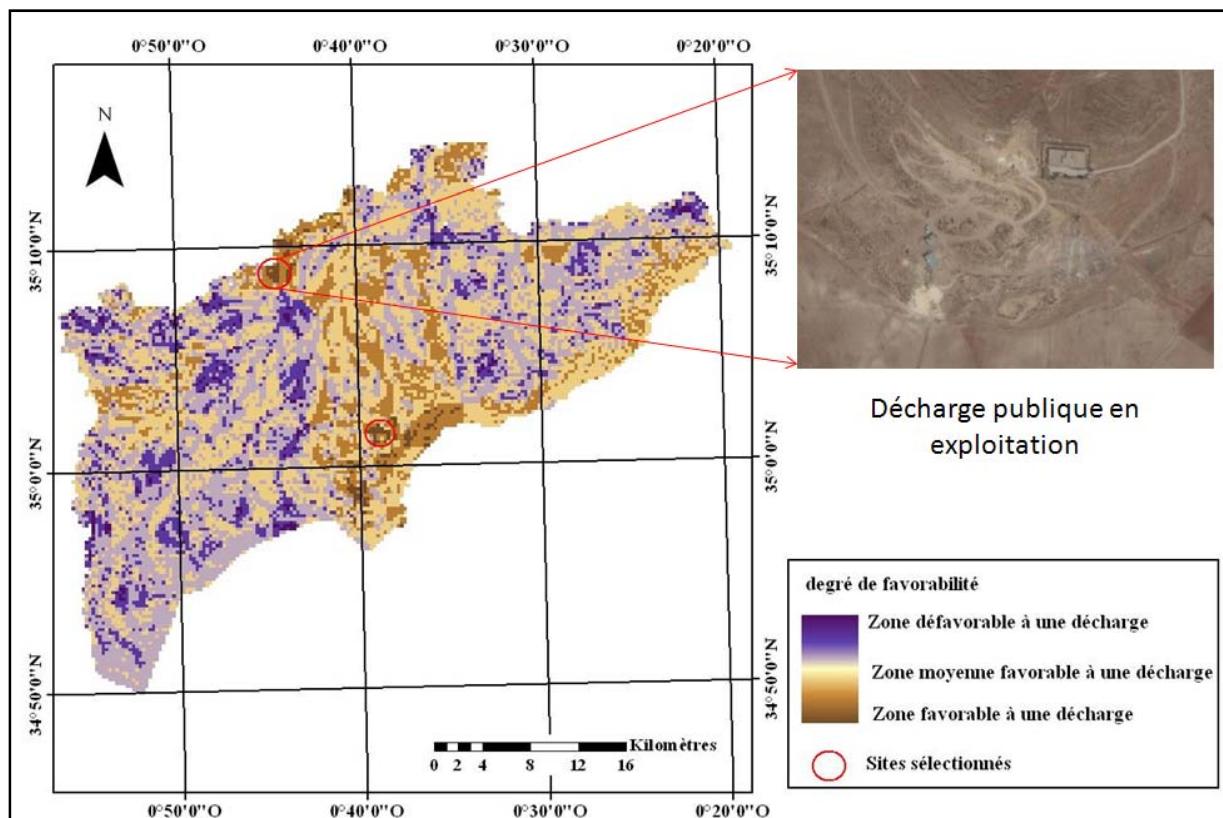
$$\text{Indice de favorabilité} = \text{pente} + \text{lithologie} + \text{hydrogéologie} + \text{occupation du sol} + \text{hydrologie} + \text{éloignement des agglomérations}$$

Nous n'avons pas donné des poids pour ces critères, car ils influencent de la même manière. La carte finale du calcul de l'équation de favorabilité donne le degré 4 comme site favorable, de 4 à 7 comme site moyen favorable et du 7 à 11 comme site défavorable (carte 64). Cette carte permet de planifier sur l'ensemble du territoire de la plaine, et en fonction des besoins dans le

cadre environnemental, de l'économie et de la protection de la nature, les meilleurs sites pour l'élimination correcte des déchets.

Le facteur de proximité au réseau routier est un élément essentiel dans le choix de site d'une décharge, car il joue un rôle économique et environnemental. Le meilleur site est de préférence le site qui est situé près d'un réseau routier, facilite les mouvements des véhicules transportant des déchets. Sur cette base, nous avons cartographié le réseau routier à partir d'une image satellite Landsat 8, nous avons superposé ce réseau sur la carte de calcul de l'indice de favorabilité des zones à l'implantation d'une décharge. À partir de cette superposition et selon l'interprétation de ce résultat, nous avons choisi un site très adéquat et apte à recevoir les déchets urbains, sans présenter un danger de pollution et de risque à la santé de l'homme. Nous avons établi une sortie sur le site pour la validation des résultats, nous avons trouvé que tous les paramètres de choix sont favorables (carte 64).

Carte 64. Carte de favorabilité à l'implantation d'une décharge dans la plaine de Sidi Bel Abbès



Les résultats obtenus lors de cette application confirment que les systèmes d'informations géographiques et la télédétection constituent des outils puissants d'analyse spatiale permettant d'apporter une aide précieuse à l'aménagement du territoire. Il est important de noter que la qualité de l'aide à la décision apportée par un tel système est étroitement liée à la qualité des données introduites dans la base de données. Cependant, le prototype de base de données réalisée a une structure physique qui permet d'accueillir des nouvelles données et essentiellement une remise à

jour. De plus, l'existence de ce prototype de base de données permet de favoriser le dialogue entre les divers intervenants sur la gestion des déchets et son impact sur l'environnement. Par ailleurs, la recherche du site de décharge contrôlée par analyse spatio-thématique a permis de sélectionner un site très apte.

Notons cependant que cette démarche de choix d'un site de décharge à partir des fonctionnalités des systèmes d'informations géographiques et la télédétection propose des solutions et donc présente une aide à la décision dans la planification du territoire.

III. Plan de protection des nappes phréatiques : une nécessité pour faire face à la pollution des eaux souterraines

L'eau est un élément constitutif fondamental de la vie, elle est en amont de toute activité économique. En zone d'étude, aujourd'hui se pose le problème de cette ressource vitale, tant dans sa mobilisation, que de sa protection et sa préservation. Aussi une prise de conscience a débuté pour tenter de protéger l'eau contre toutes sources de pollution. L'alimentation en eau de cette zone (Oran, Ain Témouchent, Tlemcen et Sidi Bel Abbès) est, en partie, assurée par les eaux des barrages et les eaux souterraines des aquifères alluviaux.

Cependant, l'édification de nouvelles infrastructures (port, zone industrielle, etc.), le développement et l'extension de certains types de cultures (plasticulture) et l'utilisation intensif des pesticides ainsi que l'accroissement des populations urbaines, accroissent la demande en eau d'une part et engendrent un sérieux problème de pollution des nappes, d'autre part.

L'augmentation exponentielle de la demande en eau met donc les potentialités hydriques de la zone en situation de surexploitation, aggravée par la dégradation de leur qualité par une pollution de plus en plus préoccupante : rejets incontrôlés d'eaux usées domestiques et industrielles. Face à cette situation, l'établissement d'un programme de gestion rigoureuse des eaux souterraines est nécessaire.

1. Cartographie de la vulnérabilité des nappes phréatiques à la pollution dans la zone d'étude : des documents fondamentaux de protection des eaux souterraines

Les eaux souterraines représentent une importante ressource exploitée pour la consommation humaine et pour l'utilisation dans les domaines agricoles et industriels. Cette ressource a été longtemps considérée comme saine grâce au pouvoir filtrant du sol. En fait, elle est souvent contaminée par des polluants de nature différentes : biologiques, chimiques ou physiques qui ont été souvent la cause d'effets néfastes sur la santé de l'homme et sur les équilibres naturels.

Les remèdes à la pollution sont souvent proposés après que des analyses en laboratoire aient été effectuées. Toutefois, la prévention contre la pollution des nappes constitue une étape importante à laquelle les scientifiques consentent de plus en plus d'efforts, notamment en étudiant la vulnérabilité des nappes souterraines.

Selon nos études précédentes, nous avons trouvé que la majorité des décharges sont localisées sur des terrains perméables et des nappes à profondeur faible. Ce qui favorise un risque majeur de

contamination des eaux souterraines. Afin de préserver la qualité de ces eaux, nous avons jugé utiles d'établir des cartes de vulnérabilité de la nappe à la pollution. Ces cartes représentent des documents fondamentaux pour l'aménagement de territoire. Elles permettent essentiellement d'orienter le choix des sites des projets de développement pouvant avoir des conséquences néfastes sur la qualité des ressources en eaux souterraines. La vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine à la pollution matérialise la facilité avec laquelle elle peut être dégradée.

La notion de vulnérabilité, liée au risque de pollution des eaux souterraines, englobe à la fois celle d'agression et de défense. La vulnérabilité des nappes correspond à leur sensibilité aux différents facteurs physiques stables dans la mesure où elles sont plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol. Elle étudie les possibilités de propagation du polluant dans le sol (ALBINET, 1989). La vulnérabilité liée au risque de pollution est déterminée par la facilité de pénétration des substances polluantes s'infiltrant à partir de la surface du sol vers la nappe.

La vulnérabilité dépend du type de la nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère : Les nappes libres sont les plus vulnérables, les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles :

Le sol : où l'activité chimique et microbiologique est intense (oxydation, réduction, etc.).

La zone non saturée : elle joue aussi un rôle dans la filtration et la rétention de certaines substances. Cette action est d'autant plus efficace que la granulométrie est plus faible.

La zone saturée : la filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe ; le polluant est dilué dans la masse d'eau. On voit que la protection de la nappe sera d'autant meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais, que leur granulométrie est fine et que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible.

Identifier la zone vulnérable à la pollution nécessite des techniques modernes et fiables qui s'inscrivent dans le cadre de la combinaison d'un système d'informations géographiques, une base de données environnementales et des modèles de simulation. Dont la finalité est l'élaboration d'outils d'aide à la décision qui facilitent la gestion durable des eaux souterraines, ainsi que l'obtention d'une meilleure compréhension des phénomènes.

Les nappes alluviales d'El Kerma, de Sidi Bel Abbes et d'El Hennaya sont très exposées aux risques de pollution par la décharge publique d'El Kerma et la STEP d'El Kerma, par le CET de Sidi Bel Abbes et les rejets des eaux usées dans l'oued Mekerra et par le CET de Tlemcen et les rejets industriels en oued Sikkak, ainsi que pour la disponibilité des données. Dans ce cas, nous avons trouvé utile de réaliser des cartes de vulnérabilité à la pollution pour ces nappes.

Les nappes étudiées sont des nappes phréatiques. Ces nappes sont localisées dans des zones de plaines essentiellement exploitées pour l'agriculture et où de plus en plus d'installations industrielles s'implantent. Ainsi, les travaux seront réalisés dans le but d'établir des cartes de

vulnérabilité à la pollution suivant la méthode paramétrique DRASTIC standard (ALLER et al., 1987) avec sa classification classique.

1.1. Méthode de cartographie : DRASTIC universellement utilisée pour évaluer la vulnérabilité

La méthode "DRASTIC" a été développée par l'association NWWA (National Water Well Association) pour le compte de l'USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Conçue entre 1983 et 1987, dans le but d'offrir une base pour l'évolution du potentiel des eaux souterraines. Elle est basée sur un système de cotation numérique et permet l'établissement des cartes de vulnérabilité qui est la synthèse des connaissances lithologiques, pédologiques et hydrogéologiques d'une zone (BOUCENNA, 2009).

La particularité de cette méthode réside dans l'attention particulière qui est accordée par les concepteurs aux 7 paramètres physiographiques et hydrogéologiques, qui sont : la profondeur du plan d'eau dans l'aquifère (**D**), la recharge nette (**R**), le type d'aquifère (**A**), le type de sol (**S**), la topographie (**T**), l'impact de la zone vadose (**I**), la conductivité hydraulique (**C**), les initiales de ces paramètres forment le terme "**DRASTIC**". L'indice DRASTIC est basé sur l'évolution des 7 paramètres suscités. Chaque paramètre est assigné d'un poids relatif fixe dont la valeur, compris entre 1 et 5, correspond à son importance dans le processus d'atténuation des substances contaminants. Un paramètre prépondérant se voit assigner un poids de 5 alors qu'un paramètre ayant moins d'impact sur le devenir d'un contaminant est assigné d'un poids de 1 (tableau 59).

Tableau 59. Les paramètres "DRASTIC" et leur poids

Symbole	Paramètres	Poids
D	Profondeur de l'eau	5
R	Recharge efficace	4
A	Milieu aquifère	3
S	Type de sol	2
T	Topographie	1
I	Impact de la zone vadose	5
C	Conductivité hydraulique	3

Source : ALLER et al., 1987

Une cote 1 correspond aux conditions de moindre vulnérabilité alors qu'une cote de 10 reflète les conditions les plus propices à la contamination. Un indice DRASTIC partiel propre à chaque paramètre est alors déduit en multipliant sa cote par son poids relatif. Cet indice représente une évolution du niveau de risque de contamination d'une formation aquifère. Ce risque augmente avec la valeur de l'indice.

Les paramètres de l'indice DRASTIC sont (BOUCENNA, 2009):

- **Profondeur de l'eau** : c'est un paramètre déterminant dans le contrôle du transfert de l'atténuation du polluant dans la zone non saturée. Dans le cas d'une nappe libre, la profondeur

de l'eau représente la portion du sol entre la limite de la couche végétale et la surface piézométrique libre de la nappe.

- **Recharge nette** : elle correspond à l'infiltration efficace, est le seul paramètre responsable de la réalimentation des nappes. Elle représente ainsi le moyen de transfert du polluant de la surface du sol vers le milieu aquifère. La recharge est liée à plusieurs facteurs climatologiques, géologiques, topographiques et hydrologiques. Elle peut être estimée à partir des équations du bilan hydrologique ou déduite de la différence de charge des nappes entre les périodes de hautes et basses eaux.
- **Nature du matériel aquifère** : le milieu aquifère, où zone saturée est le lieu approprié où peut être stockée des quantités d'eau importantes. Son rôle dans l'atténuation du polluant dépend de la nature lithologique et texturale des formations qui constituent le milieu aquifère.
- **Type de sol** : on s'intéresse à la couche végétale du sol de 1 à 2.5m d'épaisseur, siège d'une activité biologique et chimique intense. Le sol au sens pédologique résulte de l'altération des roches-mères.
- **Topographie** : la variation de la pente des terrains contrôle la possibilité d'infiltration des polluants. On considère que les terrains dont la pente forte sont caractérisés par une prédominance des ruissellements permettant une évacuation des substances polluantes vers l'aval. Tandis que les secteurs de pente faible favorisent l'infiltration d'eau éventuellement polluée.
- **Impact de la zone vadose** : la zone non saturée de l'aquifère constitue souvent le siège des processus de biodégradation, de filtration, de précipitation, de volatilisation, de dispersion et d'atténuation du polluant. Ces processus sont d'autant plus importants que la perméabilité des terrains de la zone non saturée soit faible. Cette perméabilité est étroitement liée à la nature lithologique, à la granulométrie et au degré de fissuration des terrains.
- **Conductivité hydraulique** : c'est l'aptitude d'un aquifère à permettre le mouvement de l'eau, sous l'effet d'un gradient hydraulique donné dont la direction diffère généralement de celle de l'écoulement. Ce paramètre est étroitement lié à la granulométrie des formations aquifères, il peut ainsi être calculé directement à partir de mesures de terrain ou encore être estimé à partir de la lithologie des formations aquifères.

1.2. Cas de la nappe alluviale d'El Kerma : forte vulnérabilité à la pollution

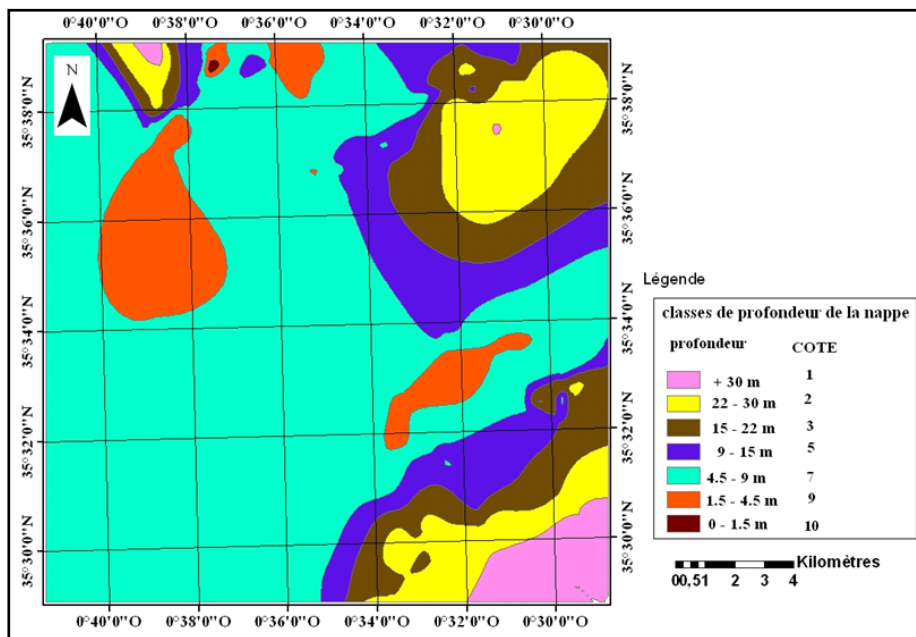
L'accroissement des pollutions urbaines, industrielles et agricoles dans la zone d'El Kerma constitue un fléau pour la qualité et la quantité des ressources en eaux souterraines. À cet effet, la réalisation de la carte de vulnérabilité est un moyen efficace pour identifier les périmètres de protection des champs de captages des eaux. Cette carte donne un aperçu sur la répartition spatiale des degrés de vulnérabilité, la superposition de ces derniers avec les sources de pollution permet de définir les zones à risque.

Pour l'application de cette méthode, il est utile de rassembler un maximum d'informations des données nécessaires à l'estimation des paramètres caractérisant la vulnérabilité (des études hydrogéologiques, géologiques, hydroclimatologiques, pédologiques et géographiques

géophysiques de la plaine d'El Kerma). Pour chacun des 5 paramètres (DRSTI) selon la disponibilité des données, une carte thématique a été réalisée. Sur chacune, nous avons délimité les zones caractérisées par un indice de vulnérabilité partielle à savoir :

- **Le paramètre "profondeur de la nappe (D)"** : l'évaluation de ce paramètre a été faite sur la base de la carte de profondeur de la nappe réalisée en deuxième chapitre. La classification finale du critère « profondeur de la surface de la nappe » comprend 7 classes (carte 65). La variabilité spatiale de cette profondeur est classée en 5 classes allant de 0 à plus de 30 m. La protection potentielle de l'aquifère augmente avec la profondeur de la nappe (SMIDA et al., 2010).

Carte 65. Carte du paramètre (D), profondeur de la nappe alluviale d'El Kerma en décembre 2012



- **Le paramètre "recharge nette (R)"** : elle joue un rôle déterminant dans le transfert de la lame d'eau depuis la surface du sol jusqu'à l'aquifère sous-jacent. Ce paramètre est particulièrement difficile à évaluer. Pour son estimation au niveau de la nappe alluviale d'El Kerma, nous avons utilisé les calculs de bilan hydrique établi par plusieurs auteurs (THORNTHWAITE et TURC etc.). La méthode du bilan hydrique dépend de l'infiltration efficace, de l'évapotranspiration réelle en mm/an, de la pluviosité moyenne annuelle et de ruissellement moyen annuel.

$$P = ETR + Ruiss + I$$

$$I = P - (ETR + Ruiss)$$

P : précipitation mm/an

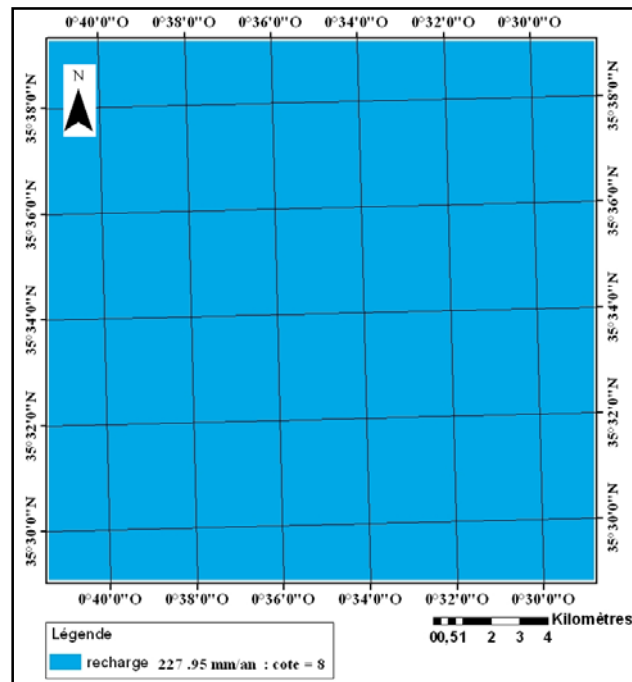
ETR : évapotranspiration réelle mm/an

Ruiss : ruissellement calculé par le bilan hydrique

I : infiltration (recharge nette mm/an)

La recharge nette de la station d'Es Senia est de 227.95 mm/an, cela nous a permis de donner une cotation numérique de 8.

Carte 66. Carte du paramètre (R), la recharge nette de la nappe alluviale d'El Kerma (moyenne des années 1987 à 2012)



- **Paramètre type de sol (S) :** la nature du sol a un impact considérable sur la contamination des nappes phréatiques par les polluants provenant de la surface. Elle peut réduire, retarder ou accélérer le processus de propagation de polluant vers l'aquifère. Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande. Les informations recueillies à partir des cartes pédologiques réalisées de la zone ont permis de définir la nature du sol. Les valeurs indiciaires ont été déterminées selon les classes signalées dans la carte 65. Nous avons défini 4 types de sols :

Sol peu évolué (sols alluviaux) : cette classe regroupe tous les sols caractérisés par un faible degré d'évolution et d'altération et un taux de matière organique limité. Ces sols se répartissent particulièrement dans les chenaux d'oueds alluvionnés, les épandages de débordement sur la terrasse récente des oueds principaux. Ils présentent la majeure partie des sols cultivés en céréales. Ils sont de texture fine à moyenne et à grossière avec une grande hétérogénéité dans le profil, la structure est généralement lamellaire avec une proportion élevée d'éléments grossiers, une forte charge caillouteuse et un faible taux de matières organiques.

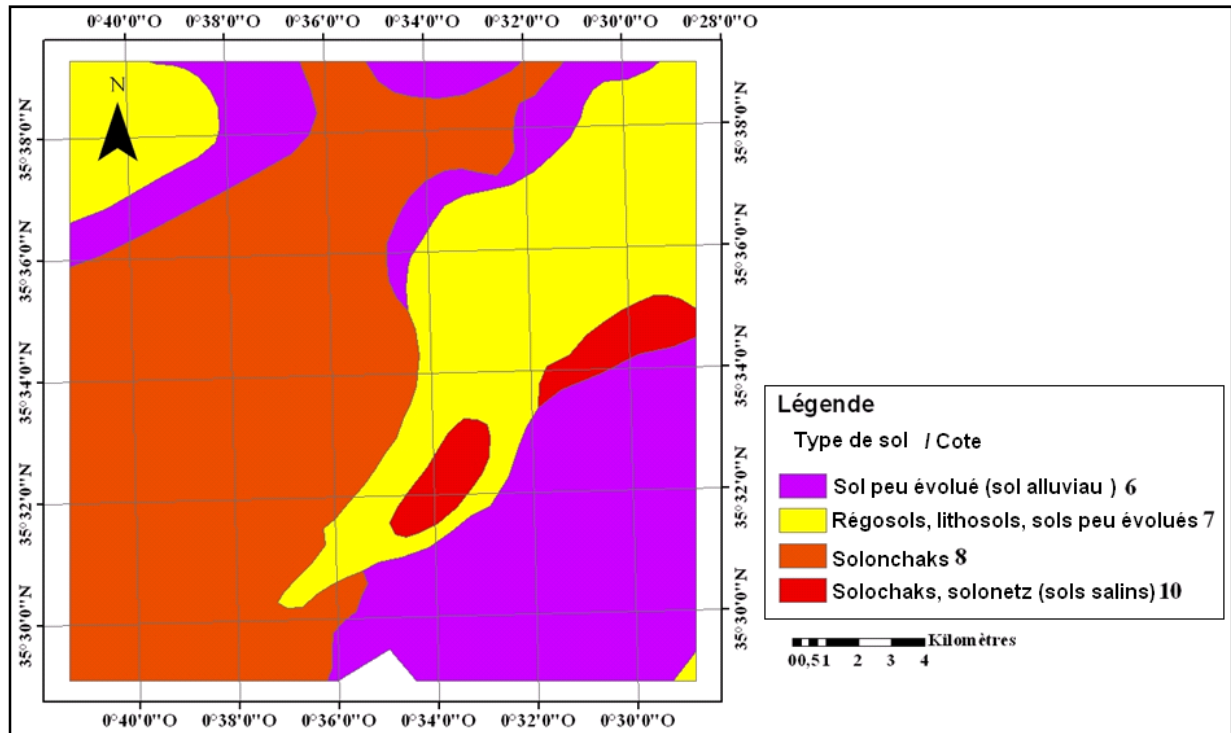
Les régosols, lithosols (sols calcaires) : les lithosols sont limités en profondeur par un matériau dur, roche non altérée ou horizon pédologique durci à 10 cm de la surface ou moins.

Les régosols sont des sols très minces sur matériaux non ou peu évolués.

Les solonchaks : est un type de sol de forte salinité, se formant lorsque l'évaporation est supérieure aux apports par les pluies.

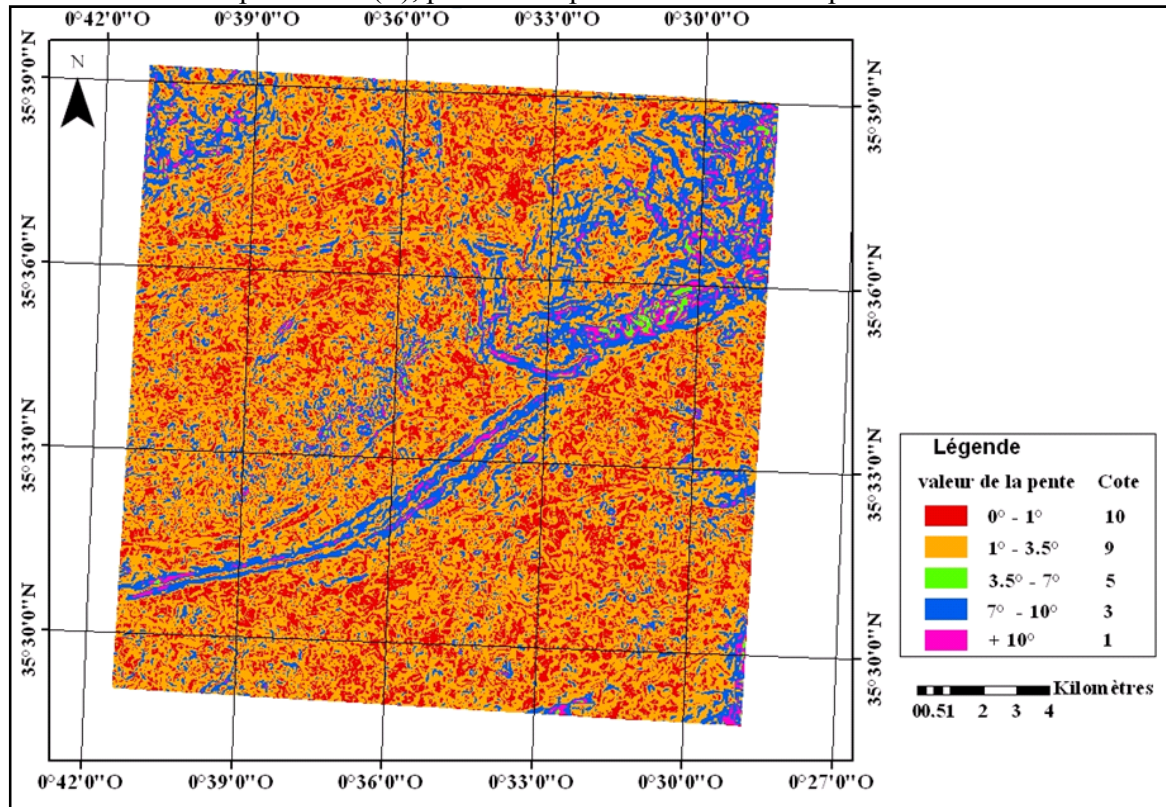
Les solonchaks, solonetz (sols salins) : est un type de sol riche en sodium avec accumulation d'argile en sub-surface.

Carte 67. Carte du paramètre (S), pédologie de la plaine d'El Kerma en 2000



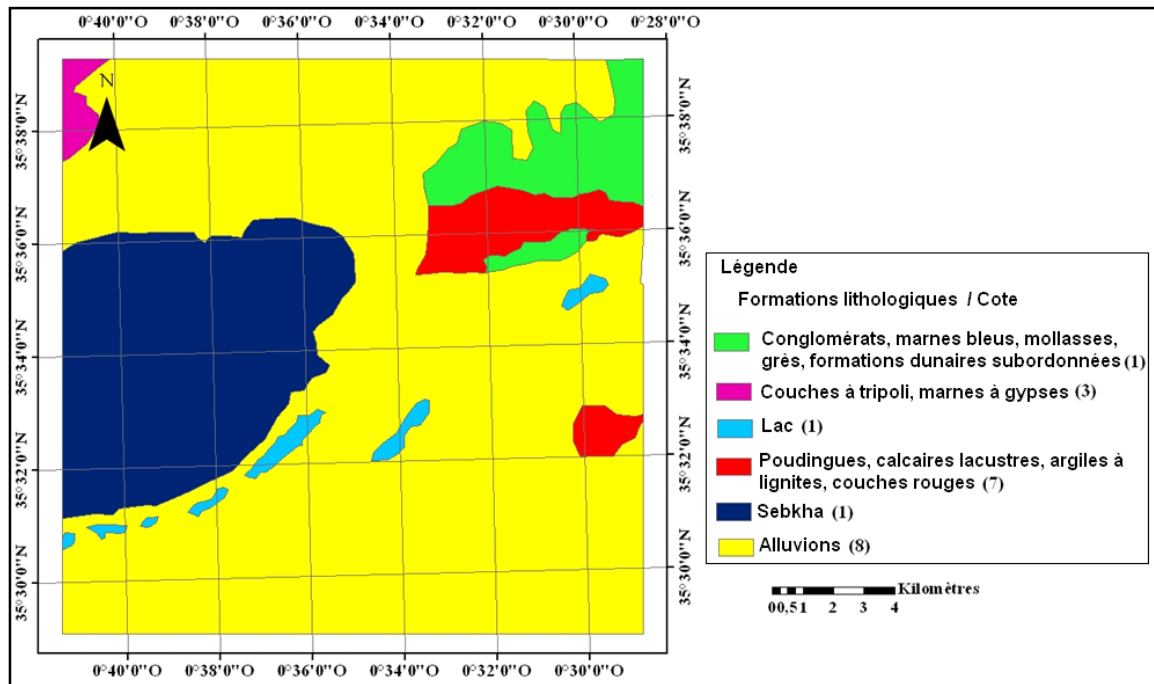
Le paramètre "topographie (T) " : ce paramètre traduit l'aptitude au ruissellement et à l'infiltration des eaux superficielles vers la nappe et reflète donc la capacité de ces eaux à introduire des agents polluants vers la nappe. En effet, plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible. En revanche, une zone à faible pente a une tendance à retenir l'eau pendant une longue période, cela permet un plus grand potentiel de migration des contaminants (SBARGOUD, 2013). La plaine alluviale d'El Kerma présente des pentes faibles, en quasi-totalité entre 0° à 3.5°. La définition des classes de pente (T) a été basée sur la notation accordée par LALLEMAND-BARRES (1994).

Carte 68. Carte du paramètre (T), pente de la plaine d'El Kerma à partir d'un MNT Aster 2002



Impact de la zone vadose (I) : la nature de cette zone constitue un paramètre important dans l'estimation de la vulnérabilité, car elle influe sur la vitesse de propagation des polluants vers l'aquifère. Son impact est déterminé à partir de la lithologie des terrains qui la constituent. Le processus de cartographie du thème «I» est obtenu à partir de la carte géologique. Les différentes classes obtenues sont pondérées de 1 à 10 selon le modèle DRASTIC.

Carte 69. Carte du paramètre (I), formation lithologique de la plaine d'El Kerma à partir de la carte géologique d'Oran à 1/50 000



La méthode utilisée dans le cadre de la réalisation de la carte de vulnérabilité dans la plaine d'El Kerma est basée sur cinq paramètres de vulnérabilité (**DRSTI**), selon la disponibilité des données. Ces paramètres sont : la profondeur de la nappe (**D**) ; la recharge nette (**R**) ; le type de sol (**S**) ; la topographie ou la pente (**T**) et l'impact de la zone vadose ou zone aérée (**I**).

L'évaluation de la vulnérabilité s'effectue par le calcul de l'indice DRSTI (ID) selon l'équation suivante :

$$ID = D_c \times D_p + R_c \times R_p + S_c \times S_p + T_c \times T_p + I_c \times I_p$$

(c) et (p) sont la cote et le poids du paramètre.

L'indice calculé représente une mesure du niveau de risque de contamination de l'unité hydrogéologique à laquelle il se rattache. Ce risque augmente avec la valeur de l'indice. L'extension "Spatial Analyst" permet de calculer cet indice, par l'addition de cinq paramètres présentés sous le format GRID. L'outil « Map calculator » du menu Analysis offre plusieurs types d'opération mathématique sur les cartes, qui y ont la même étendue et la même résolution spatiale. Le résultat de ce calcul est représenté dans la carte 70.

La méthode DRSTI a permis de calculer l'indice de vulnérabilité, il est de 56 (0%) à 140 (100%). Une nouvelle approche développée par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec en 1995 (ANONYME, 2007) et suivie par le FAO consiste à diviser en trois catégories l'échelle de vulnérabilité hydrogéologique (0 à 100 %) (tableau 60).

Tableau 60. Indices DRASTIC en pourcentage et vulnérabilité hydrogéologique

Catégories	Indice de vulnérabilité	
Catégorie 1	0 – 35 %	Assurément protégée
Catégorie 2	Comprise entre 35 à 75 %	Protection hydrogéologique incertaines
Catégorie 3	75 – 100 %	Assurément vulnérable

Source : ANONYME, 2007

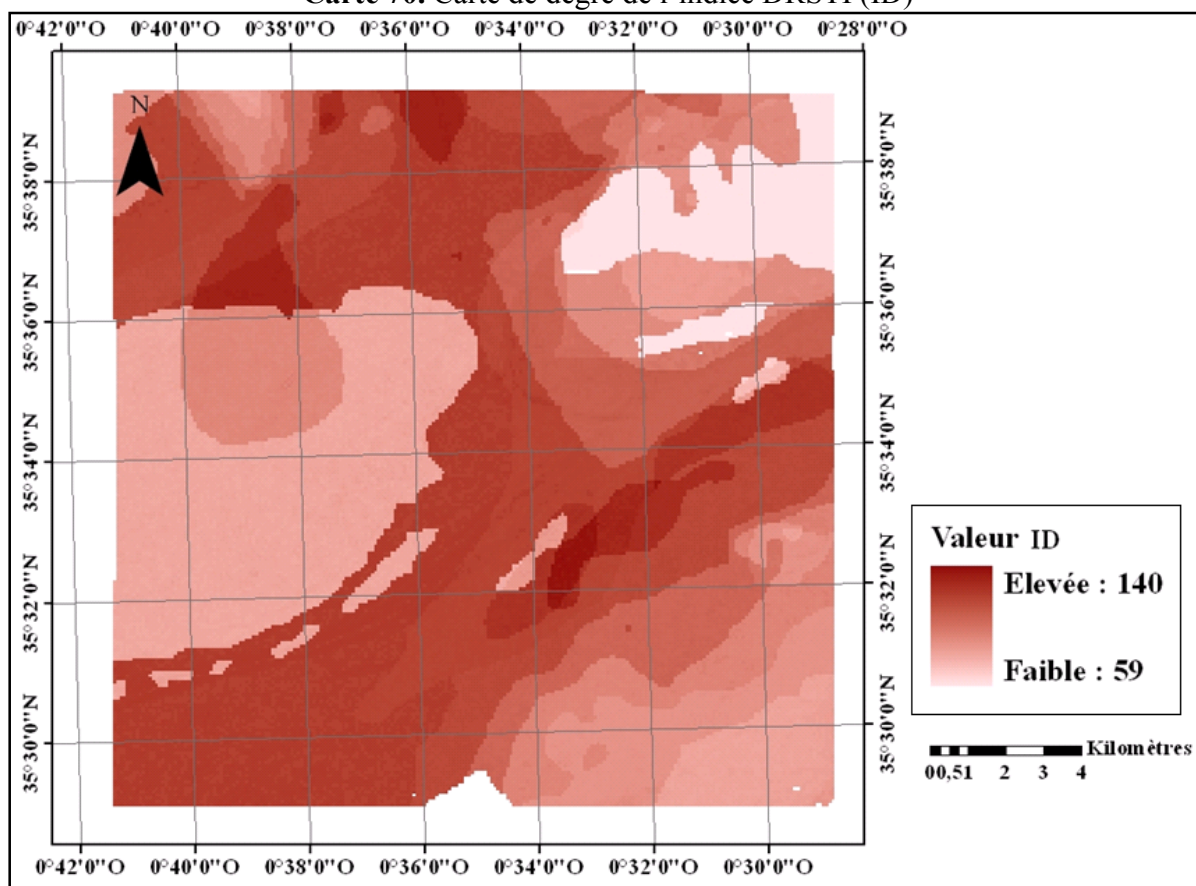
La classification des pourcentages de vulnérabilité selon le FAO a permet d'obtenir trois classes de vulnérabilité, faible, moyenne, élevée. L'analyse du tableau 61 et la carte 71 montre une dominance des aires à vulnérabilité élevée dans la majorité de la nappe.

Tableau 61. Classes de vulnérabilité des eaux souterraines dans la plaine d'El Kerma

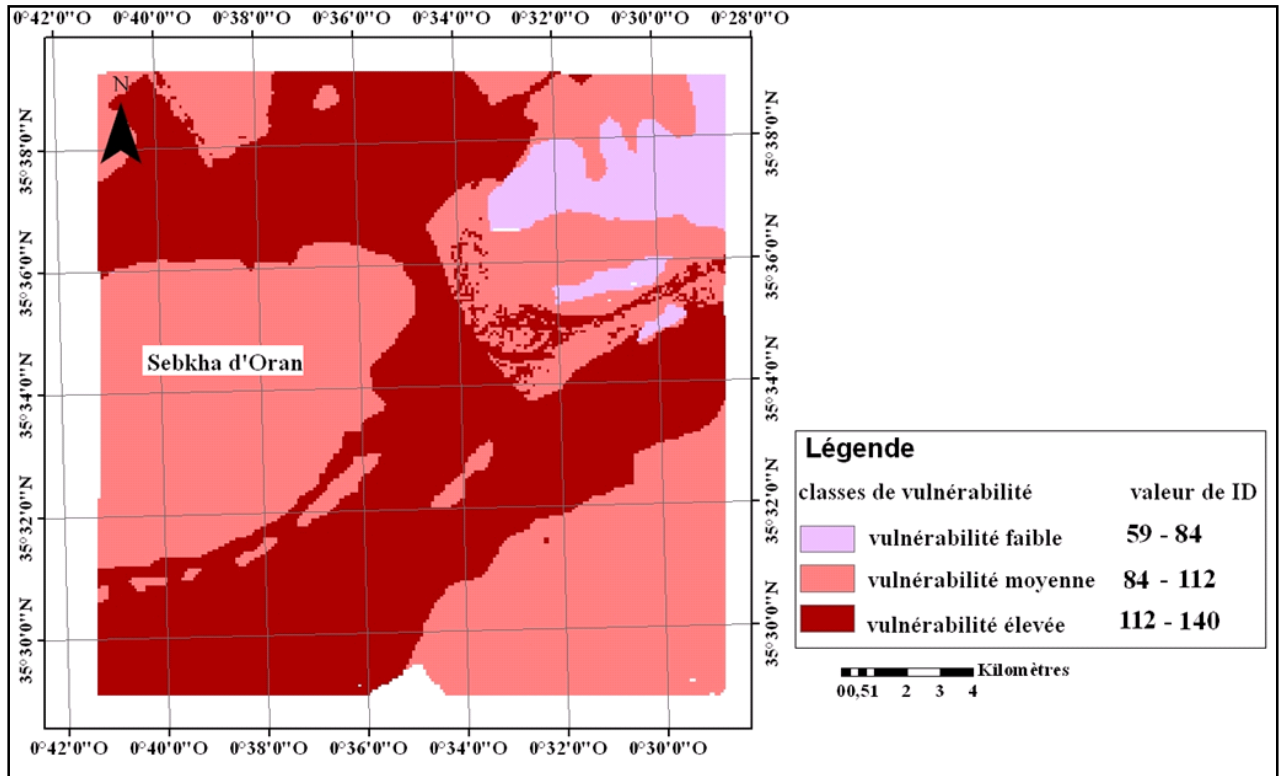
Valeur de l'indice DRSTI (ID)	Niveau de vulnérabilité	ID %	Superficie %
59 – 84	Faible	35	0.48
84 – 112	Moyen	35 – 75	48.53
112 – 140	Elevé	75 – 100	50.9

Source : traitement personnel

Carte 70. Carte de degré de l'indice DRSTI (ID)



Carte 71. Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine de la région d'El Kerma en 2017



Trois classes de degrés de vulnérabilité à la pollution ont été mises en évidence. Il s'agit d'une classe faible occupant environ 0.48 % de la zone cartographiée. La vulnérabilité est faible dans ces zones peut être expliqué par la forte profondeur de la nappe, l'imperméabilité des formations lithologiques ainsi que la forte pente. Une classe de vulnérabilité moyenne occupant environ 48.53 % de la zone cartographiée, localisée notamment dans la sebkha d'Oran et la zone de Tafraoui. Une classe de forte vulnérabilité, localisée surtout dans la partie centre de la plaine au niveau des agglomérations d'El Kerma et d'Es Senia ainsi que les zones d'alentour de la sebkha d'Oran. Cette classe présente environ 50.9 % de la zone cartographiée. Elle peut être expliquée par la faible profondeur de la nappe et la perméabilité des formations lithologiques. Ces conditions favorisent l'infiltration de tout contaminant présent à la surface.

La cartographie de la vulnérabilité de la nappe révèle une tendance de vulnérabilité à la pollution forte (50.9 %), ceci permet de dire que cette nappe est très menacée par l'infiltration des polluants, le risque est important vu la présence de plusieurs sources de pollution dans la plaine à savoir : les rejets domestiques, la présence de la zone industrielle d'Es Senia et l'ancienne décharge d'El Kerma. Ces zones doivent être prises en considération dans toute proposition de développement.

1.3. Cas de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas : une vulnérabilité moyenne à la pollution

Dans la plaine de Sidi Bel Abbas, il existe des ressources en eaux souterraines très importantes localisées dans 5 principaux aquifères, mais la nappe alluviale plio-quadernaire acquiert un intérêt très particulier du fait que tous les autres horizons sont perméables sont en communication hydraulique directe ou indirecte avec celle-ci (HALLOUCHE, 2008). Cet aquifère est d'une superficie de 769 km², contenu exclusivement dans les formations d'âge plio-quadernaire et quadernaire. Ces formations remplissent la grande vallée alluviale de Sidi Bel Abbas et sont le siège d'un écoulement souterrain transitant principalement par les alluvions plus ou moins cimentées et les conglomérats des chenaux transmissifs. Ils forment une nappe libre à l'exception de quelques niveaux conglomératiques du chenal aquifère entre Sidi Khaled et Sidi Bel Abbas dans lesquels la nappe devient semi-captive (HALLOUCHE, 2008).

L'alimentation de la nappe se fait suivante trois processus : alimentation directe par les pluies (environ 60m³/an) (direction d'hydraulique de Sidi Bel Abbas), une alimentation par les aquifères adjacentes, soit par infiltration latérale directe soit par l'intermédiaire des sources, dont les eaux s'infiltrent ensuite dans les alluvions, et enfin par une alimentation des oueds en période de crue (HALLOUCHE, 2008).

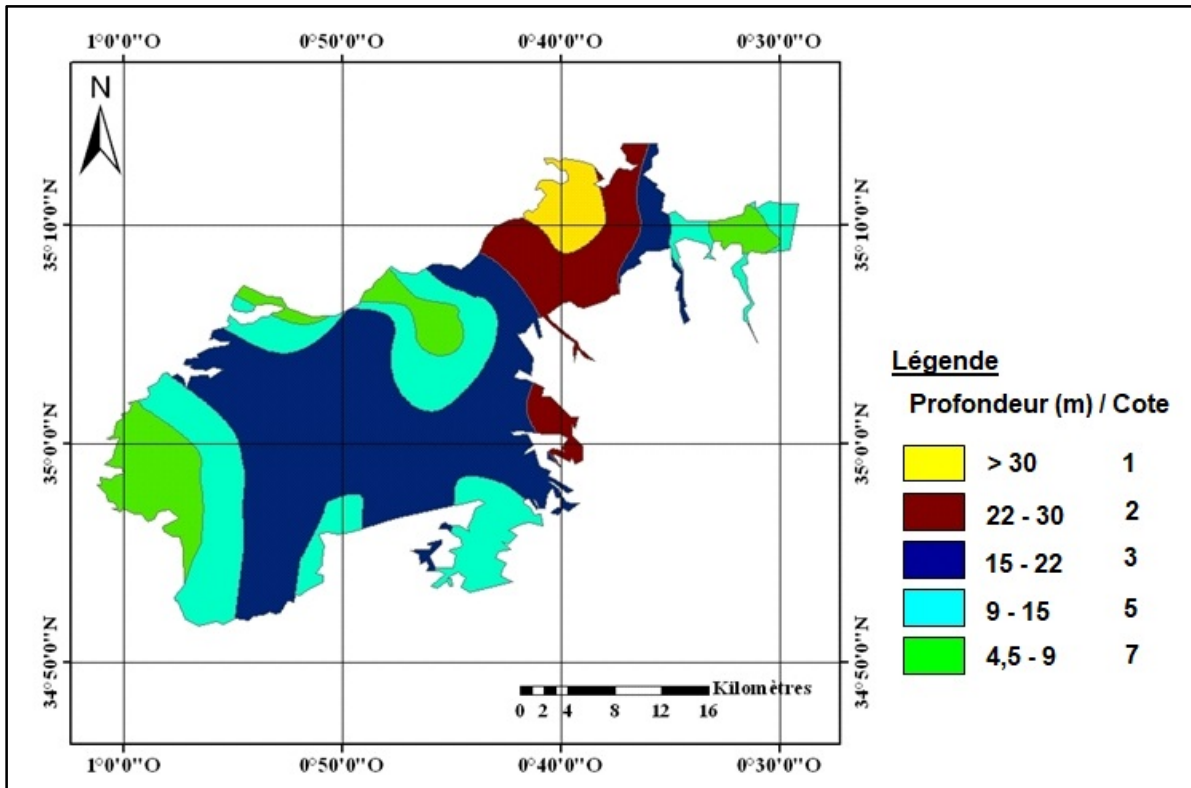
Le rejet des eaux usées non traitées dans l'oued Mekerra, l'existence du CET sur des terrains perméables, la localisation d'une décharge publique de Ben Badis, l'utilisation des engrais dans les terrains agricoles, facilitent la contamination des eaux souterraines. À cet effet, il est utile de cartographie la vulnérabilité à la pollution afin de protéger ces ressources en eaux. Elle permet d'identifier les zones les plus sensibles aux activités anthropiques et les gérer avec précaution.

Dans le cadre de la réalisation de la carte de vulnérabilité de la nappe alluviale de Sidi bel Abbas, nous avons utilisé la méthode DRASTIC. Dans ce cas, nous avons utilisé la représentation des données en mode vecteur et raster (EVANS, 1990). Ces cartes sont obtenues soit par le traitement des données spatiales, soit par digitalisation des cartes existantes ou soit par interpolation de données ponctuelles. Ces sept paramètres découpent, de façon schématique, une unité hydrogéologique locale en ses principales composantes, lesquelles influencent à différents degrés les processus de transport et d'atténuation des contaminants dans le sol.

- Profondeur de la nappe (D) : 51.71 % de la surface de la nappe est de moyenne profondeur

La profondeur de la nappe a été établie à partir des relevés niveaux statiques relatifs aux puits de surface et aux piézomètres implantés dans la région, par la méthode d'interpolation Inverse Distance Weighting (IDW) des mesures prises en septembre 1996 sous Arc Gis, afin de transformer ces courbes en un modèle numérique de profondeur de la nappe. La variabilité spatiale de la profondeur de la nappe est de 5 classes (tableau 62) allant de 4.5 à 50 mètres (carte 72), la majeure partie de la nappe est située entre 15 et 23 m de profondeur.

Carte 72. Paramètre profondeur de la nappe (D) de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas en décembre 2011



Les zones de faible profondeur (4.5 à 9 m) présentent 8.69 % de la surface totale de la nappe, ainsi que les profondeurs entre 9 à 15 m présentent 22.66 %, au niveau de ces zones la contamination des eaux est très forte.

Tableau 62. Cote attribuées à la profondeur de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas

Intervalle de profondeur (m)	Cote	Poids	indice	Superficie %
4.5 – 9	7	5	35	8.69
9 – 15	5	5	25	22.66
15 – 23	3	5	15	51.71
23 – 30	2	5	10	13.95
+ 30	1	5	5	2.96

Source : ALLER et al., 1987

- **Paramètre Recharge nette (R)** : pour calculer la recharge nette, nous avons utilisé la méthode des équations (WILLIAMS et KISSEL, 1991) qui dépend de la nature des formations géologiques. Dans ce cas, nous avons utilisé les données pluviométriques moyennes annuelles de 12 stations météorologiques. Ces stations sont localisées dans les zones du groupe hydrologique B et C.

Le calcul est :

$R = (P - 10.28)^2 / (P + 15.43)$ pour les zones ayant des sols appartenant au groupe hydrologique (A) : sols métamorphiques- basaltes – quartz – schistes.

$R = (P - 15.05)^2 / (P + 22.57)$ pour les zones ayant des sols appartenant au groupe hydrologique (B) : sols sableux - sols gréseux - sols sableux limoneux.

$R = (P - 19.53)^2 / (P + 29.29)$ pour les zones ayant des sols appartenant au groupe hydrologique (C) : limoneux sableux – sablo-limoneux– argileux sableux – encroûtement nodulaire.

$R = (P - 22.67)^2 / (P + 34.00)$ pour les zones ayant des sols appartenant au groupe hydrologique (D) : sols hydro morphe argileux – sols de périmètre urbain.

R : recharge annuelle nette en mm/an.

P : pluviométrie annuelle moyenne en mm/an.

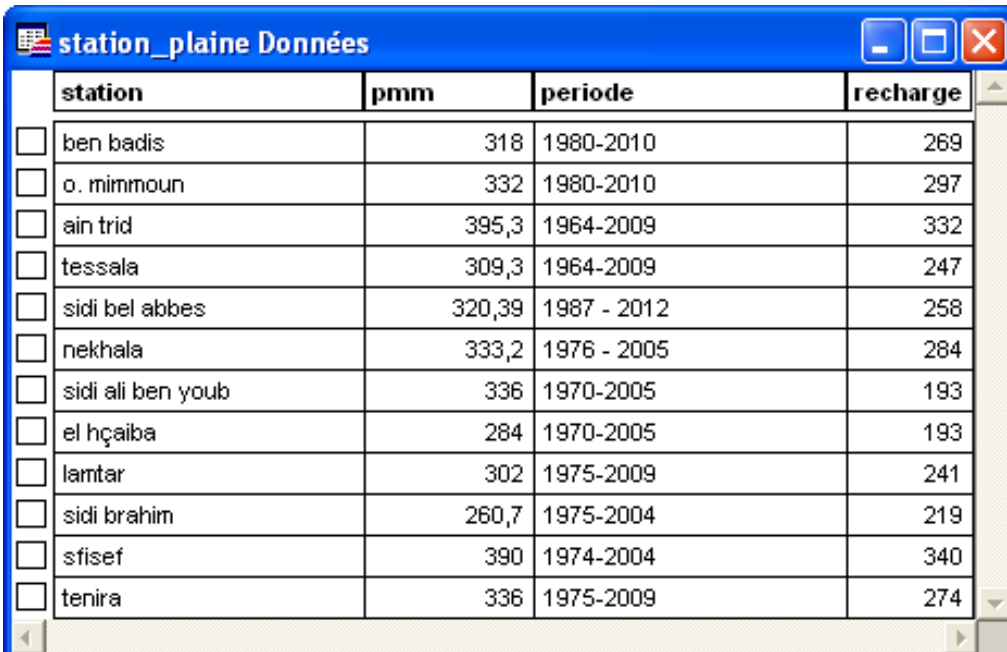
La définition des classes de recharge (R) a été basée selon la notation accordée par LALLEMAND –BARRES (1994). Les classes ainsi retenues sont récapitulées dans le tableau 63.

Tableau 63. Cote attribuées au paramètre recharge

Intervalles recharge (mm/an)	Cote	Poids	Indice
0 - 50	1	4	
50 – 100	3	4	
100 – 180	6	4	
180 – 250	8	4	32
+ 250	9	4	36

Source : LALLEMAND –BARRES, 1994

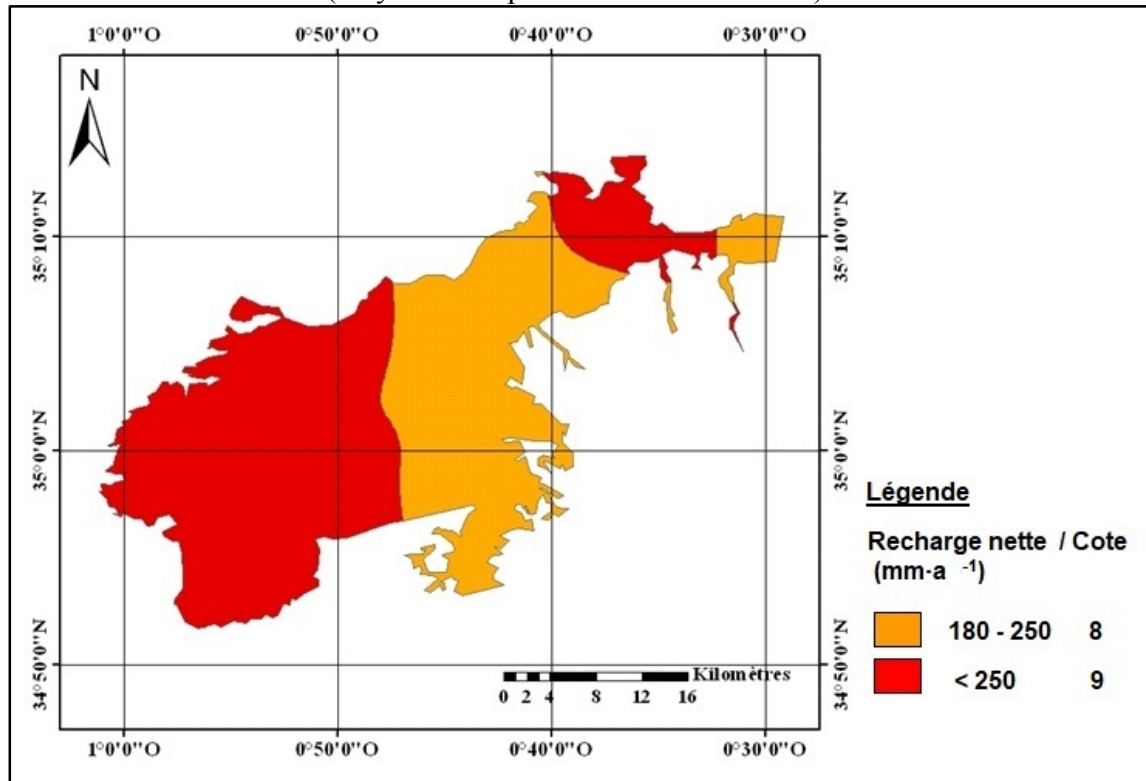
Tableau 64. Précipitations et recharges nettes moyennes annuelles des stations météorologiques



station	pmm	periode	recharge
ben badis	318	1980-2010	269
o. mimoun	332	1980-2010	297
ain trid	395,3	1964-2009	332
tessala	309,3	1964-2009	247
sidi bel abbes	320,39	1987 - 2012	258
nekhala	333,2	1976 - 2005	284
sidi ali ben youb	336	1970-2005	193
el hçaiba	284	1970-2005	193
lamtar	302	1975-2009	241
sidi brahim	260,7	1975-2004	219
sfisef	390	1974-2004	340
tenira	336	1975-2009	274

Source : ONM et traitement personnel, 2013

Carte 73. Carte de la recharge nette dans la zone de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas (moyenne des périodes de 1974 – 2012)

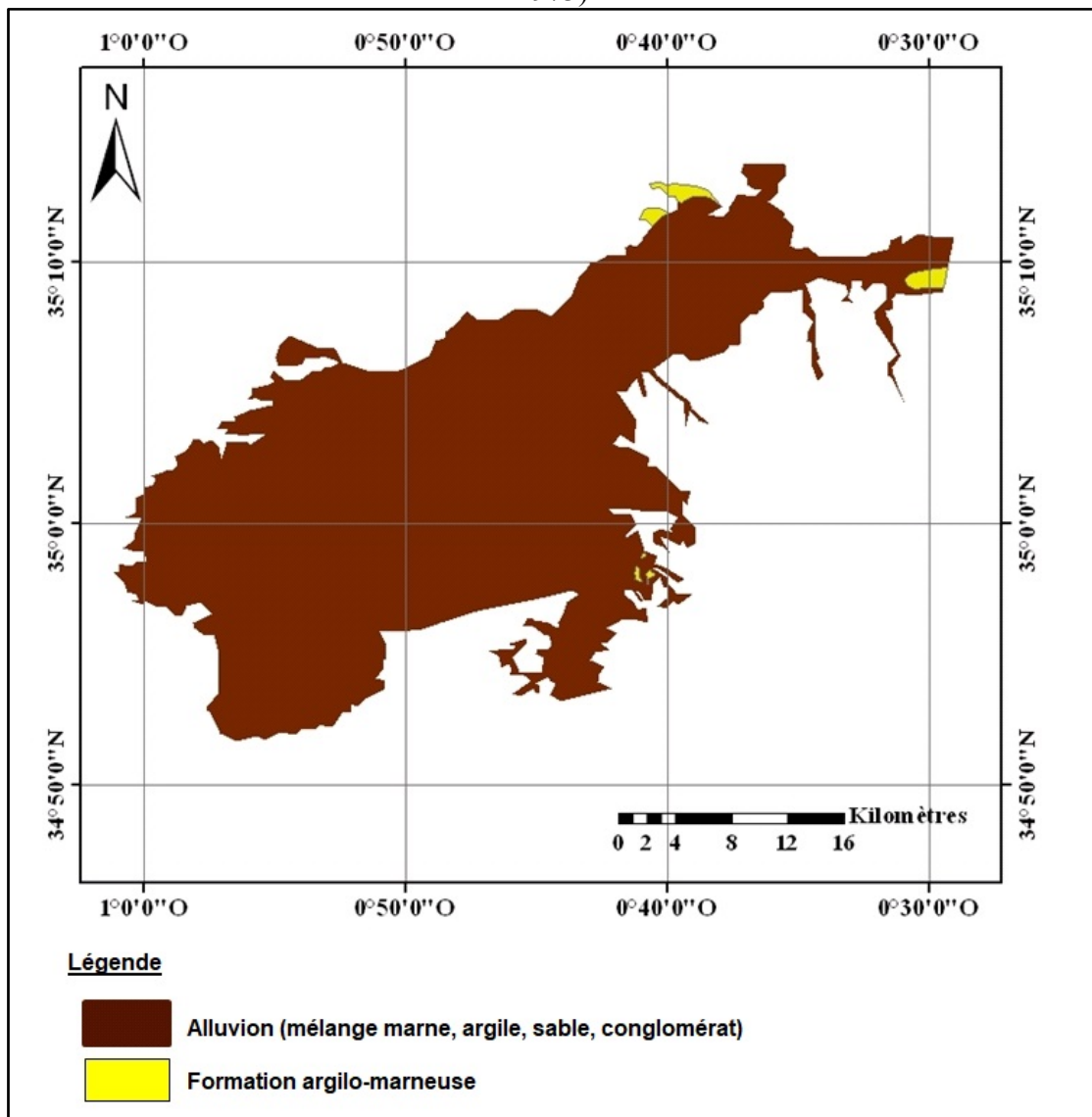


- **Paramètre milieu aquifère :** son identification a été basée sur les logs et les coupes lithologiques des forages réalisés dans la zone d'étude et la carte hydrogéologique. L'analyse de ces données illustre que le matériau aquifère de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas est constituée essentiellement des alluvions (mélange limon, marne argile sable, conglomérats), et de marne et argile. Les indices correspondant à ce paramètre ont été estimés selon la notation DRASTIC (tableau 65).

Tableau 65. Poids, cote et indice du paramètre milieu aquifère

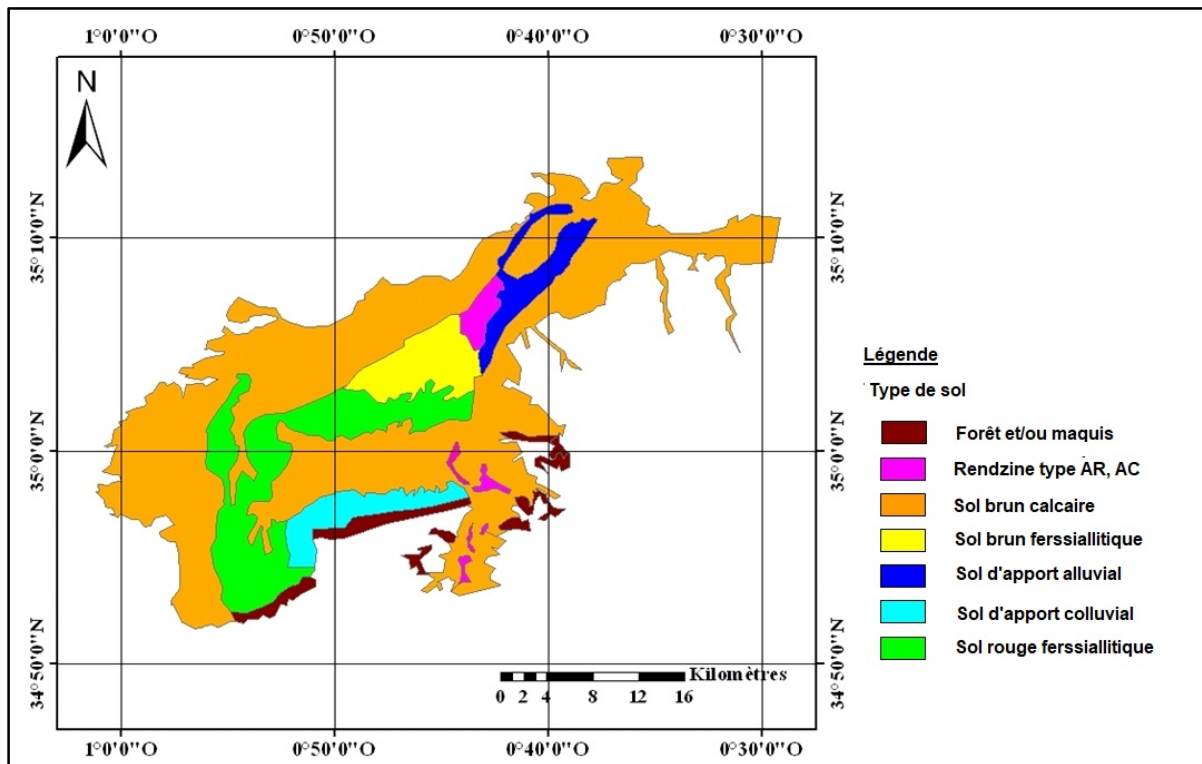
Milieu aquifère	Cote	Indice
alluvions (mélange limon, marne argile sable, conglomérat)	5	15
Formations argilo-marneuses	2	6

Carte 74. Carte du milieu aquifère de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas (carte hydrogéologique 1973)



- **Paramètre type de sol (S) :** ce paramètre est cartographié à partir de la carte pédologique de la plaine de Sidi Bel Abbas réalisée par FARAOUN et BENABDELI (2010) à l'université de Sidi Bel Abbas. La carte 75 montre la répartition spatiale des sols dans la zone de la nappe alluviale. Les types de sol sont pondérés de 1 à 10.

Carte 75. Paramètre type de sol de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas en 2010



Les sols bruns calcaires : ce type de sol domine l'espace agricole et occupe la majorité de la couverture pédologique de la plaine. Il s'agit de sols calcimorphes qui se caractérisent par l'abondance des éléments carbonatés, il est d'une texture limono-sableuse dont est de + 50 % de sables selon l'étude de GAUTHE et OUOLOGUEM (2012). En se basant sur la classification d'ALLER et al., (1987) et la texture du sol, il présente une cotation de 7.

Les sols peus évolués sont caractérisés essentiellement par la faible altération du milieu minéral et dans la majorité de cas, la faible teneur en matière organique. Ils sont de deux types, d'apport colluvial et d'apport alluvial. Les sols d'apport alluvial sont profonds atteignant parfois les 2 m de profondeur occupant le lit majeur d'oued Mekerra, ils sont formés aux dépens de matériaux apportés par l'eau, se sont des sols fertiles, d'un grand intérêt agricole, la texture est limoneuse (limon fin, limono-sableuse et limono argilo-sableuse). Selon leurs textures, les sols d'apport alluvial présentent une cotation de 7. Les sols d'apport colluvial sont formés à partir d'un matériel provenant de l'érosion, leur teneur en matière organique est importante, il s'agit de colluvium humifère de montagne. Selon leurs textures les sols d'apport colluvial présentent une cotation de 7.

Les sols rouges ferssialitiques sont riches en éléments carbonatés, formés à partir de matériaux rubéfiés, ils se caractérisent par une couleur rouge sur l'ensemble des horizons. La texture est argileuse, la structure polyédrique, et une accumulation de calcaire est observée à la base du profil. Selon cette texture, les sols rouges ferssialitiques présentent une cotation de 4.

Groupe des rendzines sont des sols calcimorphes, vive effervescence, riche en matières organiques, généralement de couleur brun foncé, avec une structure grumeleuse et des agrégats friables, une texture à dominance limono-sableuse. Ces sols présentent une cotation de 8.

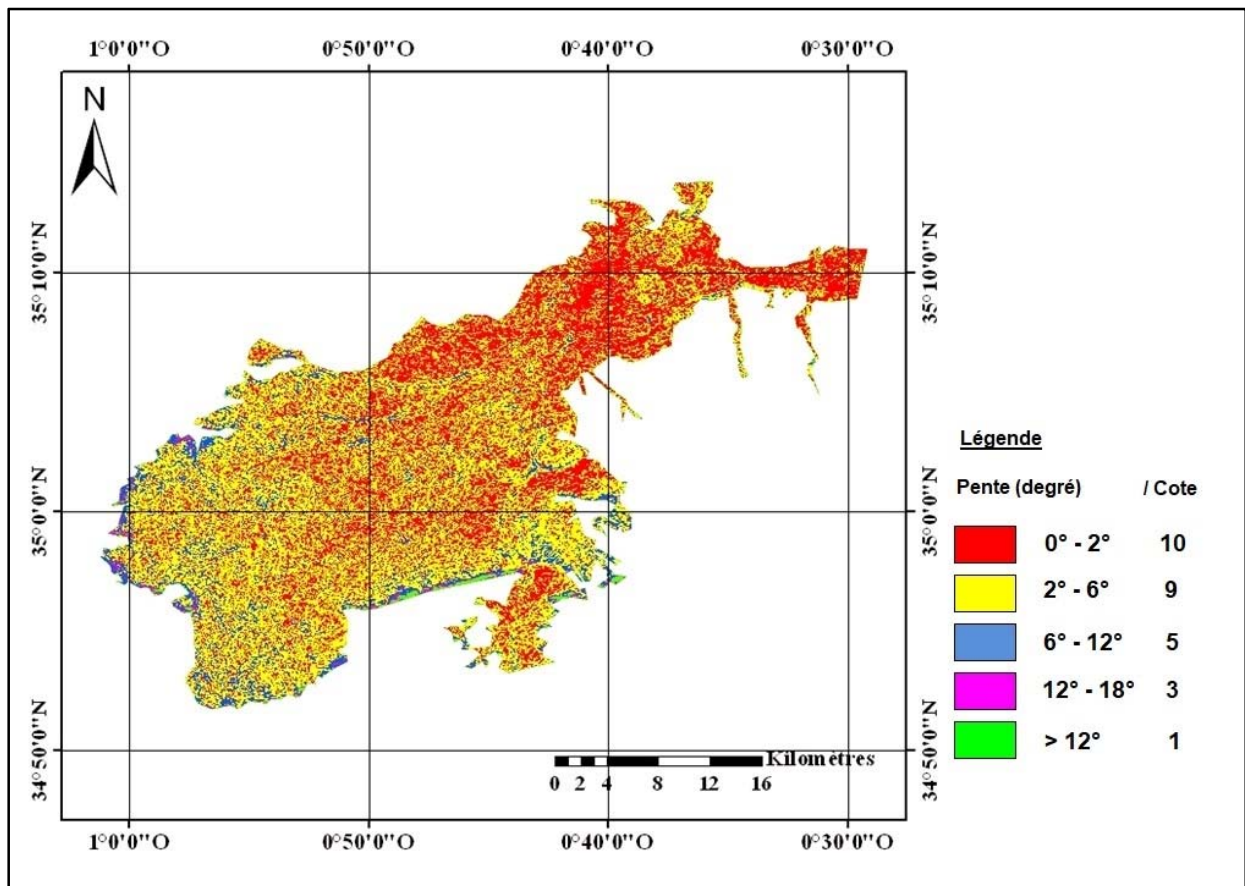
- **Paramètre pente (T)** : la variation de la pente du terrain contrôle la possibilité d'infiltration du polluant. Le modèle numérique de terrain ASTER d'une résolution de 30 m prise en 2002 a été utilisé pour calculer la pente de la nappe alluviale. Cette zone est relativement de pente faible (64.4 % de la surface est de pente moins de 3.5°) (tableau 66).

Tableau 66. Cotation des valeurs de pentes et leurs superficies dans la zone d'étude

Valeurs des pentes	Superficie Km ²	Superficie %	Cote
0° - 1°	93.11	12.1	10
1° - 3.5°	402.78	52.36	9
3.5° - 7°	213.71	27.7	5
7° - 10°	32.15	4.17	3
+ 10°	27.42	3.56	1

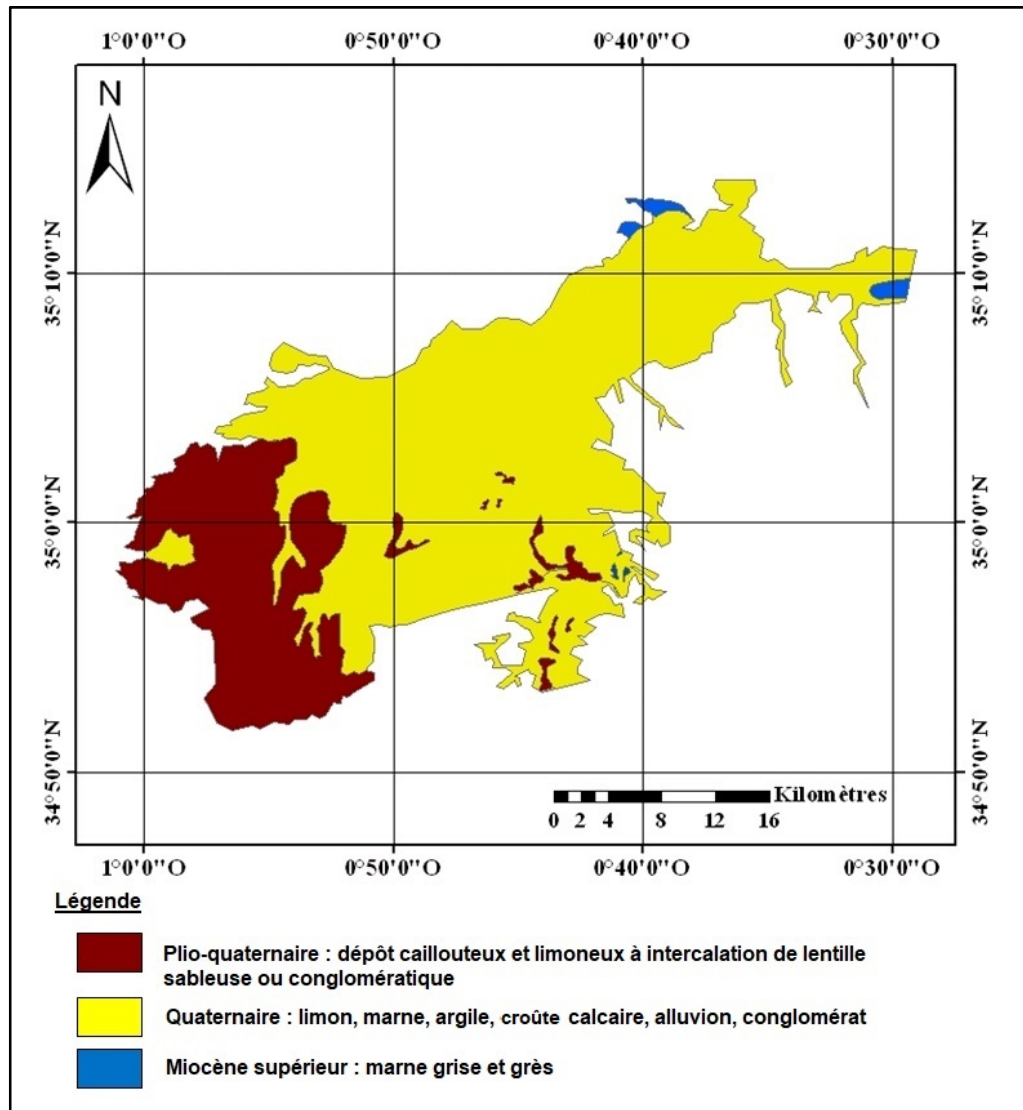
Source : LALLEMAND-BARRES (1994) et traitement personnel 2017

Carte 76. Classes des pentes dans la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas (MNT Aster 2002)



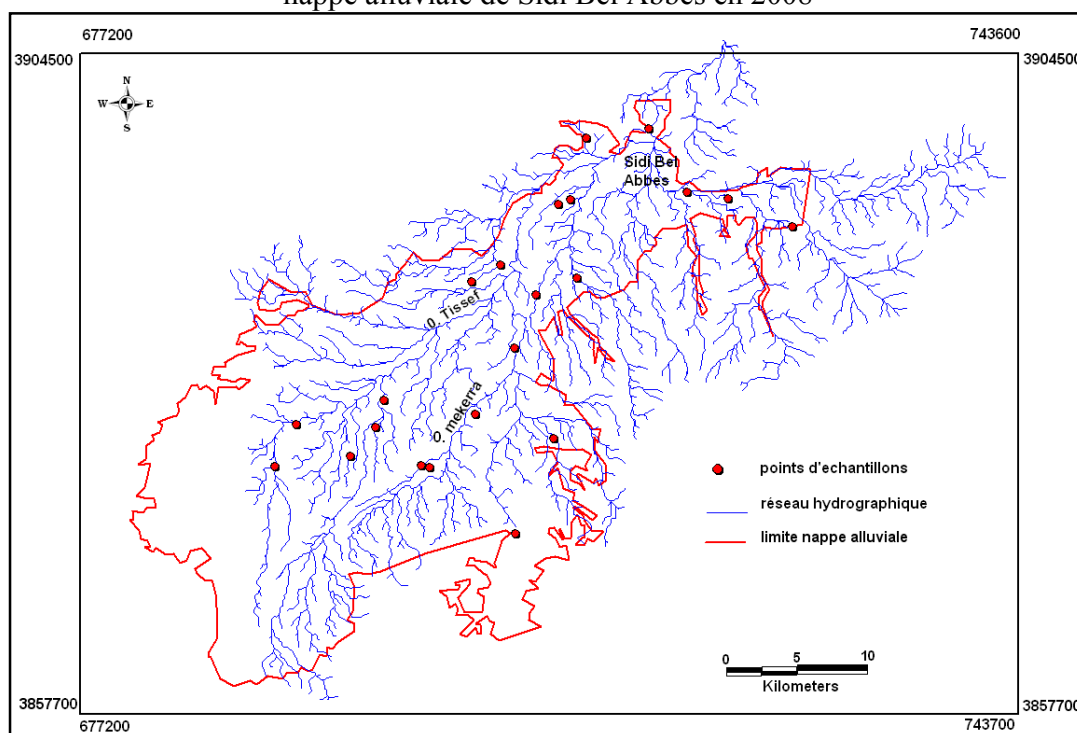
- **Paramètre impact de la zone non saturée (I) :** la carte « I » est obtenue à partir de la carte hydrogéologique (SOURISSEAU, 1973) (carte 77). Les différentes classes ainsi obtenues sont pondérées de 1 à 10 selon le modèle DRASTIC. Cette carte montre que la lithologie de la zone vadose représente des notes DRASTIC importantes (9 et 8). Ceci veut dire que cette zone est constituée de matériaux perméables, par conséquent, le risque de pollution est élevé.

Carte 77. Carte lithologique de nappe alluviale de Sidi Bel Abbas



- **Paramètre conductivité hydraulique (C) :** ce paramètre est évalué par les résultats de l'interprétation d'essais de pompages réalisés dans les forages. Nous avons basé sur les données d'YOUSFI (2008) dans le cadre du travail de thèse de magistère sur la modélisation de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas. Les échantillons des analyses sur la perméabilité sont présentés en carte 78.

Carte 78. Carte de localisation des points d'échantillons de la mesure de perméabilité dans la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas en 2008



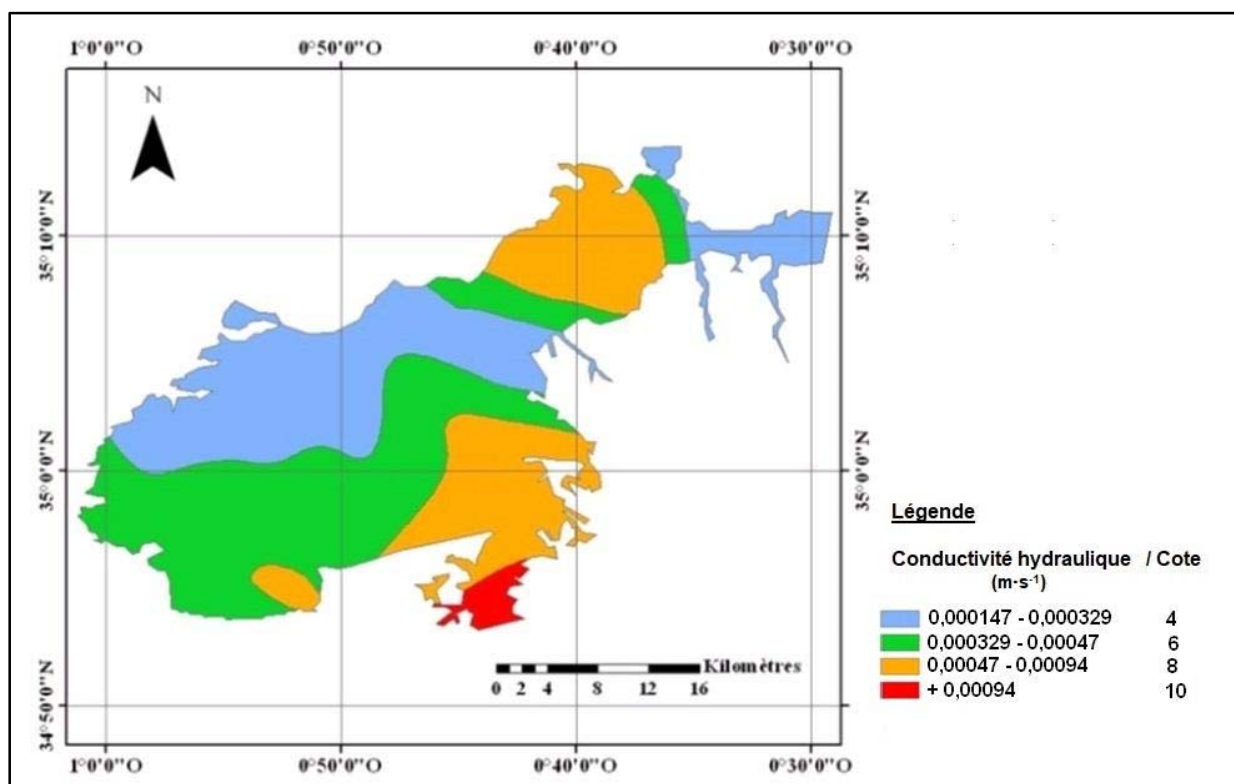
Le tableau 67 présente les différents intervalles de conductivité hydraulique en mètre par seconde (m/s) et cotes correspondant selon la méthode DRASTIC. À partir de la méthode d'interpolation IDW sous Arc Gis des valeurs de la conductivité hydraulique nous avons réalisé un modèle numérique de ce paramètre. La classification des intervalles DRASTIC permet l'établissement de la carte de conductivité hydraulique de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas (carte 79).

Tableau 67. Cotes attribuées au paramètre "conductivité hydraulique"

Conductivité hydraulique (m/s)	Cote DRASTIC	Poids	Indice
+ 0.00094	10	3	30
0.00047- 0.00094	8	3	24
0.000329 – 0.00047	6	3	18
0.000147 – 0.000329	4	3	12
0.000047 – 0.000147	2	3	6
- 0.000047	1	3	3

Source : ALLER et al., 1987

Carte 79. Répartition spatiale de la conductivité hydraulique de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas en 2008



L'élaboration de la carte de vulnérabilité s'est effectuée par le calcul de l'indice de vulnérabilité (DRASTIC) qui intègre les 7 paramètres.

$$ID = Dc \times Dp + Rc \times Rp + Ac \times Ap + Sc \times Sp + Tc \times Tp + Ic \times Ip + Cc \times Cp$$

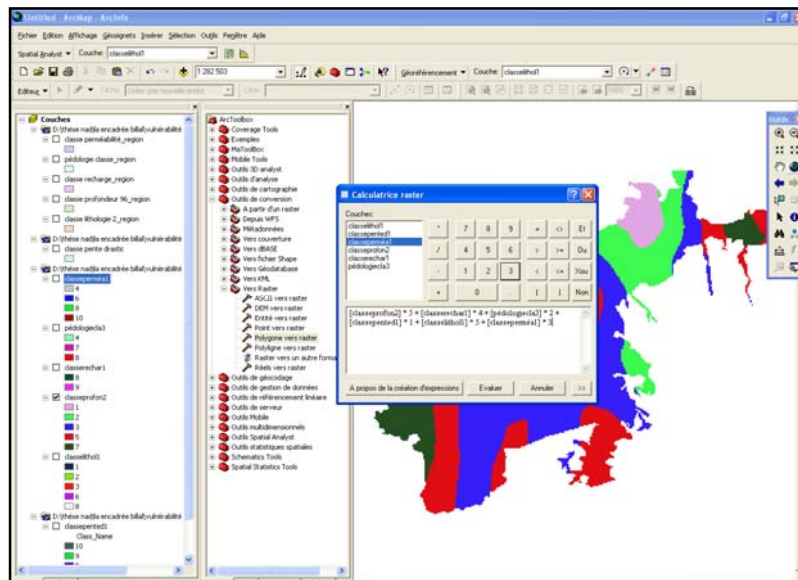
c et p: représentent respectivement le poids et la note attribués à chaque paramètre DRASTIC. Dans ce cas, l'indice DRASTIC résulte de la somme pondérée des indices partiels correspondant à chaque paramètre. Il représente la mesure du niveau de risque de contamination, le risque augmente avec la valeur de l'indice (ALLER et al., 1987). Il prend une valeur maximale de 167 (100 %), une valeur minimale de 85 (0 %) (carte 81). L'application de la classification d'ENGEL et al., (1996) (tableau 68) a permis d'obtenir trois classes de vulnérabilité, faible, moyenne et élevée.

Tableau 68. Classification de l'indice DRASTIC et les degrés de la vulnérabilité

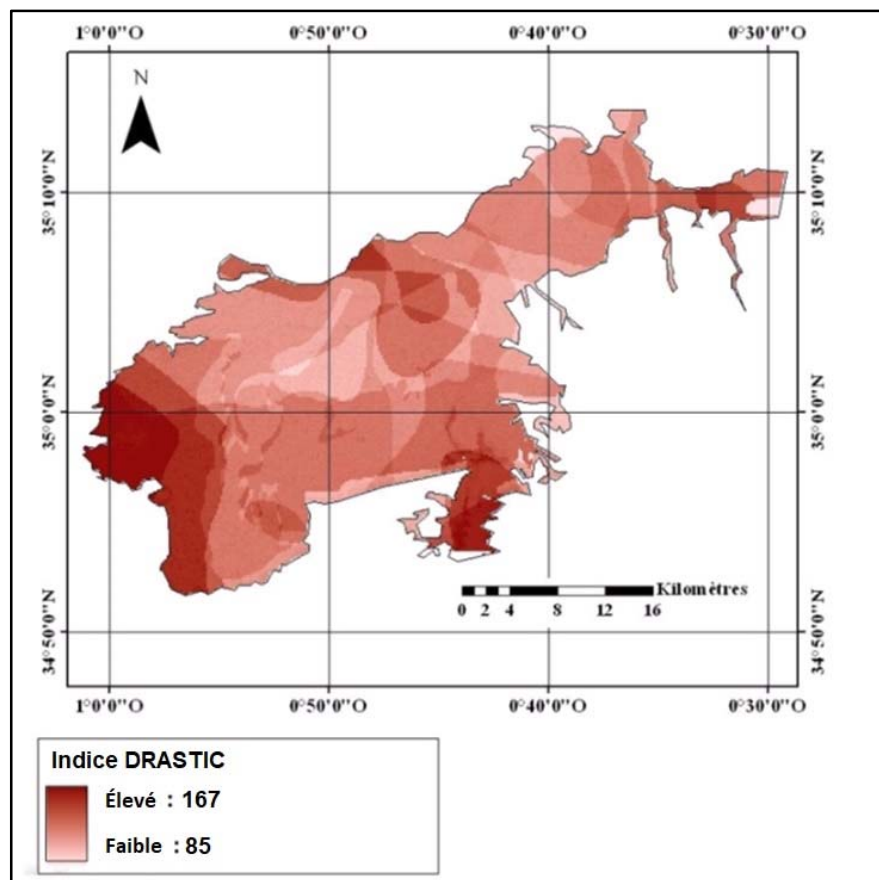
Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Faible	< 101
Moyen	101 – 140
Elevé	140 – 200
Très élevé	> 200

Source : ENGEL et al., 1987

Figure 58. Méthode de croisement des données sous Arc Gis par raster mathématique



Carte 80. Carte de l'indice DRASTIC de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas à la pollution en 2017



Carte 81. Carte de vulnérabilité DRASTIC en 2017 (classification d'ENGEL et al., 1996)

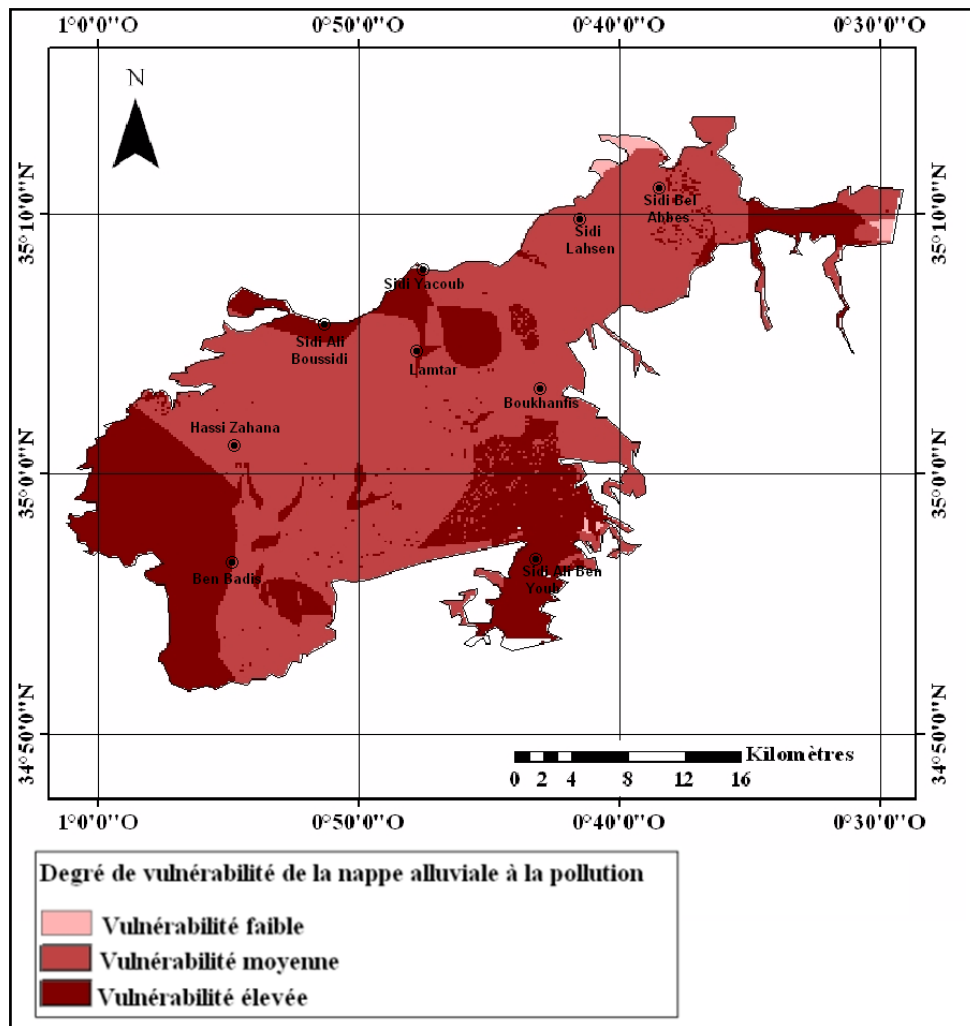


Tableau 69. Superficies des degrés de la vulnérabilité de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès

Valeur Id	Degré de vulnérabilité	Superficie %
< 101	Faible	0.71
101 – Id - 140	Moyen	64.84
140 – Id - 200	élevé	34.44

Source : traitement personnel, 2017

Trois degrés de vulnérabilité sont mis en évidence sur la carte de la vulnérabilité (carte 81), il s'agit de :

1. **Classe de faible vulnérabilité**, elle occupe une faible superficie (**0.71 %**), expliquée par l'imperméabilité des formations lithologiques et la forte profondeur de la nappe.
2. **Classe de moyenne vulnérabilité**, elle occupe **64.84 %** de la superficie. Le degré moyen est lié à des profondeurs moyennes de l'aquifère (15 et 30m), à la nature lithologique

perméable, la moyenne vulnérabilité est localisée au niveau de la cuvette de Sidi Bel Abbès, Lamtar, Hassi Zahana, Boukhanefis. La classe moyenne appartient à une catégorie de protection hydrogéologique incertaine des eaux souterraines.

3. **Classe de vulnérabilité élevée**, au niveau du Sud-ouest de la nappe, représente **34.44%** de la superficie. Ce degré est lié à la faible profondeur de la nappe (4.5 à 15 m) et la perméabilité des formations avec une pente faible. Ces zones nécessitent une attention particulière dans les futures décisions d'utilisation des terres. Dans cette classe, les pratiques actuelles de cultures influent grandement sur la qualité des eaux. Les décharges publiques de Ben Badis et Sidi Ali Ben Youb se trouvent dans des sites de forte vulnérabilité qui conduisent à des conséquences néfastes sur la qualité des eaux souterraines.

Les résultats obtenus par la carte de la vulnérabilité montrent que les eaux souterraines de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès ont une protection hydrogéologique incertaine. Dans ce cas un suivi analytique régulier s'avère nécessaire ainsi que des contrôles des activités qui sont menées en surface. La stagnation et l'infiltration des eaux usées industrielles et urbaines non traitées déversées directement dans l'oued Mekerra constituent un facteur aggravant de la pollution chimique et bactériologique des eaux souterraines. Actuellement, la nappe est très chargée en nitrates.

Pour la validation de nos résultats, nous avons basé sur la qualité des eaux. Plusieurs auteurs (ANANI (2006) ; MOHAMED (2001) ; ISABEL et al., (1990); HAMZA et al., (2007) ; DIBI et al., (2007) ; SBARGOUD (2013) ; SCHNEBELEN et al., (2001)) ont vérifié la validité de la méthode DRASTIC en se basant sur les données chimiques des eaux souterraines. Les analyses physico-chimiques des deux stations de surveillance des eaux souterraines (ANRH) réalisées en mois de mai 2015, un forage au niveau de la zone de Sidi Lahcen, zone de forte vulnérabilité à la pollution et d'une faible profondeur, indique des teneurs très élevées en NO₃ (118 mg/l) et importantes en SO₄ (291 mg/l), un résidu sec de 1888 mg/l, dans ce cas, les eaux souterraines de cette zone sont de très mauvaise qualité. Un autre forage analysé au niveau de la zone de Caid Belarbi (Est de la nappe) zone de moyenne vulnérabilité à la pollution indique des teneurs moyennes en NO₃ (30 mg/l) et 34 mg/l de SO₄. Les analyses de la source d'Ain Skhona à Sidi Ali Ben Youb en février 2016, une zone de forte vulnérabilité, donnent des valeurs de 26 mg/l en NO₃, 0.39 mg/l de NH₄, 710 mg/l de résidu sec. Généralement, toutes ces valeurs indiquées peuvent valider les résultats obtenus par l'application de la méthode DRASTIC.

La pollution des eaux souterraines au niveau de la zone de Sidi Lahcen est due essentiellement à l'origine agricole. La libéralisation du secteur agricole a facilité aux agriculteurs l'utilisation de produits chimiques de traitement des cultures (engrais et produits phytosanitaires), afin d'augmenter leur production, notamment les incitations financières introduites par les programmes nationaux de développement agricole (PNDA), mis en œuvre par l'État. Les objectifs du PNDA convergent principalement vers la restructuration du territoire agricole et le développement qualitatif et quantitatif de la production par la relance de l'investissement agricole. L'infiltration et

la stagnation des eaux usées déversées directement dans l'oued Mekerra constituent un facteur aggravant de pollution chimique et bactériologique et eaux souterraines. Actuellement, la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas, présente des eaux chargées de nitrates, à la limite de la potabilité.

1.4. Cas de la nappe alluviale d'Hennaya : une moyenne vulnérabilité à la pollution

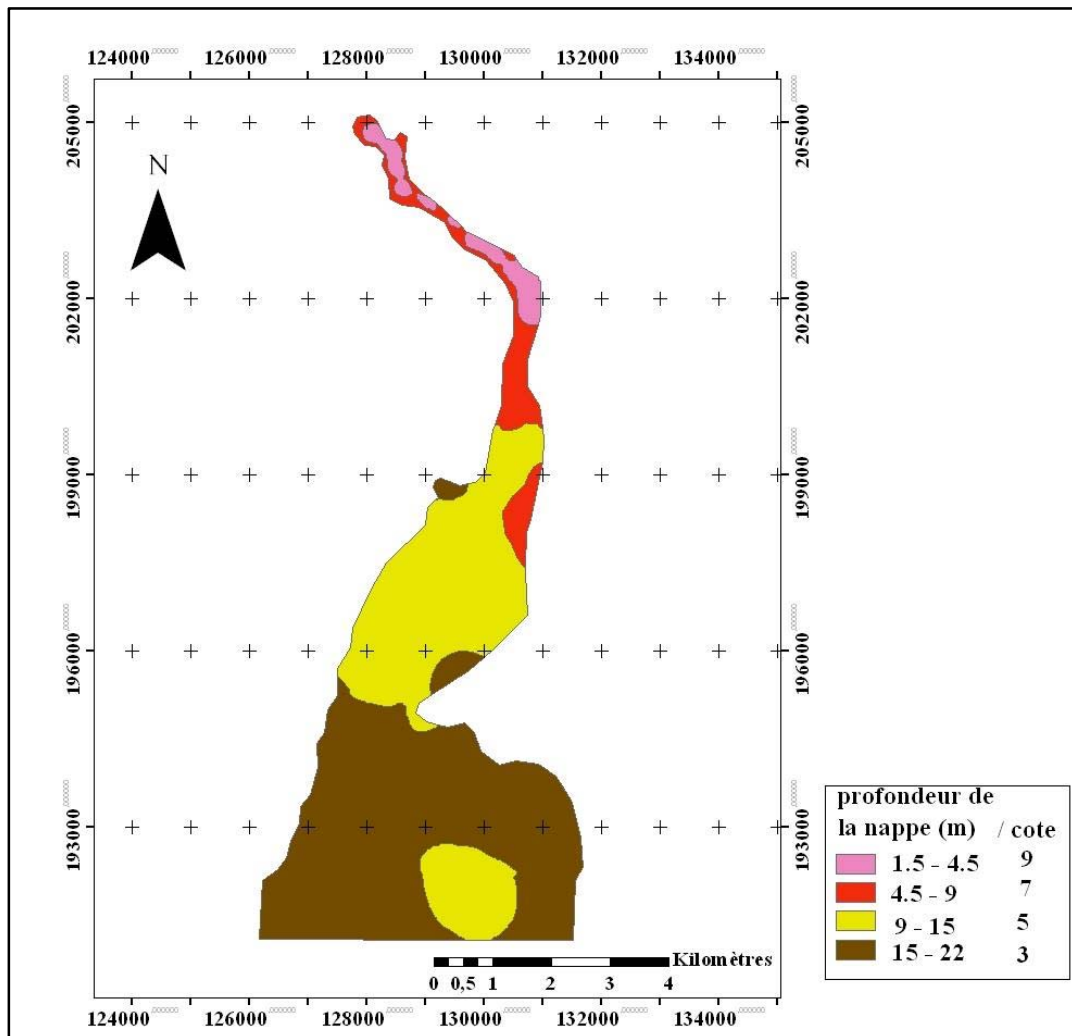
La plaine d'Hennaya renferme une nappe alluvionnaire d'une capacité d'environ 22 millions m³ avec une épaisseur importante dans la partie centrale et beaucoup plus faible en allant vers le Nord (Direction d'hydraulique de Tlemcen, 2016), ces eaux souterraines sont d'un apport stratégique, représentent la source importante pour l'irrigation des terrains agricoles de la plaine d'Hennaya, elles doivent être protégées contre les sources de pollution.

La nappe d'Hennaya est d'une superficie environ 60.2 Km², située à une dizaine de kilomètres au Nord de la ville de Tlemcen. Elle fait partie du bassin versant d'oued Sikkak. La nappe est divisée en deux horizons, l'horizon aquifère tortonien, il est libre, alimenté par les eaux de ruissellement. Un autre horizon est l'aquifère alluvial (BEMMOUSSAT, 2012). La partie centrale de la nappe est très polluée par les nitrates dépassant 90 mg/l selon les analyses effectuées en 02 octobre 2011 par l'ANRH sur 8 analyses, ces fortes concentrations présentent un bon indicateur de pollution azotée des eaux souterraines, leurs origines est l'utilisation des engrais et le déversement des eaux usées.

Le traitement d'une eau souterraine contaminée est très coûteux. À cet effet, la prévention est le seul moyen de lutte contre la pollution des eaux. La réalisation des périmètres de protection des ressources en eau constituée un outil de prévention très efficace. Cette dernière passe par la réalisation de la carte de vulnérabilité, pour cela, nous avons utilisé la méthode DRASTIC. Suite au manque de données pédologiques de la nappe, nous n'avons pas utilisé le paramètre « S ». Pour chacun des six paramètres DRASTIC, une carte thématique a été réalisée.

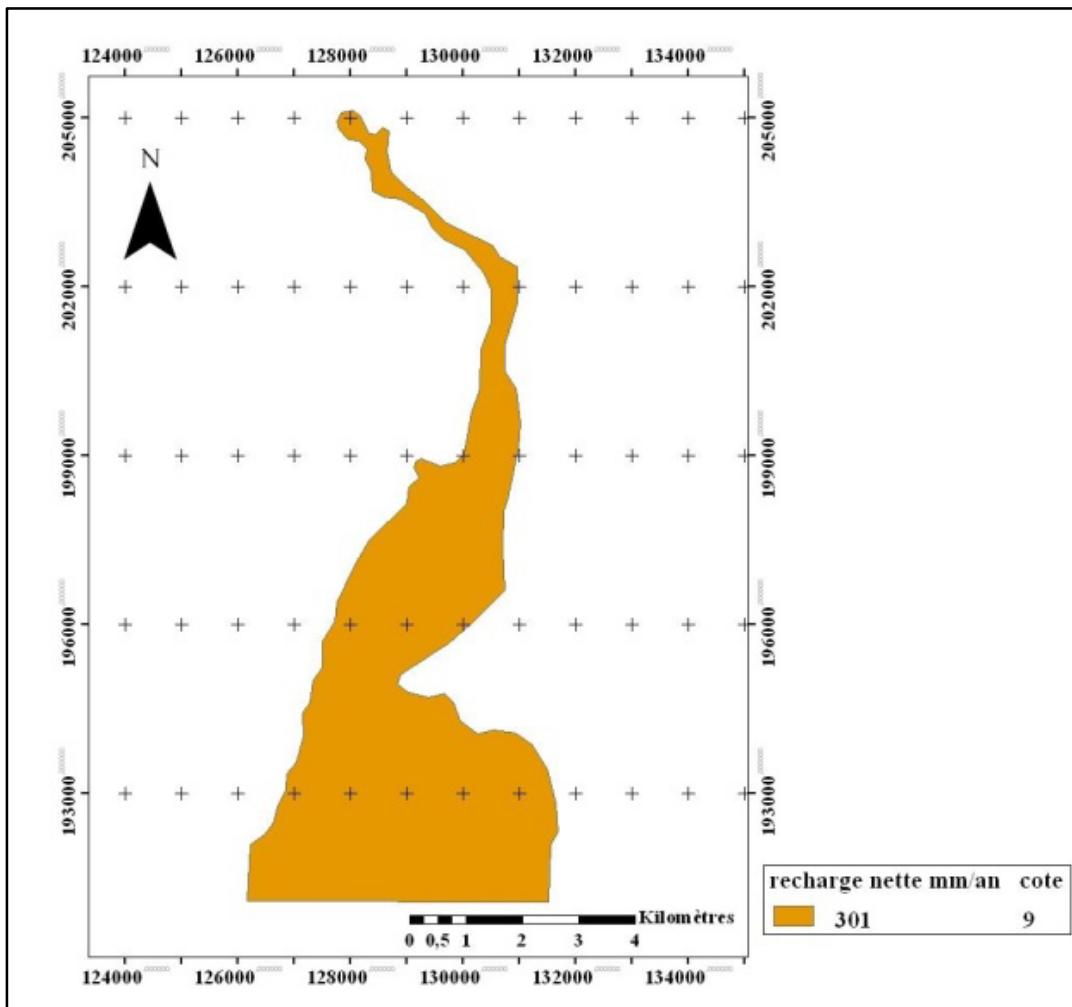
- **Le paramètre profondeur de la nappe (D) :** l'évaluation de ce paramètre a été faite sur la base des plus récente mesure piézométrique, effectuées en juin 2011. La carte des profondeurs de la nappe a été établie à partir de l'interpolation IDW des mesures de profondeurs de 64 puits en période moyenne eau (juin). On remarque que la profondeur du niveau d'eau de la nappe décroît à mesure que l'on avance vers le Nord. Ces mesures montrent que le niveau de la profondeur varie de 24 m au Sud de la plaine et 1 à 9 m au Nord et le centre de la plaine (carte 82).

Carte 82. Paramètre profondeur de la nappe d'Hennaya en juin 2011



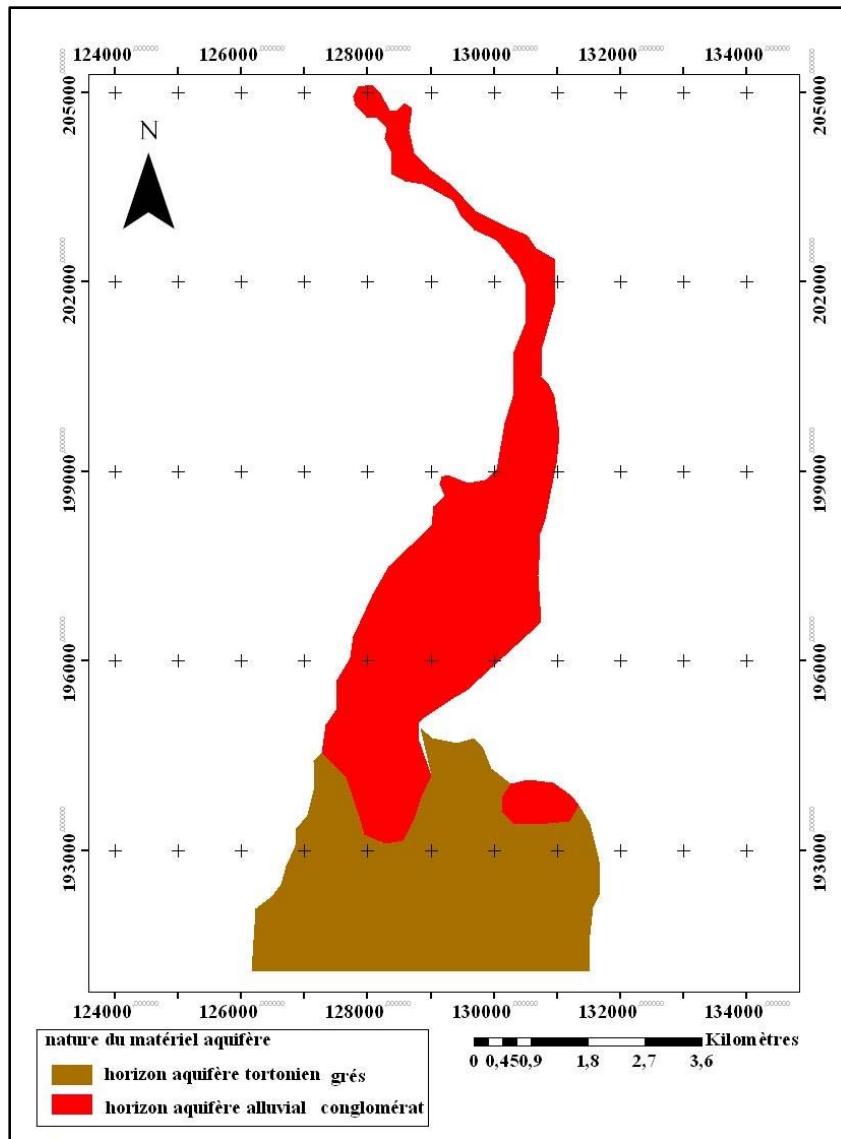
- **Le paramètre recharge nette (R)** : pour l'estimation de ce paramètre, nous avons utilisé les résultats de bilan hydrique de la station météorologique de Zenata, réalisé en premier chapitre de la thèse. La méthode du bilan hydrique dépend de l'infiltration efficace, de l'évapotranspiration réelle en mm / an, de la pluviosité moyenne annuelle et de ruissellement moyen annuel. La recharge nette de la station de Zenata est de 301 mm/an, ceci donne une cotation numérique de 9 (carte 83).

Carte 83. Carte du paramètre (R), la recharge nette de la nappe d'Hennaya (moyenne 1987 - 2012)



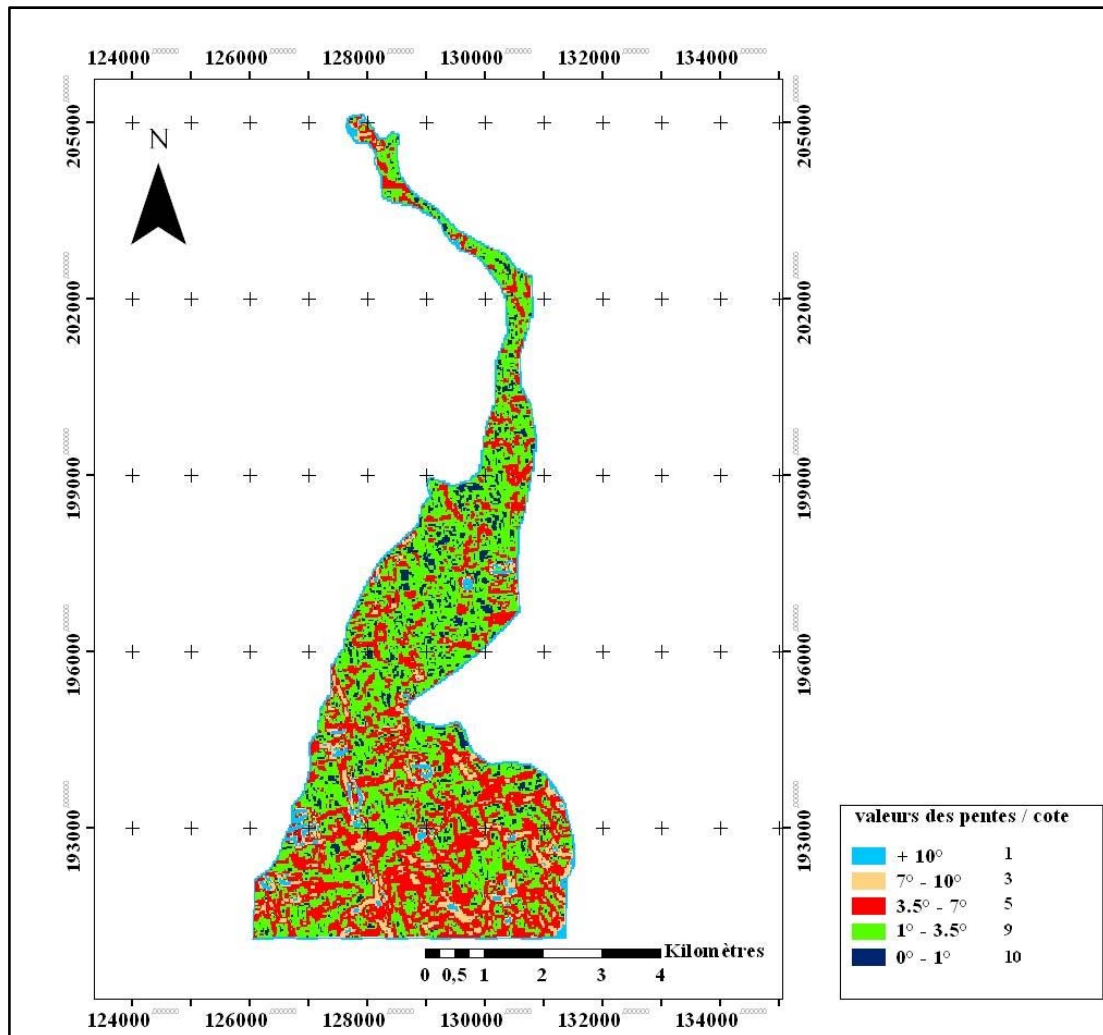
- **Le paramètre nature du matériel aquifère (A) :** l'étude hydrogéologique et hydrodynamique de l'aquifère a été réalisée à partir des données de sondages de reconnaissance des puits existants, des essais par pompage et aussi par des coupes géologiques, en se basant sur l'étude de BEMMOUSSAT (2012) et d'après les études de TECHNOEXPORTSTROY (1969). Les horizons aquifères de la région sont les grès tortoniens et les sédiments quaternaires. Horizon aquifère tortonien situé au Sud de la plaine, il est inexistant en allant vers le Nord. L'aquifère est occupé exclusivement par des grès. L'horizon est libre et alimenté par les eaux de ruissellement, cette partie de l'aquifère prend la cote 6 selon l'indice DRASTIC. Horizon aquifère alluvial, les conglomérats représentent la couche la plus importante de l'aquifère formant avec les travertins, graviers et graviers argileux, un complexe aquifère commun. L'épaisseur des conglomérats décroît en allant vers le Nord, cette partie de l'aquifère prend la cote 8 (carte 84).

Carte 84. Le paramètre "Nature du matériel aquifère (A) de la nappe d'Hennaya



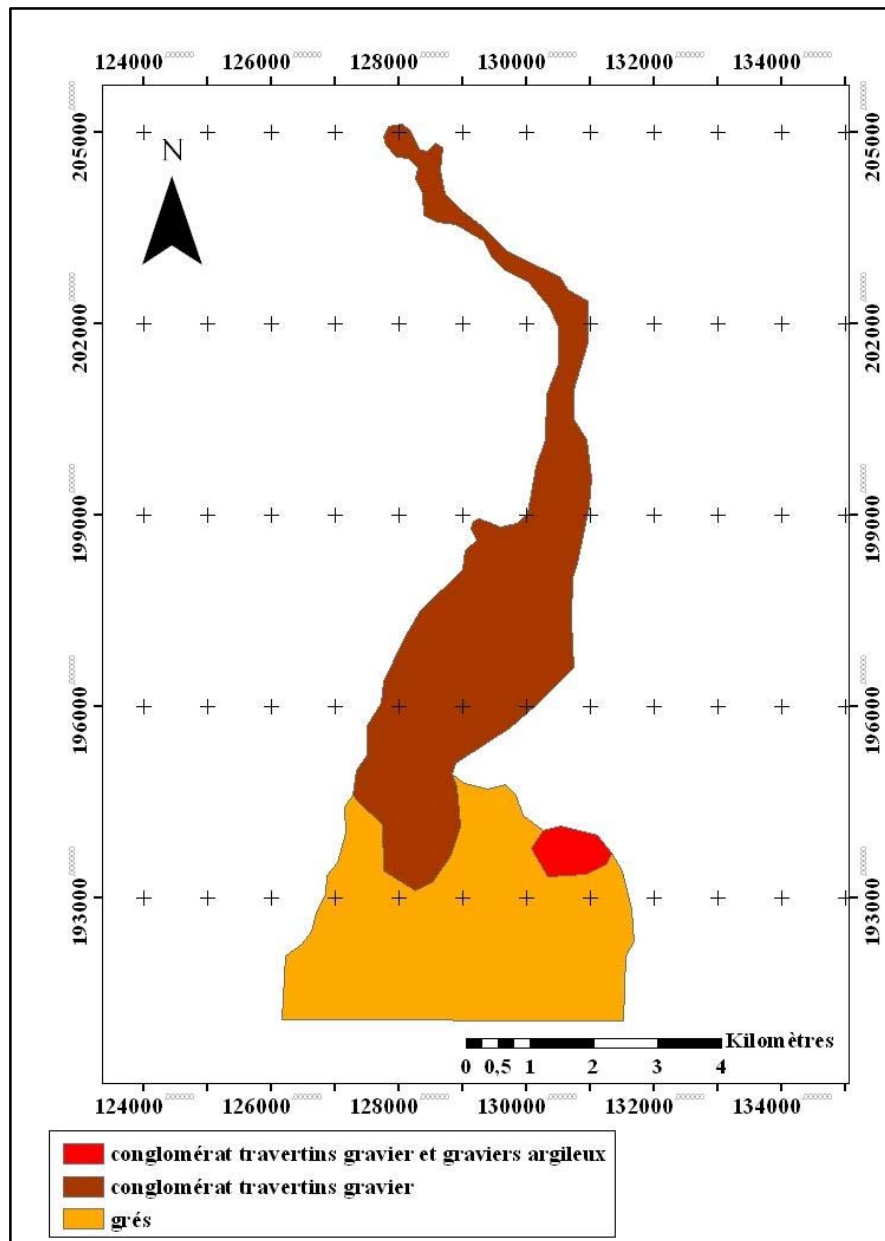
- **Le paramètre topographie (T) :** La carte des pentes a été réalisée à partir d'un modèle numérique de terrain ASTER, les pentes de la plaine d'Hennaya sont faibles en majorité entre 1° à 7° dont la cote de l'indice DRATIC est de 9 et 5 dans le pré de la totalité de la plaine (carte 85).

Carte 85. Carte des pentes dans la plaine d'Hennaya à partir d'un MNT Aster 2002



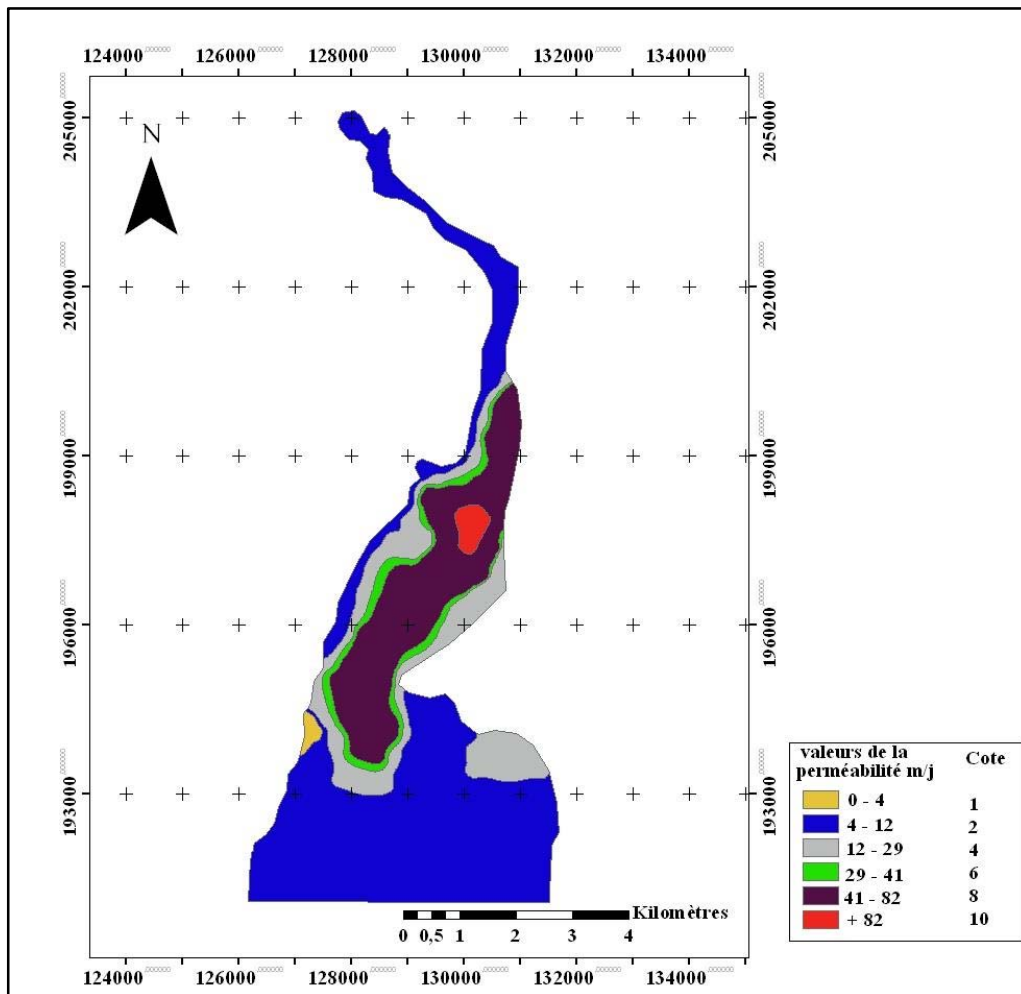
- **Le paramètre zone non saturée (I)** Le rôle de la zone non saturée est très important dans la méthode DRASTIC, étant donné qu'on considère que la nature et l'épaisseur de la zone située au-dessus du niveau piézométrique, contrôlent de façon notable, la vulnérabilité à la pollution des réservoirs. La carte de ce paramètre (carte 86) présente la même configuration que celle relative à la "nature du matériel aquifère". Elle montre l'existence de deux domaines de vulnérabilité, le Nord constituée essentiellement de conglomérats et graviers perméables, favorisent l'infiltration des substances polluantes, qui seraient éventuellement déversées en surface. Il est affecté d'un indice de vulnérabilité très élevé, une cote de 8. Des formations semi-perméables des grès affectées d'un indice de vulnérabilité moyen cote de 6.

Carte 86. Carte du paramètre I (zone non saturée)



- **Le paramètre conductivité hydraulique(C)** : la détermination des caractéristiques hydrodynamiques a été effectuée sur la base des données des essais de pompage réalisés par le bureau d'études TECHNOEXPORTSTROY (1969). On remarque que la perméabilité est plus importante au centre de la nappe, dans les conglomérats et plus faible au Sud dans les grès, dépasse 29 m/j (carte 87).

Carte 87. Carte du paramètre C (conductivité hydraulique) en 1969



L'indice de vulnérabilité DRATIC (ID) qui présente les 6 paramètres de DRASTIC est calculé par la somme des produits des poids pondérés par la cote correspondante. La gamme des poids et des cotes paramétriques, décrites précédemment, ont des valeurs minimales et maximales respectives de 103 (0 %) et 175 (100 %). Le calcul des pourcentages de vulnérabilité à l'aide de la méthode du FAO a permis d'obtenir une classification de trois degrés de vulnérabilité : faible, moyen, élevé.

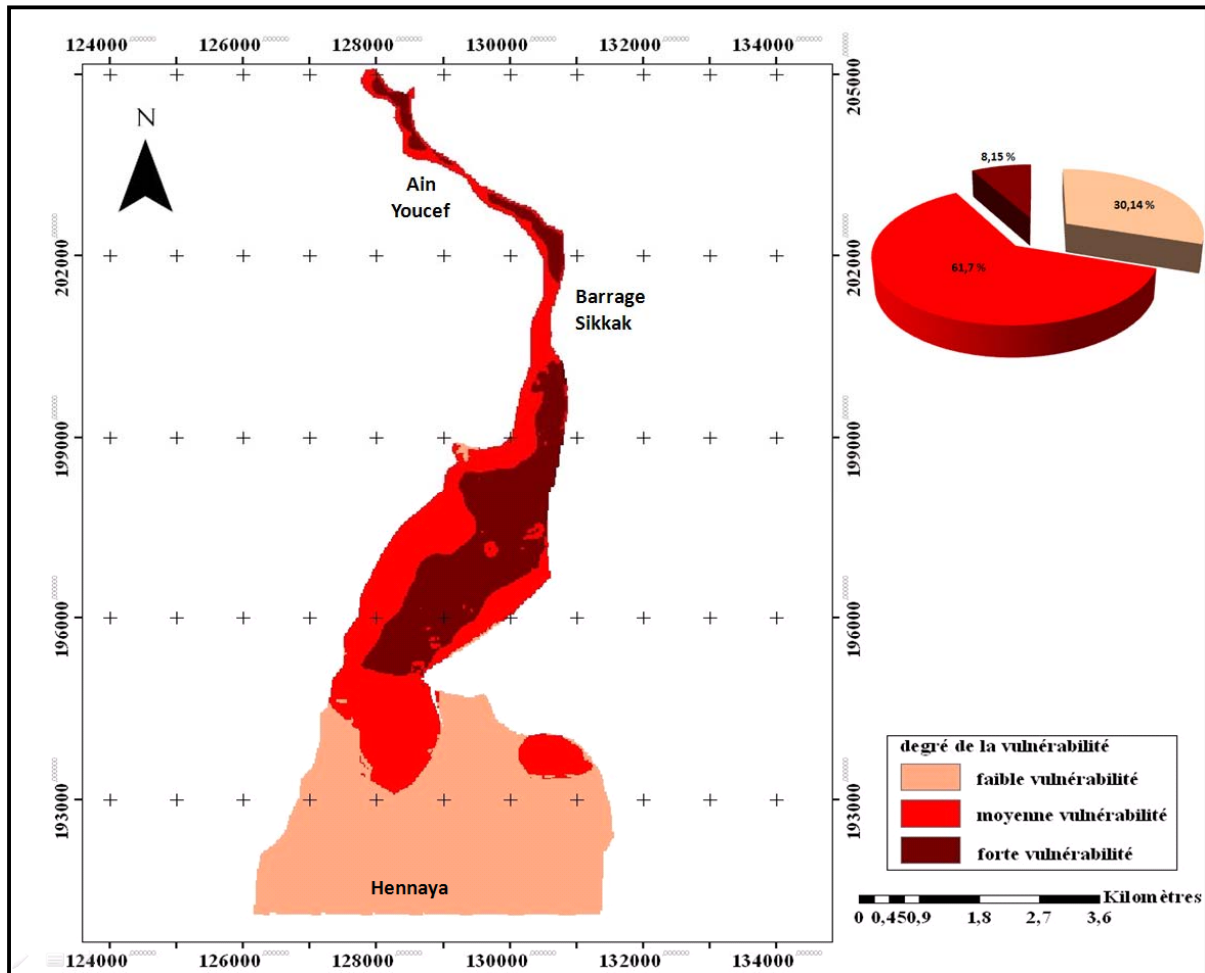
Tableau 70. Superficies et pourcentages des degrés de vulnérabilité à la pollution dans la nappe d'Hennaya

Valeur de l'indice DRATIC (ID)	Niveau de vulnérabilité	ID %	Superficie %
103 - 128	Faible	35	30.14
128 - 153	Moyen	35 - 75	61.7
153 - 175	Fort	75 - 100	8.15

Source : traitement personnel, 2017

L'analyse de la carte de vulnérabilité (carte 88) et selon le tableau 70, nous pouvons distinguer que la zone de moyenne vulnérabilité couvre une bonne partie de la nappe, soit **61.7 %** de la surface totale de la nappe.

Carte 88. Carte de la vulnérabilité de la nappe d'Hennaya à la pollution en 2017



La carte finale montre une vulnérabilité forte couvre **8.15 %** de la superficie totale de la nappe, une vulnérabilité moyenne de **61.7 %** dans la partie centrale et une vulnérabilité faible couvre **30.14 %** dans la partie Sud de la nappe. La partie centrale de la nappe est une zone de protection, il est important de protéger cette partie, car elle peut être facilement contaminée par les rejets des eaux usées et par l'utilisation intensive des engrais. Les analyses d'un puits Ain Wahab localisé dans la zone de forte vulnérabilité réalisées par l'ANRH en 2011, montrent un taux élevé de nitrate **108 mg/l**, c'est un bon indicateur de la pollution organique des eaux souterraines.

Malgré les difficultés soulevées dans l'élaboration des cartes de vulnérabilité à la pollution par la méthode DRASTIC, n'alertes en rien sa fiabilité, elle permet toujours de se faire une idée assez précise sur les zones vulnérables d'une zone donnée en vue de prendre les dispositions de protection nécessaires.

La qualité des eaux souterraines ne cesse de se dégrader. Pour remédier à cela, des mesures urgentes doivent être prises suite à la cartographie de la vulnérabilité de la nappe à la pollution à savoir :

- Arrêter le déversement direct des rejets industriels au niveau des oueds.
- Éviter l'installation des zones industrielles sur des sites à forte vulnérabilité et de s'orienter plus vers les zones à faible vulnérabilité.
- Réaliser un traitement préalable des rejets avant qu'ils n'atteignent les oueds et surveiller en permanence la qualité des eaux au niveau de l'oued.
- Pour le stockage des produits industriels, il est conseillé de les mettre sur des sites imperméables (terrains argileux), ou d'installer un système des couches isolantes entre les produits et la nappe.
- Éviter l'implantation des ouvrages d'AEP au niveau des berges des oueds, car cela produirait un abaissement du niveau piézométrique dans l'ouvrage et un écoulement des eaux de l'oued vers la nappe, ce qui amènerait une modification de la qualité des eaux de la nappe.
- L'occupation des sols peut se faire à la limite dans les zones à faible et moyen risque, mais doit être régie de manière à préserver les zones de risque de pollution des eaux souterraines.
- La mise en place de périmètres de protection n'est pas suffisante pour assurer une protection efficace, elle doit être complétée par la construction de stations de traitement des effluents.

« L'aménagement de la ressource en eau et le développement économique et social ne peuvent être considérés séparément. Cela est un des éléments indispensables pour qu'un plan d'aménagement soit réaliste et puisse être appliqué. Cela est aussi nécessaire pour répondre à un objectif de développement durable donc l'aménagement de la ressource en eau doit en effet intégrer le développement social et économique de la zone considérée » (BOUCENNA, 2009).

IV. Plan de protection les ressources en eaux de surface : une meilleure gestion des eaux usées

La protection des eaux de surface, une composante importante de la gestion des eaux, consiste à empêcher les contaminants d'atteindre les sources d'eau en utilisant diverses mesures de gestion. La protection de l'eau à la source est une étape importante pour prévenir les maladies humaines et la dégradation des écosystèmes. Il est beaucoup moins coûteux de protéger une source d'eau contre la contamination que de la restaurer après une contamination.

La qualité des ressources en eaux dans la zone d'étude est très dégradée suite aux activités humaines qui engendrent un risque pour l'homme et l'environnement. Les activités agricoles peuvent introduire des pesticides et des nutriments dans les sources d'eau. Les activités industrielles et domestiques introduisent également des risques de pollution organiques métalliques et toxiques des sources d'eau, comme l'évacuation des eaux usées de toute nature. Les décharges anarchiques et sauvages, le rejet des lixiviats des centres d'enfouissement techniques, peuvent aussi contribuer à la dégradation de la qualité de l'eau. C'est une situation dramatique de dégradation des ressources en eaux de surface dans cette zone. Il devint urgent de penser à un plan de protection des ressources en eaux.

Dans ce contexte, nous allons identifier les facteurs liés à l'activité humaine qui contribuent à la pollution des eaux de surface (pollution par des sources ponctuelles et pollution par des sources diffuses). La pollution de source ponctuelle présente les rejets d'effluents, une décharge, etc. Cette pollution pénètre dans l'environnement à partir d'un lieu spécifique d'une source identifiable. La pollution de source diffuse est une forme de pollution qui ne peut pas être identifiée, comme les écoulements provenant d'installations d'activités récréatives, de routes ou autres écoulements urbains, la pollution agricole. Cette pollution est plus difficile à repérer et il s'agit d'un problème beaucoup plus compliqué à contrôler. Elle provient de différents secteurs. Il est impossible de pointer du doigt précisément ces sources de pollution. Ces sources résultent habituellement de l'écoulement d'eau sur des terres qui ramassent des polluants naturels et issus de l'activité humaine et les déposent dans les eaux de surface. Les eaux de ruissellement peuvent contenir de l'essence, des graisses, des engrais, des pesticides, des bactéries et des nutriments provenant du bétail et du fumier.

Pour la protection des ressources en eaux de surface, il est nécessaire d'effectuer une évaluation des risques, après cette dernière, il est possible de procéder à la mise au point d'un plan de gestion des risques visant à réduire l'ensemble des risques importants jusqu'à un niveau acceptable.

1. Traitement des eaux usées : des solutions pour diminuer la pollution par les eaux usées et par communes dans la zone d'étude

Le traitement des eaux usées a pour but de les dépolluer suffisamment pour qu'elles n'altèrent pas la qualité du milieu naturel dans lequel elles seront finalement rejetées. Selon l'analyse de la gestion actuelle en matière de traitement des eaux usées dans la zone d'étude, nous avons remarqué un retard considérable dans ce domaine, ce qui conduit à une forte pollution des ressources en eaux de surface. La nécessité de l'installation des stations d'épuration pour chaque point de rejets est devenue une priorité dans la gestion des eaux usées.

Dans ce cadre, l'élaboration d'un programme de réalisation des infrastructures d'épuration permettra de préserver la qualité de cette ressource limitée. Ce programme devra devenir l'une des priorités de la gestion durable des ressources hydriques. Ainsi, l'exigence de la réhabilitation et le meilleur fonctionnement des stations existantes permettant d'améliorer la qualité des cours d'eau et diminuer leur degré de pollution. Le traitement des eaux usées sont primordiaux pour préserver un environnement sain. Les eaux usées ont de multiples sources : il peut s'agir d'eaux usées urbaines comme d'eaux usées industrielles, en passant par des eaux de ruissellement. Quelle qu'en soit la source, ces eaux usées doivent être traitées avant d'être rejetées au milieu naturel.

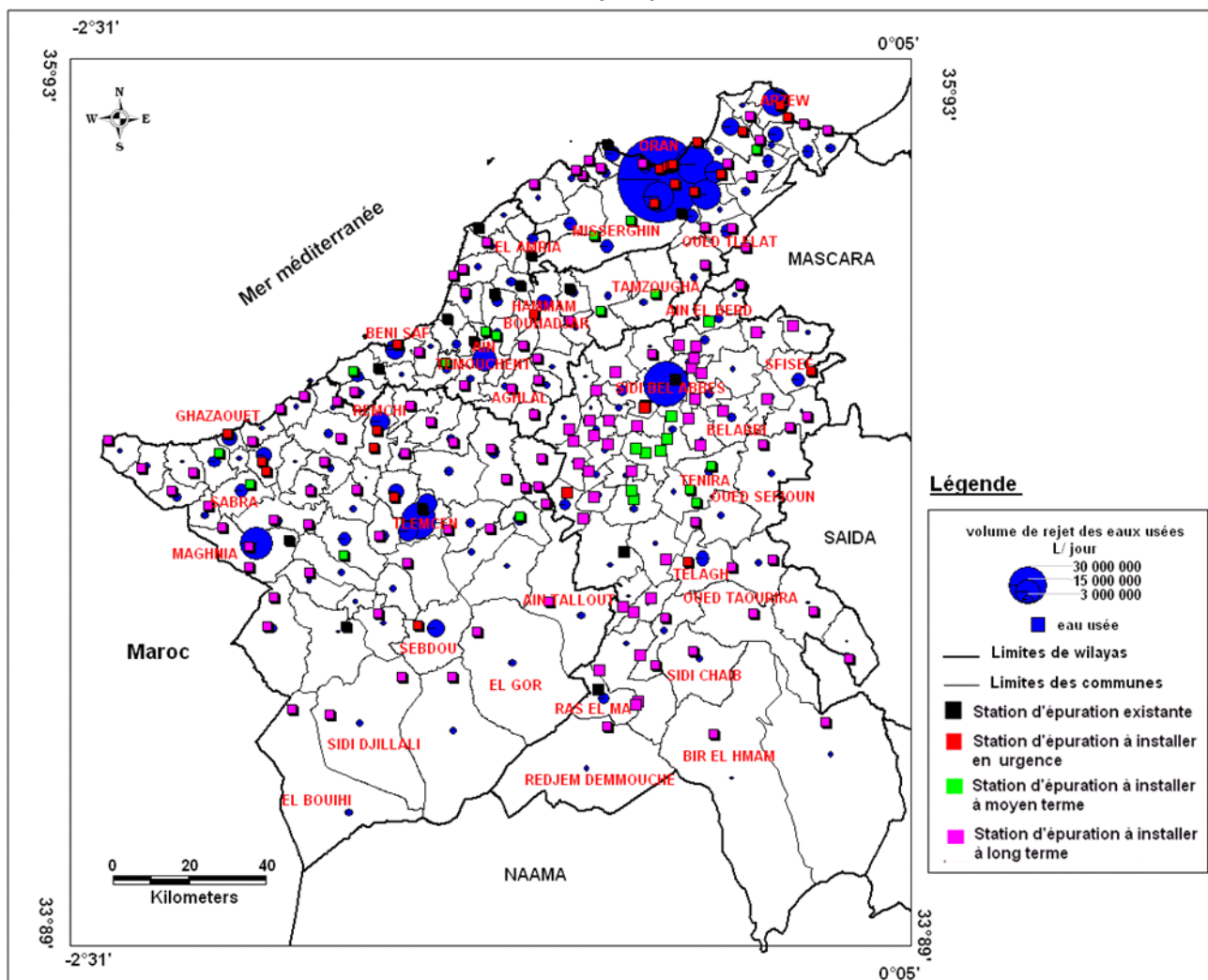
Le traitement des eaux usées présente multiples avantages, au premier lieu réduire la pollution des ressources en eaux de surface et souterraine, équilibrer l'écosystème aquatique, protéger les milieux marins contre la pollution qui provienne des eaux usées, l'élimination de l'irrigation par les eaux usées et par conséquent protéger la santé des populations suite à l'alimentation des produits irrigués par les eaux usées, la réutilisation des eaux usées traitées et ainsi que l'utilisation des boues des stations d'épuration comme amendement agricole.

En 2020, les eaux usées vont représentées un volume très appréciable de près de 2 milliards de m³ en Algérie, si la demande en eau est totalement satisfaite à cet horizon. Un tel volume, une fois épuré, pour des considérations écologiques ou de protection des ressources en eau, sera très apprécié quant à son utilisation par l'agriculture ou l'industrie. La stratégie du ministère des ressources en eau dans le domaine de l'épuration est basée sur la protection de la ressource hydrique, l'éradication des fosses septiques et des maladies à transmission hydriques, le confort et le bien-être des citoyens, la protection du littoral conformément à la convention de Barcelone « *Convention pour la protection du milieu marin et du littoral de la Méditerranée* » adoptée en 1976, est entrée en vigueur en 1978, et la réutilisation des eaux usées épurées, notamment à des fins agricoles.

Actuellement, la zone d'étude ne dispose que 16 stations d'épuration (boues activées et lagunes) seulement les eaux usées traitées de la STEP de Tlemcen qui sont réutilisées. La réutilisation des eaux usées épurées, notamment à des fins agricoles, est devenue l'un des axes principaux de la stratégie du secteur des ressources en eau en Algérie. 60 % des eaux usées sont évacuées sans aucun traitement, c'est une perte économique. L'installation des stations d'épuration en aval des réseaux existants constitue non seulement une des solutions pour la protection de nos ressources en eau, du milieu naturel et par conséquent de l'environnement, mais peut également constituer un apport non-négligeable pouvant satisfaire les besoins agricoles et industriels.

Nous avons proposé l'installation des stations d'épuration des eaux usées urbaines selon le volume de rejet des eaux usées quotidien. Des stations seront installées en urgence pour les rejets qui dépassent un volume de 6 000 m³/j. 8 stations proposées pour la wilaya d'Oran (Communes : Arzew, Ain Biya, Gdeyel, Bir El Djir, Hassi Bounif, Sidi Chami, rejet de la ville d'Oran destiné vers le littoral) (Carte 89). Deux stations sont nécessaires à installer pour les agglomérations de Hammam Bouhadjar et Beni Saf (wilaya d'Ain Témouchent) dont le volume de rejet dépasse 6 000 m³/j (carte 89).

Carte 89. Proposition de l'installation des stations d'épuration des eaux usées dans la zone d'étude en 2014



Il est nécessaire d'installer des stations de traitement des eaux usées pour les agglomérations de Sfisef, Ben Badis, Tlagh et Sidi Lahcen de la wilaya de Sidi Bel Abbes, dont chaque agglomération évacuée un volume des eaux usées dépasse 4 000 m³/j (carte 89).

Nous avons recommandé d'installer en urgence des stations de traitement des eaux usées dans les communes Hennaya, Remchi, Nedrouma, Ghazaouet et Sebdou pour la wilaya de Tlemcen, ces communes évacuées un rejet des eaux usées dépasse 6 000 m³/j et conduit à une forte pollution des eaux du bassin de la Tafna et leurs barrages (carte 89).

L'installation des stations d'épuration se fait après détermination des charges polluantes à traiter et les conditions climatiques pour une protection optimale du milieu récepteur, le maître de l'ouvrage doit choisir ainsi le meilleur procédé de traitement.

Cependant, l'exploitation des stations doit être assumée par un personnel qualifié, sa formation doit être prévue chez le fournisseur de l'équipement et une surveillance régulière (bonne maîtrise des réglages de l'aération, de la recirculation et de l'extraction des boues).

Procéder à une bonne gestion technique maîtrisée de la station d'épuration, en formant des techniciens et ingénieurs spécialisés dans le domaine, car les techniques d'épuration ne sont pas totalement maîtrisées dans notre pays où ce type d'infrastructures fait appel à une certaine expérience. Nécessité du renforcement des stations d'épuration par les moyens financiers pour une bonne marche de ces stations.

2. Les solutions de traitement des boues des stations d'épuration : excellents amendements agricoles pas bien exploités dans la zone d'étude

Depuis plusieurs années, l'Algérie a mis en place des stations d'épuration dans le cadre de la politique publique de préservation de la qualité des eaux naturelles. Mais celles-ci génèrent un sous-produit inévitable qui sont les boues d'épuration et dont l'élimination fait partie des problèmes environnementaux actuels. Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers les stations d'épuration où elles sont traitées. Enfin de traitement, à la sortie de la station, l'eau épurée est rejetée dans le milieu naturel, mais il demeure des résidus d'épuration que sont les boues résiduelles. Elles sont composées d'eau et de matières sèches contenant des substances minérales et organiques.

Les stations d'épuration produisent des boues liquides, pâteuses ou solides en fonction de leurs siccités (pourcentage de matière sèche qu'elles contiennent). Les stations existantes produisent une moyenne de 2 000 tonnes de boues par mois. Chaque responsable de la station d'épuration doit débarrasser des bassins de boues afin de réaliser un nouveau cycle d'épuration. Une partie de ces boues est stockée en décharges. L'autre partie est autorisée pour l'épandage sur des cultures céréalières, arboricultures et plantes ornementales (pépinières). Ces boues résiduelles riches en matières organiques pourraient donc constituer un apport intéressant pour amender les sols agricoles.

Les processus d'épandage passent par plusieurs phases :

Phase 1- la conception : la conception de l'organisation des épandages débute par une étude préalable qui permet de définir les principes de l'organisation, de choisir et de valider le périmètre d'épandage retenu, de nommer les intervenants, de fixer le choix du matériel et des équipements pour le stockage, le transport et l'épandage. Enfin, elle doit fournir des analyses de la boue destinée à être épandue et du sol récepteur.

Phase 2 - l'exploitation : un "programme prévisionnel" est établi chaque année pour préciser les périodes d'épandage et les parcelles agricoles retenues en lien avec les agriculteurs, et pour désigner les personnes ou entreprises responsables des opérations de transport et d'épandage. Puis les responsables retenus déclenchent les opérations d'épandage à la date choisie. Celles-ci assurent aussi les relations entre opérateurs et agriculteurs, et la circulation des données (parcelles épandues, quantité de boues apportées, analysent des boues et des sols avant épandage, etc.).

L'ensemble des données et des informations concernant l'épandage sont consignés dans le registre des épandages.

Phase 3 - la rendre compte : un bilan agronomique annuel est obligatoirement rédigé par le producteur de boue à destination du préfet. Les agriculteurs et les administrations concernées obtiennent alors une synthèse du registre des épandages. La réglementation prévoit deux grandes périodes d'épandage : le printemps, de mars à avril, et à la fin de l'été, d'août à octobre. L'épandage est interdit en dehors de ces périodes, mais les boues continuent d'être produites et il faut donc les stocker durant 6 à 9 mois. Les boues liquides sont stockées dans des silos à la façon des lisiers, avec un agitateur pour homogénéiser les boues avant l'épandage (DUDKOWSKI, 2000).

Les boues pâteuses sont conservées dans des fosses ou autres dispositifs étanches. Les boues solides sont stockées dans le sol sur des dalles imperméables, il convient de les couvrir (bâches, hangars). Les boues séchées thermiquement se présentent de la même manière que des engrais minéraux granulés et requièrent le même type d'installation, de manutention et de stockage. Si les boues ne sont pas stabilisées, ce stockage ne peut excéder 48 heures. Afin de limiter les nuisances (bruit, odeurs), les chantiers doivent épandre un maximum de boue en un minimum de temps sous de bonnes conditions météorologiques. Pour cela, les chantiers sont bien organisés et les matériels choisis selon la consistance physique des boues à épandre. Pour les boues liquides, l'épandage se fait avec des tonnes à lisier (si possible avec des rampes d'épandage) ou avec des rampes d'aspersion basse pression qu'évitent les brouillards fins (DUDKOWSKI, 2000).

Les boues des stations d'épuration sont constituées de : particules minérales (argiles, carbonates, silicates, phosphates...), débris organiques grossiers (fibres textiles, résidus végétaux, matières plastiques), biomasse morte (résidus de cellules bactériennes, résidus d'algues...), polymères organiques issus de l'activité de la biomasse (polysaccharides, protéines), constituants minéraux et organiques solubles. Par leur composition, les boues, une fois épandues, augmentent le rendement des cultures. Elles contiennent des nutriments, pour les cultures et servent d'amendement, organiques et calciques pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, surtout si elles sont chaulées ou compostées. Des micro-organismes présents en grand nombre dans le sol digèrent en partie les matières organiques apportées par les boues et les transforment en éléments minéraux disponibles pour la plante. Une autre partie des matières organiques est incorporée au sol et contribue à l'entretien d'une structure favorable au développement des racines (DUDKOWSKI, 2000).

3. La gestion de l'assainissement en zone d'étude : problématique à prendre en considération

Compte tenu des risques de pollution des ressources en eaux et le littoral, l'aménagement, la protection et la planification des eaux dans un cadre régional selon une vision concertée, intégrée et globale, s'avèrent impératifs pour éviter les pollutions, les pénuries et les tensions qui en découlent.

À la lumière des résultats que nous avons obtenus et des études précédemment réalisées, certains aspects devraient être développés et approfondis à savoir :

- Résoudre le problème des pannes mécaniques des stations de traitement des eaux usées ;
- Réduire les pertes d'eau ayant pour objectif d'améliorer à la fois, la dotation nette chez l'utilisateur et les performances du service public de l'eau ;
- Résoudre le problème des fuites d'eau, et cela par un renouvellement des conduites (total ou partiel) ;
- Mise en place des équipements de protection du réseau d'assainissement ;
- Le problème de débordement d'eaux usées au niveau des regards des collecteurs qui sont bouchés, dont l'écoulement est très faible. Pour cela, il est nécessaire d'effectuer des opérations de débouchage ou de curage à l'aide d'éboueurs ou travaux manuels, pour permettre un bon écoulement des eaux usées ;
- Le problème des branchements illicites au réseau d'assainissement en procédant à la suppression de ces branchements avec l'application du plan directeur d'assainissement ;
- Le problème d'évacuation des eaux usées vers la mer surtout au niveau de la partie basse de l'agglomération d'Ain El Turk et le Nord d'Oran, pour cela il est nécessaire d'équiper les stations de relevage existantes par les équipements de relevage de bonne qualité et d'assurer une bonne gestion technique maîtrisée par des techniciens ou ingénieurs compétents. Ainsi qu'il est nécessaire qu'il ait un entretien et un suivi des équipements de relevage, avec un traitement des eaux usées ;
- Réhabilitation du réseau d'assainissement très bien dimensionné conformément à l'extension d'habitation actuelle et projetée ;
- Contrôle régulier par des analyses bactériologiques et physico-chimiques de l'eau de mer en toute période de l'année ;
- Les eaux usées traitées doivent être déversées à certaines distances dans la mer pour éviter toute sorte de contamination des eaux de baignade afin de protéger la santé humaine ;
- Renforcement du système de surveillance épidémiologique. Mettre en œuvre un programme d'information, de sensibilisation et d'éducation envers la population en matière de lutte contre les maladies à transmission hydriques (M.T.H). Un travail d'information et d'éducation est indispensable. Pour cela, les médias peuvent être utilisés ainsi que tous les autres moyens de communication ;
- Interdire l'irrigation par les eaux usées non traitées et une surveillance continue par la police des eaux ;
- Les industriels devraient payer en plus le traitement des rejets ;
- On devrait lutter aussi contre la prolifération des bidonvilles dans la zone d'étude pour pallier le problème des rejets clandestins d'eaux usées ;
- La contribution des collectivités locales, des services techniques, des centres de recherche universitaires, etc., apportera un plus. Il est évident que la loi de l'eau dans le contexte

actuel ne peut être appliquée. En temps normal, son application n'est possible que progressivement ;

Conclusion du 5^{ème} chapitre : des plans d'aménagement performants pour remédier à la dégradation de l'environnement, une meilleure gestion des déchets solides, réduire l'impact des eaux usées et la pollution des milieux récepteurs

En s'appuyant sur une analyse de l'état des lieux dans la zone d'étude qui montre la situation actuelle en matière de dégradation de l'environnement, il est devenu nécessaire d'élaborer des plans d'aménagement et des programmes d'action pour préserver l'environnement et atteindre un développement durable. Ces plans visent à atteindre les principaux objectifs qui sont : garantir la qualité de la vie, améliorer la productivité et la durabilité du capital naturel, la réduction des pertes économiques et protéger l'Environnement régional et global

La réalisation de ces objectifs repose sur la mise en œuvre de *mesures institutionnelles et d'accompagnement* ainsi que sur des *investissements prioritaires*. Les mesures institutionnelles recouvrent des mesures qui vont de l'élaboration et de la mise en œuvre de lois (déchets, littoral, eau usées, par exemple) à l'adaptation des tarifs existants (déchets, eau) et à la mise en place d'instruments économiques de gestion de l'environnement (fiscalité écologique, institutions financières). Les mesures d'accompagnement renvoient à des campagnes de sensibilisation.

Dans ce chapitre, nous avons proposé des recommandations qui permettraient d'améliorer la gestion des déchets solides et liquides à travers la mise en œuvre des programmes appropriés par un meilleur traitement des déchets solides urbains et industriels, avec une réhabilitation, la fermeture, et le contrôle des rejets dans la décharge d'El Kerma, celle-ci engendre des impacts néfastes tant à l'environnement et à la santé humaine. Aussi par la réalisation des aménagements nécessaires pour les CET de la zone d'étude, ainsi que l'application d'une méthode de sélection d'un nouveau site adéquat au stockage des déchets dans la plaine de Sidi Bel Abbes. Ce choix ne peut être établi qu'à l'aide des outils fiables et performants tels que les SIG et la télédétection. Et enfin une meilleure sensibilisation des citoyens à la réduction des déchets et surtout l'incitation du secteur privé à y participer activement.

D'autres programmes d'action ont été nécessaires qui consistent à développer les capacités d'épuration des eaux usées et de préserver la qualité des eaux de mer de surfaces et souterraines.

Pour une meilleure surveillance de la pollution des eaux souterraines, il convient de cartographier la vulnérabilité des nappes alluviales. Les cartes de vulnérabilité réalisées, en applique la méthode DRASTIC, donne un écart de variation permet de classer la vulnérabilité en trois classes : faible, moyenne, élevée. Trois cartes ont été réalisées, l'une de la nappe d'El Kerma, l'autre de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbes et la dernière de la nappe alluviale de la plaine d'Hennaya. Ce choix n'est pas aléatoire, vu l'état de la dégradation des eaux qu'elles renferment.

Le degré de vulnérabilité élevée représente 34.4% de la surface pour la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes, 8.5 % pour la nappe alluviale d'Hennaya et 50.9 % pour la nappe d'El Kerma. Le risque y est important vu la présence de plusieurs sources de pollution dans ces zones. La classe dominante est la moyenne avec 64.84% de la surface pour la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes, 61.7 % pour

la nappe alluviale d'Hennaya et 48.53% pour la nappe d'El Kerma. La vulnérabilité de ces classes peut évoluer par les effets conjugués de l'homme. Ces cartes permettent d'orienter les gestionnaires à assurer une gestion durable des ressources hydriques souterraines.

Pour la préservation des ressources en eaux de surface, nous avons recommandé l'installation des stations d'épuration des eaux usées en urgence pour les points de rejets qui dépassent 6 000 m³/j. 8 station pour la wilaya d'Oran, deux stations pour la wilaya d'Ain Témouchent et 5 stations pour la wilaya de Tlemcen. Concernant la wilaya de Sidi Bel Abbes, nous avons proposé d'installer 4 stations en urgence dont le volume de rejet dépasse 4 000 m³/j.

Ce travail a montré l'apport considérable des SIG et la télédétection dans la prise de décision en matière de l'eau et la gestion des déchets. Les recommandations et les perspectives proposées dans cette recherche sont nécessaires pour répondre à l'amélioration de la surveillance de la qualité d'écosystème et le renforcement de la capacité des collectivités locales pour conserver l'environnement et le cadre de vie.

En conclusion, la prévention reste le seul moyen efficace pour lutter contre la pollution de l'environnement et pour la protection des ressources afin d'atteindre un développement durable régional et local.

Conclusion générale

Analyser la gestion des déchets solides et l'assainissement dans les quatre wilayas de la région Nord-ouest Algérienne (Oran, Ain Témouchent, Sidi Bel Abbes et Tlemcen), en vue d'un essai pour une stratégie de gestion durable, tel a été notre objectif dans ce travail de recherche. Ce travail s'inscrit dans le domaine de la protection de l'environnement, en particulier l'évaluation de la gestion des déchets solides et liquides en terme efficacité et impacts environnementaux et humains. Une meilleure maîtrise de la gestion des déchets et de l'assainissement sanitaire, tout en respectant l'environnement, est le souci partagé par tous les acteurs engagés dans le domaine de l'environnement.

Cette étude est consacrée à la filière de la gestion des déchets en Algérie, elle a abouti à la conception et à la réalisation d'une méthodologie, pour appréhender la thématique d'évaluation les déchets solides et liquides.

La prise en conscience des problèmes de l'environnement en Algérie est récente, elle s'est traduite progressivement par la mise en place d'un dispositif institutionnel et réglementaire qui devrait correspondre à la fois à la complexité des problèmes environnementaux générés par le rapide développement des centres urbains, des activités industrielles et aux nouvelles exigences environnementales reconnues dans le monde.

Mieux vaut prévenir que guérir. La prévention idéale des pollutions intervient à la source. Lorsque les sources de pollution sont multiples et disséminées, le contrôle des pollueurs est illusoire. La seule action efficace réside dans la meilleure gestion pour réduire les sources de pollution. En règle générale, la prévention des pollutions implique la maîtrise de l'ensemble des processus de production, de distribution de substances chimiques, puis du stockage et de l'élimination des déchets solides et liquides.

Les décharges et les centres d'enfouissement techniques, dont leurs sites sont non-conformes à la protection de l'environnement et à la santé publique, les points de rejets des eaux usées, sont une plaie, non seulement, pour l'esthétisme des paysages, mais aussi une source de risques pour les ressources naturelles et le cadre de vie.

Nous pouvons dire que depuis quelques années, les gestionnaires locaux sont efforcés de trouver une approche adéquate pour développer leur politique environnementale et gérer les sources de pollution. Dans ce cadre, ils ont besoin des informations détaillées fiables et bien organisées, sur l'état de l'environnement et identifient les points noirs de pollution dans le territoire (GARCIER, 2005).

La méthodologie envisagée dans ce travail a répondu à ce besoin, en produisant une série de plans thématiques à références spatiales, aident à la gestion environnementale. Les systèmes d'information géographique, la télédétection et les diverses méthodes statistique ont été utilisés comme des outils et des techniques bien adaptés à cette méthodologie et illustrant mieux l'approche multidisciplinaire pour l'évaluation de la gestion des déchets solides et liquides et les

propositions des plans d'aménagement nécessaires pour améliorer la situation actuelle dans la zone d'étude.

La situation en matière de gestion des déchets est très inquiétante. Vu le volume important, en croissance permanente, des déchets, ainsi que le manque du matériel performants de traitement. Ceci entraîne à une dégradation alarmante de l'environnement et à la prolifération des décharges sauvages ainsi qu'une pollution des ressources hydriques. Cette situation favorise le problème majeur qui touche notre zone d'étude durant ces dernières années et qui doit être pris en compte dans toutes ces dimensions.

Du point de vue potentialité naturelle et socio-économique, la position géographique a permis de composer la zone d'étude en trois grandes unités naturelles, la zone littorale et sub-littorale, la zone des bassins intérieurs et la zone sub-steppiques. Chaque unité naturelle est caractérisée par des caractères physiques et socioéconomiques déférents, influe grandement sur la gestion des déchets solides et liquides. La nature topographique et géologique, on permet la constitution d'un réseau hydrographique dense, composé en trois grands bassins-versants, le bassin de la Tafna, le bassin du côtier Oranais et le bassin de Mekerra. Ces bassins présentent les milieux récepteurs des eaux usées urbaines et industrielles très polluées, favorisant une forte dégradation des ressources hydriques souterraines et de surface. Le climat semi-aride avec deux saisons sèche et humide augmente cette pollution. La répartition spatiale des pluviométries obéies aux trois lois, la hauteur de pluie augmente avec l'altitude, mais est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides que sur les versants sous le vent, comme le cas des monts de Tlemcen où nous trouverons des précipitations dépassent 600 mm/an. Elle augmente de l'Ouest à l'Est. Elle diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral. Cette zone est caractérisée par un remplissage alluvionnaire, un climat semi-aride, une connexion permanente entre les oueds et la nappe, ce qui donne un siège important d'alimentation des nappes, dont elle possède des ressources en eaux souterraines non-négligeables, doit être protégées et préservées. Des aquifères des types alluviaux au niveau des plaines, des aquifères karstiques profonds au niveau des monts de Tlemcen. Ces ressources en eaux participent largement à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation, mais malheureusement, elles soumissent à une surexploitation et une dégradation intense.

Les caractéristiques naturelles de cette zone ont favorisé un déséquilibre entre le littoral et la zone d'intérieur, un fort poids démographique et économique dans le Nord par rapport au Sud, suite aux existences des potentialités naturelles importantes, des terrains agricoles fertiles, des ressources en eaux appréciables (barrages et nappes phréatiques), un climat semi-aride tempéré, des moyens de communication importants, une forte industrialisation dans le littoral, qui présente une zone d'attraction de la population. Ce déséquilibre de la répartition des populations et des activités met en exergue des problèmes environnementaux d'origine anthropiques. En se retrouve en face d'un problème majeur de gestion des déchets dans les régions de Nord par rapport aux régions de Sud.

Ce décalage rencontré, nous a obligé à étudier la problématique de la gestion des déchets solides et liquides. Pour ce faire, nous avons établi une base de données multi-sources, intégrée au sein d'un SIG, susceptible d'aider à la gestion environnementale. Cette base de données ne peut se faire qu'à

l'aide des outils performants, SIG et Télédétection. En effet, face à la complexité de la réalisation des plans d'informations, nous avons consacré d'effort à la collecte, le traitement et à la maîtrise d'un grand nombre d'outils informatiques.

Les plans d'informations réalisées correspondent aux données topographiques par l'utilisation d'un MNT, l'occupation du sol basée sur le traitement des images satellitaires, des données géologiques, hydrologique, hydrogéologiques et démographiques, serviront comme une base de données pour toute étude environnementale, constitués ainsi un outil d'aide à décision pour la protection de l'environnement et l'analyse de la situation actuelle de la gestion des déchets.

L'évaluation de la faisabilité environnementale des sites de décharge et des centres d'enfouissements techniques, recevant les déchets produits par les grandes agglomérations de la zone d'étude (Tlemcen, Ain Témouchent, Oran et Sidi Bel Abbès), à l'aide de l'analyse d'une base de données réalisée, ainsi que l'application des normes d'implantation d'une décharge, on permet de décrire ces sites présentant un danger réel de pollution de l'air, de sol et des eaux, à court et à long terme. Ce sont des lieux potentiels de prolifération de germes pathogènes transmis par les insectes, les oiseaux, et les rongeurs. Sont des sources importantes de pollution des nappes alluviales, ils peuvent causer des maladies respiratoires, des maladies infectieuses et à transmission hydrique chez les habitants, notamment avec l'approche de ces sites aux centres urbains.

La décharge d'El Kerma et les CET de Tlemcen, de Sidi Bel Abbès et d'Ain Témouchent sont mal situés, engendrent un grand risque de pollution des eaux souterraines et de surface, par le rejet des lixiviats non traités. Ces sites se localisent sur l'impluvium des nappes phréatiques à faible profondeur avec des formations lithologiques perméables. Les analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale d'El Kerma montrent une forte pollution organique et métallique. Les analyses des eaux de la nappe des grès tortoniens de Tlemcen traduits aussi la forte dégradation organique et biologique.

Sur la base de l'évaluation des CET et décharge d'El Kerma, en termes normes d'implantation, nous pouvons assimiler ces sites comme danger pour la santé humaine et les ressources naturelles. Les résultats de l'évaluation de l'ancienne décharge d'El Kerma, exploitée anarchiquement et les autres CET misent en exploitation durant quelques années (5 à 6 ans), représentées dans les tableaux de la classification des décharges, ressort que ces sites sont de classe défavorable pour l'exploitation.

Un autre problème qui a touché la zone d'étude, c'est la pollution des ressources en eaux et le littoral par les eaux usées, ceci représente un sérieux problème surtout dans les pays riverains en voie d'industrialisation à l'instar de l'Algérie. Avec l'absence des stations et des systèmes d'épuration au niveau de ces pays, les eaux usées sont rejetées dans les milieux récepteurs sans aucun traitement préalable, ce qui provoque la dégradation de la qualité sanitaire des eaux de surface et côtières et la perturbation des écosystèmes aquatiques.

Ce travail a permis, en effet, de mettre en évidence cette pollution et dégradation des milieux récepteurs des eaux usées (oueds, sebkha, lacs et mer) dans la zone d'étude. La zone comporte 167

points de rejets des eaux usées. Le travail a, tout d'abord, révélé l'importance des flux rejetés quotidiennement par les activités domestiques et leurs rôles prépondérants dans la contamination des eaux marines, souterraines et superficielles. Ce résultat est primordial, car il pointe non plus les activités industrielles, souvent considérées comme la source majoritaire de pollution, mais incrimine les rejets domestiques. Le rôle des effluents domestiques devra être pris en considération lors de la mise en place d'actions pour réduire les flux des polluants en milieux récepteurs.

La gestion de ces eaux usées, au niveau de la zone d'étude connue une grande défaillance, notamment en matière d'assainissement, il se trouve dans un mauvais état dus à l'ancienneté des réseaux, ne répondent pas au diamètre et aux débits des eaux usées rejetées, ce système d'assainissement est dépassé par les étalements urbains, un dysfonctionnement des stations de relevages par des problèmes techniques, de gestion et de curage.

La zone connue un manque énorme d'épuration des eaux usées, nous trouverons seulement 16 stations d'épuration, dont 60 % des eaux usées sont rejetées dans la nature sans traitement. La station de Tlemcen présente un bon exemple en termes de fonctionnement, dont les eaux traitées sont utilisées pour l'irrigation de la plaine d'Hennaya. Les eaux usées traitées par la station d'El Kerma sont caractérisées par un taux élevé en nitrate à cause de la faible nitrification et la dénitrification est nulle. Les eaux usées traitées par la STEP de Sidi Bel Abbes se caractérisent par la présence de métaux lourds provenant des rejets industriels et à l'absence de traitement chimique des eaux, ainsi nous pouvons citer que les rejets industriels non traités au niveau d'Oued Elmalleh contaminent les eaux usées traitées de Sidi Bel Abbes. La STEP d'Ain Témouchent présente aussi un bon fonctionnement qui a permis la protection d'oued Sennane. La STEP de Maghnia a permis, en grande partie, la protection des eaux du barrage de Boughrara. Ce manque énorme de traitement menace l'écosystème aquatique.

Les niveaux de la pollution des ressources en eaux et marine augmentent de jour en jour particulièrement dans les zones qui disposent des complexes industriels et touristiques, ceci a pour effet direct, une baisse sensible des ressources en eaux destinées à l'alimentation humaine et à l'irrigation, des eaux halieutiques et une augmentation inquiétante du nombre des plages polluées interdites à la baignade.

Le suivi spatio-temporel de plusieurs traceurs physico-chimiques nous a fourni l'image d'une pollution relativement intense qui se traduit par une importante charge organique, biologique et minérale des eaux de surface et marines. Les résultats des paramètres indicateurs de pollution révèlent que les eaux d'oued Mouillah sont en état très pollué par les eaux usées en provenance du Maroc. Oued Sikkak et Ouderflou sont de très mauvaise qualité avec un DBO5, DCO, MES, Phosphore, Nitrites de valeurs très élevées. Les eaux d'oued Mekerra sont très dégradées sauf au niveau des rejets de la STEP de Sidi Bel Abbes jusqu'à le conflue avec oued Elmallah, où il devient pollué par les eaux industrielles. Les eaux d'oued El Maleh sont de forte pollution au niveau du Chaabet El Ham par les eaux résiduelles de la zone industrielle d'Ain Témouchent et les oueds El Maleh, Aghllal et Hessassena par les eaux usées domestiques non traitées.

Le rejet de ces eaux usées a conduit à une forte dégradation de la qualité des eaux des barrages. Pour l'évaluation de cette pollution, nous avons analysé des indicateurs de pollution représentés par la *DBO5*, *DCO*, le phosphore total et les produits azotés tel que l'ammonium (NH_4^{++}) et les matières en suspension (MES) effectuée sur les eaux des barrages en 2005 et en 2017. Nous avons utilisé la méthode du calcul de l'indice de pollution organique (IPO) pour voir le niveau de pollution des barrages. À partir des résultats des calculs, nous avons constaté que les eaux du barrage Sikkak et Cheurfa présentent une forte pollution organique en 2005 et 2017. Les eaux des barrages de Sarno et Boughrara ont été polluées en 2005, dont ils ont connu certaines améliorations ces dernières années, suite à une prise en conscience de l'état à de la protection des eaux de ces deux barrages.

Le littoral n'est pas loin de cette dégradation, il est très menacé par le rejet des eaux suées, ce travail a permis de déterminer cette menace par des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de la mer, indiquant la forte contamination, notamment dans la corniche ouest d'Oran par les eaux usées urbaines et la côte d'Arzew par les eaux usées industrielles non traitées.

Finalement, nous pouvons dire que la zone d'étude enregistre des conséquences sérieuses de dégradation de l'environnement et des ressources naturelles. Du littoral oranais aux bassins intérieurs et la zone sub-steppique, l'état de l'environnement est préoccupant. Une évidence s'impose, à l'heure où tout le monde ignore l'écologie comme étant la condition de toute action politique. À cette zone, tous sont responsables vis-à-vis des générations futures. Responsables, parce que chacun est dans l'obligation de corriger les erreurs des générations précédentes. C'est « ensemble, sauvons ce qui reste à sauver », il est temps d'interdire l'irrigation à partir des eaux usées, de contrôler les rejets des stations de lavage qui déversent des produits toxiques dans les oueds, d'installer des stations d'épuration pour protéger les barrages, de jeter les ordures là où c'est indiqué, etc. De dire qu'au niveau du territoire de cette zone, le civisme fait défaut, au point que le décor des décharges sauvages offre un paysage désolant, comme si nous vivions dans un pays sous-développé.

La dégradation de l'environnement met en péril notre santé. Pourtant, plusieurs politiques ont été menées pour la prise en charge des déchets ménagers, la protection et valorisation du littoral, la dépollution des bassins-versants, le contrôle des déchets spéciaux, etc.

Les résultats obtenus au cours de ce travail fournissent également un certain nombre de pistes concernant les actions à mener et les stratégies à adopter, en vue d'une meilleure gestion des déchets solides et de réduire les flux générés par les eaux usées et la pollution des milieux récepteurs. De ce fait, ses actions permettant d'améliorer la gestion des déchets solides et liquides sont à privilégier et feront l'objectif principal du dernier chapitre.

Cet état nécessite en urgence de penser à des plans d'aménagement performants pouvant remédier à la dégradation de l'environnement et la santé des populations. Dans ce cadre, nous avons pensé à plusieurs plans d'action tels que :

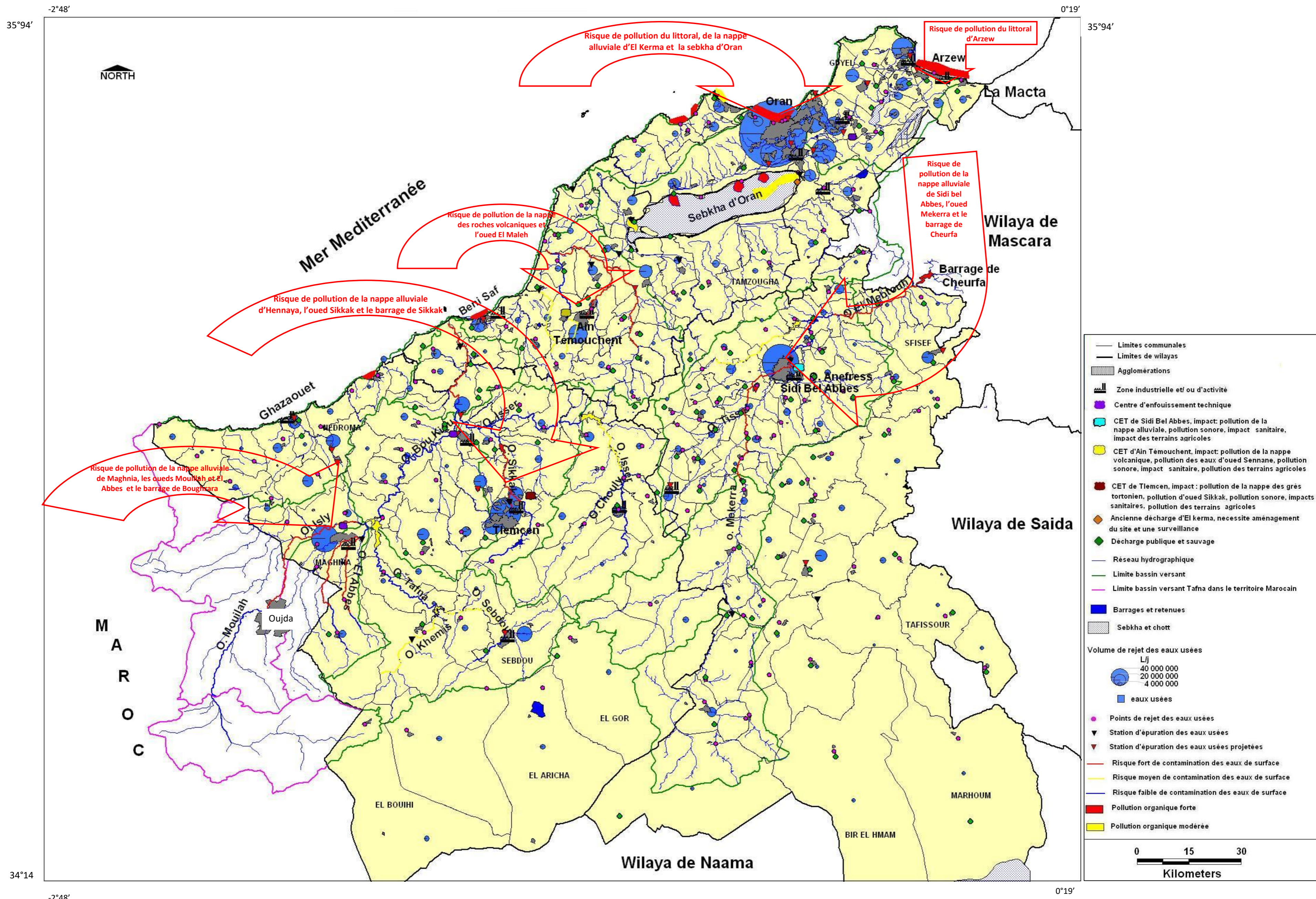
- des meilleures techniques de traitement des déchets (méthanisation, compostage et recyclage).
- des aménagements nécessaires pour les CET de Tlemcen, de Sidi Bel Abbes et d'Ain Témouchent par des nouvelles techniques, ainsi que la fermeture de la décharge publique d'El Kerma. Cette fermeture nécessite des étapes d'aménagement plus moderne et selon la nature du site.
- La sélection d'un nouveau site adéquat au stockage des déchets dans la plaine de Sidi Bel Abbes à l'aide des outils SIG et la télédétection.
- La protection des eaux souterraines par la cartographie de la vulnérabilité des nappes alluviales. Les cartes de vulnérabilité réalisées, en appliquent la méthode DRASTIC. Le degré de vulnérabilité élevée représente 34.4% de la surface pour la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes, 8.5 % pour la nappe alluviale d'Hennaya et 50.9 % pour la nappe d'El Kerma. La classe dominante est la moyenne vulnérabilité pour les trois nappes cartographiées. Ces cartes permettent d'orienter les gestionnaires à assurer une gestion durable des ressources hydriques souterraines. Ce travail a montré également l'apport capital fourni par les systèmes d'information géographique (SIG) pour l'élaboration des cartes de vulnérabilité. le SIG élaboré constitue également un outil performant et efficace d'aide à la décision pour les gestionnaires des ressources.
- Installer en urgence des stations d'épuration des eaux usées pour les points de rejets qui dépassent 6 000 m³ /j. 8 stations ont été proposées pour la wilaya d'Oran, deux stations pour la wilaya d'Ain Témouchent, 5 stations pour la wilaya de Tlemcen. 4 stations pour Sidi Bel Abbes.

Finalement, on peut dire que ce projet de recherche débouche sur un outil d'aide à décision dans le domaine de la gestion de l'environnement et des déchets, il contribuera à la protection de l'écosystème et la santé publique.

Nous proposons d'appliquer ces méthodes d'évaluation et d'analyse sur l'ensemble du territoire national et pour l'enrichir. Il est préférable en futur d'établir des cartes de vulnérabilité de la nappe à la pollution sur l'ensemble de la zone d'étude. Il est nécessaire ainsi d'approfondir les recherches sur l'application des SIG et la télédétection dans la gestion environnementale, notamment pour la protection de l'espace urbain et rural. À ce propos, il faut penser à un vaste programme national en faveur de protection des ressources naturelles. Au plan national, les autorités publiques doivent soutenir ces programmes d'action. Enfin, la participation de l'état dans ces programmes garantit la protection de l'environnement.

En matière de recherche, nous espérons que cette thèse ouvrira la voie à d'autres thèses et d'autres études dans le domaine de l'environnement, afin de créer une véritable dynamique de développement local, régional, et national.

Carte 90. Carte de synthèse sur l'état de la pollution dans les wilayas de la région Nord-ouest Algérienne (Ain Témouchent, Oran, Tlemcen, Sidi Bel Abbas)



Références bibliographiques

- **AASSIRI A., (2001)** - Impact des eaux usées déversées par Oued Sebou sur le littoral de l’océan Atlantique : Évaluation de la contamination par les métaux toxiques. Mémoire de DESA, INRH/Université Mohammed V, Faculté des Sciences, Rabat.
- **ABTOUT L., (2013)** - Etude hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbes, modélisation et protection de la ressource en eau, Thèse de Magistère, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB) Algérie, p 140.
- **ACHIR M., (2000)** -Tannerie et environnement, direction technique de la tannerie Tafna d'El Amria, W. Ain Témouchent, Algérie.
- **AIME S., (1991)** - Etude écologique de la transition entre les bioclimats sub-humide, semi-aride et aride dans l'étage thermoméditerranéen du tell oranais (Algérie occidentale). Thèse doctorat, es-Science. Université Aix-Marseille III, p 190.
- **AINA, M.P., (2006)** – Expertises des centres d’enfouissement techniques des déchets urbains dans les PED : contribution à l’élaboration d’un guide méthodologique et à sa validation expérimentales sur site. Université de Limoges, Thèse de Doctorat, inédit.
- **ALCARAZ C., (1969)** - Etude géobotanique du pin d’Alep dans le Tell Oranais, Thèse de spécialité, Université de Montpellier, p 183.
- **ALOUËIMINE S.O., (2006)**- Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d’aide à la décision, Université de Limoges, Thèse, Inédit
- **ALBINET M., (1989)** - Pollution des eaux souterraines. BRGM. Service d’hydrogéologie.
- **ALLER L., BENNET T., LEHR J.H., PETTY R.J., HACKETT G., (1987)** - DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings. US Environmental Protection Agency, EPA/600/2-87-036, p 455.
- **AMINOT A., CHAUSSEPIED M., (1983)** - Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Editions Jouve, CNEXO, Paris, p 395.
- **ANANI A.T., (2006)** - Evaluation et cartographie des zones vulnérables à la pollution des eaux souterraines au niveau du District d’Abidjan (Sud de la Côte d’Ivoire) par les méthodes DRASTIC et GOD. Mémoire de DEA, Université De Cocody, Côte d’Ivoire. p 71.
- **ANAT, (1994)** - Plan directeur d’aménagement et d’urbanisme du groupement des communes de Sidi Bel Abbes, Sidi Lahcen et Amarnas. Algérie.
- **ANAT, (1997)** - Plan directeur d’aménagement et d’urbanisme du groupement de Tlemcen. Algérie.
- **ANAT, (1996)** - PDAU du groupement d’Ain Témouchent. Algérie.
- **ANAT, (1996)** - PDAU du groupement d’Oran. Algérie.
- **ANONYME (2007)** - Guide d’application. Centre québécois d’inspection des aliments et de santé animale : Examen des projets de distribution au Québec d’eau embouteillée importée, 29 p
- **AOUDJIT N., (2001)**- Etude de certains facteurs biologiques de la contamination du bouge (boops boups) par les métaux lourds provenant de la baie d’Oran. Thèse de Magister, Université Oran, p 120.
- **ASTEE, (2005)** - Guide méthodologique pour l’évaluation des risques sanitaires dans les études d’impact des installations de stockage de déchets ménagers et assimilés (ISDMA).
- **AZIZ H., (2014)** - Application de quelques traitements statistiques aux données hydrochimiques de la nappe alluviale de la fosse de Sebdo (Nord – ouest Algérien), mémoire de Master, Université Abou Bakr Belkaïd-Tlemcen Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l’Univers Département des Sciences de la Terre et de l’Univers, p 108.
- **BAGNOULS F., GAUSSEN H., (1953)** - Saison sèche et régime xérothermique. Documents pour les cartes des productions végétales, t. III, vol. I, art. 8, Toulouse. p 47.

- **BABA HAMED K., (2007)**- hydrodynamique et modélisation d'une nappe alluviale, validation par l'approche géostatique, application à la nappe de la plaine de Maghnia (NW Algérien), thèse de Doctorat en géologie appliquée, hydrogéologie, université de Tlemcen, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, p 158.
- **BABA-HAMED K., (2009)** - Hydrodynamique et modélisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbes (Nord-Ouest Algérien), proceeding du 3^{ème} Colloque international sur la gestion des ressources en eau, 27 à 28 janvier 2009 à Tipaza, Algérie
- **BASAGAOGLUMM et al., (1997)** - Selection of waste disposal sites using GIS. Journal of American water resources association, V.33, N° 2, USA
- **BAPANDI DONATIEN IDANI, (2010)** - SIG et gestion des déchets à Ouagadougou : cas du secteur 30 de l'arrondissement de Bogodogo, Université Ouagadougou (Burkina Faso), Master en SIG appliqué à la gestion de l'environnement et du développement durable, p 100.
- **BACCINI P., BELEVI H., (1991)**- Long-term assessment of leachates from municipal solid waste landfills and bottom ash monofills. Journal of resource management and technology, vol. 19, n°2, France.
- **BARBIER P., (2003)** - Cours Map Info V7.0. Livret 1 Version du Cours V1.0, IGN- ENSG-CERSIG. France.
- **BAEDECKER M. J., BACK W. (1979)** - Hydrogeological processes and chemical reactions at a landfill. *Ground Water*, v. 17, pp 429-437.
- **BAHROUN S., KHERICI B., BOUSNOUBRA H., (2011)** - Evaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles. Cas de la région d'El Tarf (Nord-Est algérien). Larhyss Journal, n° 09, Décembre, pp 171-178.
- **BEN AMMAR S., (2006)** - les enjeux de la caractérisation des déchets ménagères pour le choix de traitements adaptés dans les pays en développement, résultats de la caractérisation dans le grand Tunis, mise en point d'une méthode adaptée. Thèse de Doctorat, institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole National supérieure de Géologie de Nancy, p 324
- **BENYAHIA M., BENABDELI K., MOUEDDENE K., (2001)** - Géologie, pédologie et systèmes de production dans les monts de Tessala (Sidi Bel Abbés). *Écosystèmes – Revue des Sciences de la nature et de l'environnement*, vol. 1, n° 1, pp 70-75.
- **BENEST M., (1985)** - Evolution de la plate-forme de l'Ouest Algérien et du Nord-Est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire. Docum. Lab. Géol. Lyon, n° 95, p 581
- Doumergue G. 1910 : carte géologique détaillée de l'Algérie au 1/50 000 feuille de Terni n° 300.
- **BERRAYAH M., (2006)** - Analyse de la dynamique des systèmes et approche d'aménagement intégrée en zones des montagnes cas des montagnes des Trara (Wilaya De Tlemcen), Thèse de magistère, Université de Tlemcen. Algérie.
- **BELHALLOUI B., (1999)** - Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité des nappes libres à la pollution à partir des SIG, application à la région d'Oran (1/50,000), Mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie, Université d'Oran, Algérie.
- **BENTEKHICI N., (2005)** -Pollution et protection de l'environnement dans la région d'Ain témouchent, Thèse de magistère en Géographie et aménagement du territoire, Université d'Oran, Algérie.
- **BENTEKHICI N., (2006)** -SIG, MNT et Imagerie spatiale pour la gestion des déchets solides, cas d'application : la zone d'Ain Témouchent, XII^{ème} Séminaire national des Sciences de la Terre du 06 et 07 Mars 2006 à l'Université d'Oran Es Senia, p 51.
- **BENTEKHICI N., (2006)**- Contribution of the space imagery in the study of the receiving mediums of urban worn water. Catchment area of Wadi El Maleh, Dams and Reservoirs, Societies and Environment in the 21st Century, Proceedings of the International Symposium on Dams in the Societies of the 21st Century, 22nd International Congress on Large Dams (ICOLD), Barcelona, Spain, 18 June 2006 ; Berga et al (eds) 2006 Taylor & Francis Group, London n° ISBN: 978-0-203-96355-5, pp 765- 770.
- **BENTEKHICI N., (2006)**- La contribution d'un SIG et l'imagerie spatiale dans la présélection des sites adéquats pour le stockage des déchets solides urbains, cas du bassin d'oued El maleh, Bulletin des sciences géographiques INCT octobre 2006 N° 18, pp 51-62.

- **BENTEKHICI N., (2006)** - L'apport d'un SIG et la télédétection à l'identification des sites potentiellement pollués par le stockage des déchets solides urbains, cas du bassin d'Oued El Maleh, 1^{er} Séminaire international des Géosciences au Service du Développement Durable du 26/ 27 et 28 Novembre 2006 au centre universitaire de Tebessa, pp13-19.
- **BENTEKHICI N., (2006)** -Sélection des sites adéquats pour le stockage des déchets urbains solides, application au bassin versant : Oued El Maleh à Ain Témouchent, Bulletin de l' A.G.A.T Géographie et Aménagement, décembre 2006, n°12, pp 30-41.
- **BENTEKHICI N., (2007)** -La contribution d'un SIG et la télédétection à la sélection des sites adéquats au stockage des déchets solides, application au bassin versant d'oued el maleh » international conférence for renouvelable energies and sustainable developpement (ICRESO-07) du 21 au 24 mai 2007 à l'université de Tlemcen.
- **BENTEKHICI N., (2008)**- Utilisation d'un SIG pour L'élaboration des cartes de risque et de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines, application à la nappe d'El Kerma (Oran), AJOT Algérienne Journal of Technologie, An International Publication of engineering science, Volume 1, Mars 2008, n° ISSN: 1111-357X , pp 297- 305.
- **BENTEKHICI N., (2008)** - Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution de la zone de la décharge publique d'El kerma (Oran), la 1^{ère} conférence internationale sur les Thermodynamique de l'environnement et le développement durable CITEDD' 2008 à l'université de Tlemcen le 6-8 Mai 2008, p 21 .
- **BENTEKHICI N., (2008)** - Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie), International Conférence on Web and Information Technologies ICWIT '08 du 29-30 june in 2008 à Université de Sidi Bel Abbes, p147-153, site internet www-inf.univ-sba.dz/icwit/proceedings/proceedings.pdf .
- **BENTEKHICI N., (2009)** -Intégration des données satellites dans la pollution des eaux par les décharges : Cas de la zone d'El Kerma », Journée mondiale de l'eau, organisé par le département de l'hydraulique (Université de l'USTO) le 20 Mars 2009.
- **BENTEKHICI N., (2010)** - Caractéristiques de la décharge publique de Sidi Bel Abbés et son impact sur l'environnement à l'aide des données de télédétection, séminaire international « GEDEC2010 », les 09 et 10 octobre 2010 à l'université de Tlemcen, et qui a pour thème: « Gestion et Valorisation des Déchets Solides Urbains dans le cadre du Développement Durable ».
- **BENTEKHICI N., (2010)** - Integration of satellite data for the study of ground water pollution in the watershed of the sebkha of Oran: case study of El Kerma. 17^{ème} Symposium International sur "Gestion de la technologie spatiales et leurs applications" GORS Siège, Damas, Syrie 2010/11/10-8.
- **BENTEKHICI N., (2011)** – Combinaison des données spatiales à haute résolution et exogènes pour le suivi dynamique de l'occupation du sol, application à la zone de Rghaia, 5^{ème} colloque maghrébin de géophysique appliquée (CMGA 5), Alger 12 – 14 Avril 2011, p 258.
- **BENTEKHICI N., (2011)** -Apport des données satellitaires et exogènes dans les études d'impacts des décharges publiques, cas de la décharges du groupement de Tlemcen, colloque national politique environnementale, l'entreprise en Algérie, état des lieux et perspectives, du 29 et 30 Novembre 2011 à l'Université Abdelhamid Ibn Badis à Mostaganem.
- **BENTEKHICI N., (2013)**- Analyse de l'étalement urbain de la ville de Mostaganem à l'aide des données satellitaires multi dates, Bulletin des sciences géographiques INCT semestre 2013 N° 28, pp 51-62.
- **BENTEKHICI N., (2015)** -Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans la plaine de Sidi Bel Abbes. Apport des données de télédétection et les SIG » conférence francophone Esri SIG 2015, le 7 et 8 Octobre à Varseille, France.
- **BENTEKHICI N., (2016)**- Cartographie de la vulnérabilité de la nappe à la pollution dans la plaine de Sidi Bel Abbes, Bulletin des sciences géographiques INCT 2015 - 2016 N° 30, pp42-52.
- **BENTEKHICI N., (2016)** -Cartographie de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique par l'aide de la télédétection et le SIG, cas de la plaine de Sidi Bel Abbes » Les 3^{èmes} Journées sur La Géologie Algérienne, 13-14 avril 2016 université d'Oran 2. pp 2-9
- **BENTEKHICI N., (2016)** -Choix d'un site favorable à une décharge contrôlée à partir des données de la télédétection, Les 6^{èmes} Journées Géographiques Algériennes, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, 13 – 14 Décembre 2016. p19

- **BENTEKHICI N., (2017)** -Evaluation des risques de pollution des nappes phréatiques à l'aide de l'image Alsat 2, Atelier National « ALSAT-UTILISATEURS » le 05-06 Avril 2017 organisé par l'Agence Spatiale Algérienne, pp 226-231
- **BENTEKHICI N., BENKESMIA Y., BERRICHI F., BELLAL S.A., (2018)**- Évaluation des risques de la pollution des eaux et vulnérabilité de la nappe alluviale à l'aide des données spatiales, cas de la plaine de Sidi Bel Abbes (Nord-ouest Algérien) » Revue des Sciences de l'Eau (RSE) 31(1) (2018), pp 43-59
- **BENTEKHICI N., BELLAL S.A., (2018)**- Mapping of vulnerability to groundwater pollution by the application of the DRASTIC method and GIS, case of the Hennaya alluvial water table (Tlemcen wilaya, North-West Algeria). EWASH & TI Journal, 2018 Volume 2 Issue 2, pp 38-45
- **BENKESMIA Y., BENTEKHICI N., KEBIR L.W., (2017)** - Estimation and mapping of infiltration based a multi criteria analysis, Revue Acta Geobalcanica volume 3 n°1, 2017 pp 27–33, DOI: <https://doi.org/10.18509/AGB.2017.03>, UDC: 556.38:[528.88:004.6.
- **BENKESMIA Y., BENTEKHICI N., KEBIR L.W., (2017)** - Estimation et cartographie de la recharge potentielle des nappes d'eau souterraine de la plaine de Sidi Bel Abbes » conférence international Eau-Société-climat (2017), Hammamet le 2, 3 et 4 Octobre 2017, Tunisie.
- **BELLAL S.A., (2009)** - Ressources, usagers et gestionnaires de l'eau en zone semi-aride : Le cas des plaines littorales oranaises (Ouest algériens), Thèse de doctorat, Unersité d'Oran 2, faculté des sciences de la terre et de l'univers, faculté de géographie, p 302.
- **BELLAL S.A., (2011)**- Ressources, usagers et gestionnaires de l'eau en zone semi-aride : le cas des plaines littorales oranaises (Ouest algérien) », *Insaniyat / 53* | 2011, pp 167-175.
- **BELLAL S.A., MOKRANE S., GHODBANI TA., OUASSINI DARI, (2015)**- Ressources, usagers et gestionnaires de l'eau en zone semi-aride : Le cas de la wilaya d'Oran (ouest algérien), Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement, pp 25-26 |2015, mis en ligne le 31 mars 2015, URL : <http://journals.openedition.org/tem/2859> ; DOI : 10.4000/tem.2859.
- **BENABADJI, BOUAZZA, (2000)** – quelques modification climatiques intervenues dans le sud-ouest de l'oranais (Algérie occidentales), Rev. Energ. Ren. Vol. 3. Pp 117- 125
- **BENSAOULA F., ABJIM M., (2008)**- la mobilisation des ressources en eaux, contexte climatiques et contraintes socio-économiques, Larhyss Jornal n° 7 Juin 2008, pp 79-92.
- **BEMMOUSSAT A., (2012)** - impact de l'acticité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna, Thèse de magister, université de Tlemcen, faculté de la technologie, département d'hydraulique, p 135.
- **BUENROSTRO O., BOCCO G., (2003)** – Solid waste managment in municipalitiesin Mexico: goal and perspectives. Ressources, Consevation and Recycling, pp 251 – 263.
- **BENNAMA T., YOUNSI A., ZOUBIR D., DEBAB A. (2010)** - Caractérisation et traitement physico-chimique des lixiviats de la décharge publique d'El-Kerma (Algérie) par adsorption en discontinu sur de la sciure de bois naturelle et activée chimiquement, Water Qual. Res. J. Can. Vol 45, n°1, pp 81-90.
- **BENNAMA T., (2011)** - identification des lixiviats de la décharge municipale d'El kerma (Oran) étude d'impact et traitement, Thèse de Doctorat, université USTO, département de chimie, génie de l'environnement, p 218.
- **BERNET N., PAUL E., (2006)** - Application of biological treatment systems for food-processing wastewaters. Dans Advanced Biological Treatment Processes for Industrial Wastewaters, F. Cervantes, S. Pavlostathis, and A. van Haandel (ed.), IWA Publishing, London.
- **BRAHIM D., (2012)** - environnement et développement durable, Cours Sciences économiques et de gestions, Université Virtuelle de Tunis, p 62.
- **BENZIANE A., (2013)** - Le système aquifère de la Grande Sebkh d'Oran : considérations géologiques et hydrogéologiques, Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, 2013, n° 35, pp 77-92.
- **BENSALEM M. B., (2008)** - Contribution à l'étude de l'efficacité de l'épuration des eaux usées dans la ville de Sidi Bel Abbes. Thèse de Magister, Univ. Djillali Liabes Sidi Bel Abbes, Algérie, p 120.

- **BOUANANI A., (2004)** - Hydrologie, transport solide et modélisation, étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie), Thèse de doctorat en géologie appliquée option hydrogéologie, Université de Tlemcen, Algérie
- **BOUANANI A., YOUSFI S., BABA-HAMED K., (2014)**- hydrodynamique et modélisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbes (Nord-ouest Algérien) , Revue semestrielle scientifique et technique, Le Journal de l'Eau et de l'Environnement, pp 108 – 117.
- **BOUCHIKHI T.Z., HASSAINE K., (2006)** - Procédure d'étude d'impact appliquée en Algérie : exemple d'une décharge contrôlée». TALOHA, France..
- **BOURAS D., et al., (2007)** - Evolution bioclimatique et action de développement sur le littoral occidental algérien, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 06, Décembre 2007, Algérie.
- **BOUMEDIENE M., HAMZA CHERIF S., RAMDANI C., (2016)** – efficacité du traitement de l'azote dans une station d'épuration à boues activées : cas de la STEP de Tlemcen, deuxième conférence internationale sur les ressources en eaux (évaluation, économie et protection) université d'Ouargla, 21 – 22 décembre 2016, Algérie.
- **BOUZID-LAGHA S., BELKHEIR D., (2012)** - Etude du phénomène d'eutrophisation dans le Barrage de Hammam Boughrara (Wilaya de Tlemcen, Algérie), Hydrological Sciences Journal, 57 :1, pp 186-201, DOI: 10.1080/02626667.2011.634417.
- **BOUTIBA Z., (2004)** - Vocabulaire de l'environnement marin. Ed. Dar El Gharb. Oran, Algérie. p 100.
- **BOUTIBA. Z., TALEB. Z., ABI AYAD. E., (2003)** - Etat de la pollution de la cote oranaise. Ed. Dar El Gharb, Oran,
- **BONTE D., LUKAC M., LENS L., (2008)** - Starvation affects two aerial dispersal decisions in *Erigone*-spiders in a different way. Bas. Appl. Ecol. 9: pp 308-315.
- **BOUALLA N., BENZIANE A., (2011)** - Étude expérimentale sur l'élimination des nitrates par adsorption sur des argiles activées et non activées de la sebkha d'Oran (Algérie), Afrique Science, Vol.7, N°2 (2011), pp 56-73.
- **BOUCIF A., (2006)** - Etude de la sismicité du bassin néogène de la Tafna, Thèse de Magister, Faculté des Sciences de la Terre, Université de Tlemcen, Algérie, p 94.
- **BOUCHENTOUF A., (2001)** - Législation foncière et filières de production immobilière à Sid Bel Abbès (Algérie), Thèse de Magister en géographie, option Aménagement de l'espace, Université d'Oran, P 234.
- **BOULGHORBA N., (2006)** - Protection de la ville de Skikda contre l'inondation-essai de PPRI. Thèse de magister, université de Batna (Algérie).
- **BOUCHET C., (2008)** - Recyclage et réutilisation des eaux usées : ou en sommes-nous ?, L'eau, l'industrie, les nuisances, n 308, pp 33-42.
- **BOUCENNA F., (2009)** – cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution d'une nappe côtière, cas de la plaine alluviale de l'oued Djendjen (Jijel, Nord – est Algérien), Thèse de Magister, Faculté des Sciences de la Terre, Département de Géologie, université Badji mokhtar Annaba, Algérie, p 133.
- **BREMOND R., PERRODON C., (1979)** - Les paramètres de la qualité des eaux, Ministère de l'environnement et cadre de vie France. Prevention des pollutions. 2ème ed: p 259.
- **BROZ J., (2006)**- Etude comparative des dangers et des risques liés au biogaz et au gaz naturel, INERIS – DRA – N° 46032 – 2006-JBr/Biogaz/1, rapport de Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable France, p 35.
- **CHENITI H., (2014)** - La gestion des déchets urbains solides: Cas de la ville d'Annaba, Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Université Badji Mokhtar Annaba, Faculté des Sciences de la Terre. Département des Mines, p 135.
- **CHAABANE A., (1993)** - Etude de la végétation du littoral septentrional de Tunisie : typologie, syntaxonomie et éléments d'aménagement, Thèse de Doctorat, Université AixMarseille III. Faculté Sciences et Technologie, département écologie. St Jerome, p 216.
- **CHANGNON S.A., HUFF F. A., HSU C.F., (1988)** - relation between precipitation and shallow grand water, journal of climate 1 , pp 1239 - 1250
- **CHARNAY F., (2005)** - Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost, Thèse de doctorat l'université de limoges, école doctorale Science – Technique – Santé Faculté des Sciences et Techniques Option Chimie et Microbiologie de l'Eau, France.

- **CHENAFI F., (2012)** - Transition démographique et mouvement naturel, séminaire national sur la situation démographique de l'Algérie, université d'Oran, le 21 et 22 mai 2012, pp 95 – 112
- **CHAPELLIER D., (2015)** – Diagraphies appliquées à l'hydrologie, Lavoisier, Paris.
- **CHBAT N., (2010)**- Les paysages de décharges publiques urbaines au Liban: quelle problématique ?, Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace, Projets de paysage n°4, du 18/07/2010, p 15.
- **CHADLI A., (2015)** - Isolement et caractérisation des bactéries biodégradantes d'hydrocarbures à partir de lixiviat du CET d'Ain Témouchent, Thèse de Doctorat, faculté des sciences de la nature de la vie, département de biologie, p 548.
- **CHORFA B., (2002)** - Projet SIG : le choix adéquat d'un dépotoir. Application sur la commune d'Aïn el Aouda- (Maroc). Projet pilote Centre régional africain des sciences et technologie de l'espace en langue française affilié à l'ONU Craste-LF. France.
- **CLAIR A., (1973)**- notice explicative de la carte lithologique de la région de Tlemcen au 1/100 000.
- **CIKANKOWITZ A., RAYMOND G., PIATYSZEK E., LAFOREST V., (2009)** - Evaluation et intégration de la sensibilité intrinsèque des milieux récepteurs dans une méthodologie d'évaluation des performances environnementales, déchets – revue francophone d'écologie industrielle n° 55, 3^{ème} Trimestre 2009- pp 27 – 35.
- **COLLET C., (1992)** - Système d'information géographique en mode image, collection gérer l'environnement, presses polytechniques Universitaire Romardes, CH- 1015 Lausanne. France.
- **COULON C., MEGARTSI M., FOURCADE S., MAURY R. C., BELLON H., LOUNI-HACINI A., COTTEN J., COUTELLE A., HERMITTE D., (2002)** -Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline volcanism during the Neogene in Oranie (Algeria): magmatic expression of a slab breakoff. Lithos 62, pp 87-110.
- **COLLIGNON B., (1987)** - La mise en exploitation des aquifères karstiques, quelques exemples algériens, revues karstologia n° 10, 2^{ème} semestre 1987, pp 17 – 24.
- **COTE M., JOANNON M., (1999)** - Les disparités spatiales en Méditerranée sud et est, *Revue Méditerranée*, tome 91 (Littoralisation et disparités spatiales Machrek Maghreb), n° 1-2, pp 5-12.
- **DAHMANE S., (2012)** - Evaluation de la gestion des *déchets* ménagers et assimilés de la ville d'Oran, Thèse de Magistère, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, Faculté des Sciences Département de Chimie, p76.
- **DALLONI, (1952)** - Paleontologie Stratigraphique, Quaternaire et Petrographie. Congres Geologique International. Comptes Rendus de la Dis-Neuvieme Session, Alger 1952. Section XIII. Questions Diverses de Geologie Generale. Troisieme Partie.
- **DAGHARI A., CHEDLI R. M., (2010)** - La décharge de déchets ménagers et assimilés ; une source de nuisance (apport de la télédétection et des SIG), livre de télédétection.
- **DEMAGNE J. C., (2001)** - Qualité des modèles numériques de terrain pour l'hydrologie, application à la caractérisation des régions de crues des bassins versants, Thèse de doctorat, Option science de l'information géographique, université de marne –la vallée, école doctorale information communication modélisation simulation, France.
- **DHAOUADI H., (2008)**- *Traitement des Eaux Usées Urbaines : Les procédés biologiques d'épuration.* Université Virtuelle de Tunis, p31.
- **DIEYE A. M., NDIONE J. A., (2005)** - Choix d'indicateurs pour l'évaluation de la Choix d'indicateurs pour l'évaluation de la dégradation des terres en zones semi dégradation des terres en zones semi-arides Résultats préliminaires du Projet Lada au Sénégal, Workshop on Environment Statistics, Dakar, 28 Feb-5 March 2005.
- **DIBI B., INZA D., KOFFI K., SORO N., KOUAME K. J., SAVANE I., (2007)**- Evaluation et Cartographie de la Vulnérabilité à la Pollution en Aquifère Confiné Selon La Méthode DRASTIC: Cas de La Région d'Aboisso, Sud-est de La Côte d'Ivoire. European Journal of Scientific Research, Volume 18, N° 3, pp 500-513.
- **DJEMACI B., (2012)** - La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité, Thèse de Doctorat, Sciences de l'environnement. Université de Rouen.
- **DONG C., JIN B., LI D., (2003)** – Predicting the heating value of MSW with a feed forward, neural network waste management, pp 103 – 106.

- **DOUMERGUE F., FERRAND M., (1962)** - Carte géologique de l'Algérie 1/50000. 270, Tlemcen, Algeria. Service de la carte géologique de l'Algérie
- **DUCHAUFOR P., (1997)** - Abrégé de pédologie: sol, végétation et environnement. 5è édition, Masson (ed).
- **DUDKOWSKI A., (2000)** - l'épandage agricole des boues de station d'épuration d'eaux usées urbaines, TNRA-MESS, France.
- **EL MORHIT M., (2009)** - Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences éco toxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuaires (BAS Lokkos), Thèse de Doctorat, Université Mohamed V-Agadir, Faculté des Sciences. p 232.
- **EL MORJANI Z., (2002)** - Conception d'un système d'information à référence spatiale pour la gestion environnementale; application à la sélection de sites potentiels de stockage de déchets ménagers et industriels en région semi-aride (Souss, Maroc), Thèse de doctorat, atelier de reproduction de la section de physique, section des sciences de la terre, faculté des sciences, Université de Genève.
- **ELIAS MAATOUK (2014)** - Caractérisation des eaux usées au Liban : impact sur le fonctionnement des stations d'épuration, THESE de Doctorat, Université Paris-Est École Doctorale Sciences, Ingénierie et Environnement Et L'Université Libanaise École Doctorale des Sciences et Technologie, Sciences de l'eau et de l'environnement, p 240.
- **EI MEHDI D., (2010)** – l'évaluation de la possibilité de réutiliser en agriculture l'effluent traité de la commune de Drarga, Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.), université de Sherbrooke, p 99.
- **EL HMAIDI A., LAYADI A., BOUFALA M., EL ABASSI M., ESSAHLAOUI A., EL OUALI A. (2015)** - contribution of GIS in the favorable site for location of the station purifying wastewater of Azrou city (Middle Atlas, Marroco), Larhyss Journal, n°21, March 2015, pp 7-14.
- **EMMANUELLE LE DORLOT, (2004)** - Les déchets ménagers : pour une recherche interdisciplinaire, *Strates* [En ligne], 11 |2004, mis en ligne le 14 janvier 2005. URL : <http://journals.openedition.org/strates/410>
- **EMBERGER L., (1955)** - Une classification biogéographique des climats. Recueil. Trav. Lab. Géol. Zool. Fac. Sci. Montpellier. France. pp 3-43
- **ENGEL B.A., NAVULER. COOPER, HAHN L., (1996)** - Estimating groundwater vulnerability to non-point source pollution from nitrates and pesticides on a regional scale. *Int. Assoc. Hydrol. Sci.*, 235. Pp 521-526.
- **ENCO, (2003)** - Etude d'exécution d'une nouvelle station d'épuration à Ain Témouchent, étude des milieux récepteurs W. Ain Témouchent. Algérie.
- **EPIC, (2007)** - Propreté d'Oran, Bilan d'activité de la décharge publique d'El-Kerma, Oran, Algérie.
- **EURL, (2002)** - Etude système d'épuration par lagunage à Emir AEK, W. Ain Témouchent, Algérie.
- **EVANS B.M., MYERS W.L., (1990)** - A GIS-Based Approach to Evaluating Regional Groundwater Pollution Potential with DRASTIC, *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 45, 1990, pp 242-245.
- **FARAOUN F., BENABDELI K., (2010)** - Cartographie et caractérisation physico-chimique des sols de la plaine de Sidi Bel Abbes (Algérie occidentale). *Afrique SCIENCE* 06 (3). pp18-26.
- **FENET B., (1975)** - Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du Bouclier africain. Thèse Doctorat. Etat, Université Nice.
- **FERKA ZAZOU N., (2006)** - Impact de l'occupation spatio-temporelle des espaces sur la conservation de l'écosystème forestier, cas de la commune de Tessala, Wilaya de Sidi Bel Abbes, Thèse de magistère en foresterie, université de Tlemcen, Algérie.
- **FEKHAOUI et PATEE, 1993 FEKHAOUI M., PATTEE E. (1993)**- Impact de la ville de Fès sur l'oued Sebou : étude physico-chimique. *Bull. Ins. Sci.(Rabat)*, 17, pp 1-12
- **GACHET C., (2005)** - Evolution bio-physico-chimique des déchets enfouis au Centre de Stockage de Déchets Ultimes du SYDOM du Jura sous l'effet de la recirculation des lixiviats, Thèse de doctorat, Institut National des Recherches Appliquées de Lyon. France.
- **GAUSSEN H., (1947)** - La carte botanique du monde au 1/1000000. *C. R. Ac. Sc.*, p 224

- **GAUTHE, OUOLOGUEM, (2012)** - Contribution à l'évolution de la stabilité structurale des sols bruns calcaires de la plaine de Sidi Bel Abbes, Université SBA, Mémoire de fin d'étude pour obtenir diplôme de l'ingénieur E.V.E. p 51.
- **GENEVIEVE M., (2011)** – analyse du cycle de vie des impacts environnementaux découlant de l'implantation de mesures d'atténuation d'ilots de chaleurs urbains, rapport de projet, Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits procédés et services (CIRAIG), École Polytechnique de Montréal, en collaboration avec l'Université de Montréal et l'École des hautes études commerciales de Montréal, p 15.
- **GHODBANI T., (2009)** – Environnement et littoralisation de l'ouest Algérien, thèse de doctorat de l'université d'Oran 2, faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers, département de Géographie et Aménagement du territoire, p 309.
- **GHODBANI T., BERRAHI-MIDOUN F., (2013)** - La littoralisation dans l'Ouest Algérien : analyse multiscalaire des interactions hommes-espaces-écosystèmes, Espace populations sociétés, 2013/1-2 | 2013, pp 231-243.
- **GHODBANI T., KANSAB O., KOUTI A., (2015)**- Développement du tourisme balnéaire en Algérie face à la problématique de protection des espaces littoraux. Le cas des côtes mostaganemoises, Études caribéennes, 33-34 | Avril-Août 2016, mis en ligne le 25 juillet 2016, URL : <http://journals.openedition.org/etudescaribeennes/9305> ; DOI : 10.4000/etudes caribeennes.9305.
- **GHADBANE, (2003)** - Les eaux usées urbaines. Thèse de Magister, université Mohamed Boudiaf M'sila, Algérie, p 147.
- **GLANDIER S., (2002)** – risques sanitaires liées aux fuites de lixiviats des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, mémoire de fin d'étude, ENSP Rennes, p 92.
- **GOURINARD Y., (1958)** - Recherches sur la géologie du littoral oranais. II. Epitogénèse et nivellement. p 200.
- **GUARDIA P., (1975)** - Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après de l'Oranie Nord occidentale (Algérie), relation structurales et paléogéographique entre Rif externe et Tell de l'avant pays atlasique. Thèse doctorat. Etat, Science., Nature, Nice.
- **GUARDIA P., (1975)** - Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie Nord – Occidentale, Ph. D. Thèse de doctorat, Université de Nice, France.
- **HASSANI M.I., (1987)** - Hydrogéologie d'un bassin endoréique semi-aride, le bassin versant de la grande Sebkhia d'Oran (Algérie), Thèse de doctorat 3^{ème} cycle, Université de Grenoble, France.
- **HAYANE S. (1983)** - Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Sikkak (région de Tlemcen). Thèse de Doctorat, Université d'Oran.
- **HANNACHI A., GHARZOULI R., DJELLOULI Tabet Y., (2014)**- gestion et valorisation des eaux usées en Algérie, Larhyss Journal, n°19, Septembre 2014, pp 51-62
- **HALLOUCHE B., BENYAHIA M., MOUEDDENE K., MAROK A., (2010)** - Apport de l'hydro géomorphologie dans la cartographie des zones inondables Exemple de la plaine de Sidi Bel Abbes (Algérie Nord occidentale). Sécheresse vol. 21, n° 3, juillet-août-septembre. pp 219-224.
- **HAMZA M., HAFEDH A., FRANCE'S A., RODRIGUEZ R., (2007)**- Validité de l'application des méthodes de vulnérabilité DRASTIC, SINTACS et SI à l'étude de la pollution par les nitrates dans la nappe phréatique de Metline–Ras Jebel–Raf Raf. C. R. Géoscience 339. pp 493-505.
- **HARDOUIN P., (2001)** - Le centre de tri sélectif, des emballages ménagers recyclables, GNU Free Documentation, Version 2.1. France.
- **HOUEROU H. N., (1975)** - problème et potentialités des zones arides nord africaines, options méditerranéennes 26, pp 17 - 36.
- **IGOUD S., SOUABI F., SEBTI A., (2007)** - Evaluation du gisement des déchets solides urbains d'Alger et proposition de leur valorisation énergétique par méthanisation, Conférence Internationale sur les Energies Renouvelables, ICRE'07 Université de Bejaia, Algérie.
- **ISABEL D., GELINAS P., AUBRE F., (1990)** - Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines au Québec. *Rev Sc Tech Eau*, 23. pp 255-258.

- **JUPSIN H., PRAET E., ET VASEL J., (2002)** - Caractérisation des lixiviats de CET et modélisation de leur évolution. Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management. Tunis, 2, pp 884-896.
- **KASBADJI MERZOUK N., (1994)** - An Evaluation of Wind Energy Potential in Algeria, Proceeding of EWEC' 94 Congress, Thessaloniki, Grece, 1994.
- **KASBADJI MERZOUK N., (2006)** - Evaluation du gisement éolien, contribution à la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie, Thèse de Doctorat en Physique énergétique, Tlemcen, Algérie, p114.
- **KACEMI M., (2006)** - Protection du littoral en Algérie entre politiques et pouvoirs locaux: le cas du pôle industriel d'Arzew (Oran, Algérie), Vertigo – La revue en sciences de l'environnement, Vol7no3, décembre 2006. Algérie.
- **KERFOUF A., BENYAHIA M., BOUTIBA Z., (2010-a)** - La qualité bactériologique des eaux de baignade du golfe d'Oran (Algérie littorale occidentale). *Revue de Microbiologie Industrielle, Sanitaire et Environnement*, vol. 4, n° 1, pp 22-31.
- **KHEDIM D., BOUCHIKHI M., (2013)**- Contribution à l'étude de l'influence des caractères physico-chimiques du sol sur la stabilité structurale ; cas de la plaine de Sidi Bel Abbes, mémoire de fin d'étude, faculté des sciences de la nature et de la vie, département des sciences de l'environnement, p 83.
- **KHELFAOUI L., (2013)** - Gestion durable du service public de l'eau et l'assainissement dans la ville de Tizi-Ouzou, Mémoire de Master en sciences économiques, Faculté des Sciences Economiques, Commerciales et des sciences de Gestion, Département des Sciences économiques, Université mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, p 130.
- **KHOULAI D., YOUNSI A., MEHDI K. & VERON A., (2005)** - Etude de l'impact des lixiviats sur les eaux souterraines (décharge publique d'El Jadida, Maroc) : hydrogéologie, géo-électrique, hydrochimie et isotopes. 3ème journées internationale des géosciences de l'environnement. El Jadida
- **KIEKKEN R., (1962)** - Géologie et stratigraphie des monts du Tessala. Oran : Fouquet éditions.
- **KINDA B., (2012)** - Pollution des déchets urbains Un véritable problème de santé publique, journal l'événement, Bimensuel Burkinabé, l'information est un droit.
- **KOUAME K.J., DEH S.K., ANANI A.T., JOURDA J.P., BIEMI J., (2007)** - Gestion des déchets solides dans le District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire) : Apports d'un SIG et des méthodes d'analyse multicritère, conférence francophone ESRI, SIG 2007, 10 et 11 octobre 2007 France.
- **KONATE S., (2012)** – Gestion des eaux usées domestiques dans le district de Bamako, cas de la commune V, mémoire de Master 2, Institut Universitaire de développement territorial. Bamako, P 45.
- **LASSOUANI A., (2008)** - Cartographie de l'aléa sismique ; Application à la commune de Bensakrane (W. Tlemcen). Thèse Magister, Université. Tlemcen, Algérie, p 102
- **LAZAROVA V., BRISSAUD F., (2007)** - Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France, L'eau, l'industrie, les nuisances, n° 299, pp 29-39.
- **LALLEMAND A., BARRES A., (1994)**- Normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions. BRGM-R37928, p 17.
- **LECOCQ A., (1987)** - Hydrogéologie en milieu volcanique - Etude de la partie nord du plateau basaltique du Devès (Massif central). Thèse université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, p 211.
- **LECLERCQ L., MAQUET B., (1987)** - Deux nouveaux indices chimique et diatomique de qualité d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents (bassin de la Meuse belge). Comparaison avec d'autres indices chimiques, biocénologiques et diatomiques. Inst. roy. Se. nat. Belg., Document de travail 38, p 113.
- **LEBLANC M., (1997)** - Modélisation numérique de la nappe quaternaire du Manga (Niger sud-oriental), Mémoire de DESS hydrogéologie et environnement, Université d'Avignon et des pays des Vaucluse, Laboratoire d'hydrogéologie, France.
- **LEBID H., (2001)**- Modèles de représentation de cartes hydrogéologique et de vulnérabilité à la pollution. Exemple de la carte de Sidi Bel Abbes au 1/50,000. Thèse de magister. Université d'Oran, Algérie.
- **LIVET M., (2004)** - Vulnérabilités des ressources en eau et protection des captages pour l'alimentation en eau potable. Revue française des laboratoires n° 364. France.

- **LISEC (2004)** - Contrôle van de fysicochemische kwaliteit van de viswaters van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, rapport effectué pour le compte de l'IBGE
- **LOX A., HOUTAIN A., (1999)** - La sélection des sites de décharge en Région wallonne (Belgique), Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 1999 3, France.
- **LOUNI-HACINI A., BELLON H. MAURY R. C., MEGARTSI M., COULON C., SEMROUD B., COTTEN J., COUTELLE A., (1995)** - Datation de la transition du volcanisme calco-alcalin au volcanisme alcalin en Oranie au Miocene supérieur. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, pp 975-982
- **LUCAS G., (1952)** - bordure nord des hautes plaines dans l'Algérie occidentale, XIX congrès géologique interne, Alger 1^{ère} série n° 21, pp 57-113
- **MAHBOUBI A., (1995)** - Contribution à l'étude des formations xérophytes de la région de Tlemcen. Thèse de Magistère en Ecologie Végétale, I.S.N. Univ. Tlemcen. Algérie.
- **MARNO DO CARNO LOURENCON DA SILVA (2008)**- Effet de la variabilité du fractionnement de la pollution carbonée sur le comportement des systèmes de traitement des eaux usées par boues activées, thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine (spécialité Génie des Procédés et des Produits), Nancy université, p 182.
- **MEZOUARI F., (2011)** - Conception et exploitation des centres de stockage des Déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux. Thèse de doctorat. Ecole polytechnique D'Architecture et d'Urbanisme.
- **METAHRI MS., (2012)** - Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de Doctorat. Université de MOULOU MAMMARI de Tizi-Ouzou.
- **MEDAFER F., KHEMISSI R., (2014)** - Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran (Région Ouest). Mémoire de fin d'études, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Faculté de Chimie-Département de Chimie Organique Industrielle. p 125
- **MEHDI MEKAIKIA M., BELABBED B., DJABRI L., HANI A., LAOUR R., (2007)** – caractéristiques de la décharge publique de la ville de Tiaret et son impact sur la qualité des eaux souterraines, Courrier du Savoir - N°08, Juin 2007, pp 93-99.
- **MINISTRE WALLON DE L'ENVIRONNEMENT, (2004)** - Gérer les déchets ménagers, guide de bonne pratique pour prévenir la production des déchets ménagers, Région wallon.
- **MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, (2007)** - Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, Algérie.
- **MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, (2003)** - Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, Algérie.
- **MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, (2000)** - Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, Algérie.
- **MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, (2002)** - Plan national d'action pour l'environnement et le développement durable, Algérie.
- **MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU, (2009)** - Parc des stations d'épuration, Algérie.
- **MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, (2005)** - Cahier de charge de l'étude préalable à la réhabilitation de la décharge de (Nom de lieu dit) à (nom de commune), France.
- **MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, (2003)** - Manuel d'information sur la gestion et l'élimination des déchets solides urbains, Maroc.
- **MOISSETTE P., (1988)** - Faune de bryozoaires du Messinien d'Algérie occidentale. *Doc. Lab. Géol., Fac. Sc., Lyon*, 102, 351 p.
- **MOUSSA K., (2006)** - Etude d'une Sebkhia : la Sebkhia d'Oran (Ouest algérien), thèse de Doctorat, faculté des sciences de la terre, département de géologie, Université d'Oran 2, p 205.

- **MOZAS MORGAN, GHOSN A., (2013)** - État des lieux du secteur de l'eau en Algérie, Études & analyses, Ipemed, L'Institut de prospective économique du monde méditerranéen, p 25.
- **MOHAMED R.M., (2001)**- Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher, Nord-est Algérien, selon la méthode DRASTIC. Sciences et changement planétaires. Sécheresse, 12 (2). pp 95-101.
- **MOLLETA R., (1993)** - La digestion anaérobie: du plus petit au plus grand Biofutur. France.
- **ONS, (2008)** - 5^{ème} recensement général de la population et de l'habitas, données statistiques n° 496, les résultats préliminaires. Algérie.
- **OUIS S., (2012)** - Impact des fluctuations climatiques sur la quantité et la qualité des eaux souterraines d'une région semi-aride : cas de la plaine de Ghriss (Nord-ouest Algérien), Larhyss Journal, n° 11, Novembre 2012, pp 119-131.
- **OUBADI M. (2012)** - étude de performance d'un procédé d'épuration OXYLAG, cas du lagunage de la ville de Mekmen Ben Ammar wilaya de Naama, thèse de magister, en science de l'environnement et climatologie, faculté des sciences, département de physique, p 74.
- **OULHADJ D., (2014)** – Analyse et optimisation du traitement des nutriments par boues activées- cas de la STEP d'El Kerma Oran, Thèse de Magister, université d'Oran USTO, département d'hydraulique,
- **OZANE F., (1990)**- Les lixiviats de décharge, le point des connaissances en 1990. Techniques sciences et méthodes -l'Eau, pp 298-312.
- **PAIN-ORCET M., LO SEEN D., FAUVET N., TREBUCHON J.F., DIPAPOUNDJI B., (1998)** - Les cartes, la télédétection et les SIG, des outils pour la gestion et l'aménagement des forêts tropicales d'Afrique Centrale. Rapport de CIRAD-Forêt, p28.
- **PNUE (PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT), (2004)** - Les enjeux du millénaire urbain. Algérie.
- **RAMDANI N. (2007)** – contribution à l'étude de boues urbaines de la station d'épuration des eaux résiduaires, effet sur la fertilité d'un sol sableux, thèse de magister, en science de l'environnement et climatologie, faculté des sciences, département de physique, p 136.
- **REITZEL A., (1990)**- The temporal charachterisation of municipal solid wast leachate. Waterloo, Ontario, Masters of appleid science, university of waterloo. P 144.
- **REMILI S. et al., (2009)** - Surveillance environnementale et développement durable côtier, (cas du littoral Oranais), proceeding Cinquième Colloque International Et développement durable Hammamet, 15-16 et 17 juin 2009 Tunisie.
- **REINHART D.R., TOWNSEND T.G., (1998)** - Landfill bioreactor design and operation. Lewis Publishers, Boca Raton, NY, p 189.
- **REDJAL O. (2005)** - Vers un développement urbain durable...Phénomène de prolifération des déchets urbains et stratégie de préservation de l'écosystème. Exemple de Constantine, Thèse de Magistère, Université Mentouri, Constantine, Faculté des sciences de la terre, de Géographie et de l'aménagement du territoire, Département d'architecture et d'urbanisme, p 170.
- **ROUSSEAU F., (2004)** - Etude des modèles numériques de terrain pour améliorer la fiabilité des calculs d'aléa et de vulnérabilité. Thèse de doctorat, option science de l'information géographique, Université de Marne-la-Vallée, école doctorale information communication modélisation simulation, France.
- **SALLY ZGHEIB (2009)**- Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire, thèse de doctorat, école nationale des ponts et chaussées, Sciences et Techniques de l'Environnement, p 349.
- **SBARGOUD S., (2013)**- Validité de l'application de la méthode de vulnérabilité DRASTIC à l'étude de la pollution par les nitrates dans la Mitidja (Nord d'Algérie). Conférence GeoTunis. 08-12 Avril. Tunisie.
- **SCHNEBELEN N., PLATEL J. P., LENINDRE Y., BAUDRY D., (2001)** - Gestion des Eaux Souterraines en Aquitaine Année 5, Opération Sectorielle, Protection de la nappe de l'oligocène en région bordelaise, cartographie de la vulnérabilité à la pollution. Rapport BRGM/ Rp-51178. France. p 75.

- **SELTZER P., (1946)** - Le climat de l'Algérie. Inst. Météo. Et de Phys. Du globe. University Alger, p 219
- **SEMMOUD B., (1986)** - Industrialisation et espace régional en Algérie, le cas de l'Oranie littorale, *tomés 1 et 2*, Alger, OPU, 703 p.
- **SEFOUHI L., KALLA M., AOURAGH L., (2010)** - Etude pour une gestion durable des déchets ménagers de la ville de Batna (Algérie), *Déchets sciences et techniques*, N° 58, pp 11-15.
- **SINAN M., MASLOUHI R., RAZACK M., (2003)**- Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc, 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003.
- **SIDI OULD ALOUEIMINE, (2006)** - Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie), contribution à la gestion et outils d'aide à la décision, Thèse de doctorat, Université de Limoges, Faculté des Sciences et Techniques, Ecole Doctorale Science, Technologie. France.
- **SMIDA H., ABDELLAOUI C., ZAIRI M., BEN DHIA H., (2010)** - Cartographie des zones vulnérables à la pollution agricole par la méthode DRASTIC couplée à un Système d'information géographique (SIG):cas de la nappe phréatique de Chaffar (sud de Sfax, Tunisie). *Science et changements planétaires / Sécheresse* volume 21, numéro 2, avril mai et juin. pp 131-146.
- **STRAHLER A.N., (1957)** - Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 63, pp 1117-1142
- **SOURISSEAU B., (1973)** - Etude hydrogéologique de la nappe de Sidi Bel Abbes. Rapport de la direction des études de milieu et de la recherche hydraulique. p 80.
- **TARBOTON D.G., BRAS R.L., RODRIGUEZ-ITURBE I., (1991)** - On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data, *Hydrologic Processes*, 5(1) pp 81-100.
- **TAGHEZOUT F., (2015)**- Impact environnemental des rejets d'eau le long du littoral occidental Algérien, thèse de Doctorat, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, science de l'environnement.
- **TAYEB, (2016)**- Audit environnemental de la région d'Arzew, Wilaya d'Oran, Thèse de Doctorat, faculté des sciences exactes et appliquées, Université d'Oran 1, p 265.
- **TALEB M.Z., (2007)** - La moule mytilus galloprovincialis, bioindicatrice de pollution marine, cas du port d'Oran, *Sciences & Technologie C – N°25*, Juin (2007), Algérie.
- **THOMAS G. 1985** -Géodynamique d'un bassin intramontagneux. Le bassin du Bas Chélif occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire. Thèse es-Science., Université Pau & Pays de l'Adour, 2 t., p 594.
- **THINTOIN R., (1960)** - Les Trara, étude d'une région musulmane d'Algérie, *Bull, Soc, Geogr. Arch. Oran Algérie*.
- **THÉRIAULT M., et al., (1995)** - Combing hedonic modeling, GIS and spatial statistics to analyze residential markets in the Quebec urban community, joint European conference on geographical information AM/FM/GIS , EGIS, urban data management society the hague, March 26/31 1995 proceeding Vol2. France.
- **THORNTHWAITE C.W., (1933)** - The climates of the Earth. *Geogr. Rev.* 23, pp 433-440.
- **TILMOULALI Y., MEDOURI A., (2000)** - Principes, méthodes et applications de la télédétection. ISESCO 1421H/2000 France.
- **TRACHE, S.M., (2010)** - *Mobilités résidentielles et périurbanisation dans l'agglomération oranaise*, Thèse de doctorat d'État en géographie, Université. d'Oran-Es Sénia, p 369.
- **TREBOUET D., BERLAND A., SCHLUMPF J. P., JAOUEN P., QUEMENEUR F. (1998)** - Traitement de lixiviats stabilisés de décharge par des membranes de nanofiltration. *Revue des sciences de l'eau/ Journal of Water Science*, 11(3), pp 365-382.
- **VALIRON F., (1983)** - La réutilisation des eaux usées. Document technique.
- **VALIN J., (1972)** - Les sources de la démographie magrébine, Séminaire de démographie, Université d'Oran, avril 1972, p12.
- **WARITH M., et al., (2005)**- Bioreactor Landfills: State-of-the-Art Review; *Emirates Journal for Engineering Research*, 10 (1), 1-14.

- **WILLIAMS J. R., KISSEL D.B., (1991)** - Water percolation: an indicator of nitrogen-leaching potential. Chapter 4. In: R. F. Follett, D. R. Keeney, and R. M. Cruse (eds.). Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI. pp 59-83
- **YELLES-CHAUCHE A.K et al., (2004)** - The Ain Temouchent (Algeria) Earthquake of December 22nd, 1999. Pure and Applied Geophysics, Birkha user Verlag, Basel, P 612.
- **YOUB OKKACHA (2008)**- Epuration des eaux usées par lagunage naturel : Etude de la performance du dispositif de traitement des eaux usées par lagunage naturel d'Ain Ouarka, Thèse de Magister, Université Ahmed Ben Bella d'Oran1 Es Senia, Département de Physique, p 99.
- **YOUSFI S., (2008)** - Hydrodynamique et modélisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbes (Nord- ouest Algérien). Thèse de Magister, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, Faculté des sciences, Département des sciences de la terre, Algérie. p 91.
- **ZEGELSM A., (2004)**- Gérer les déchets ménagers, Guide de bonnes pratiques pour prévenir la production de déchets ménagers, Document du Ministre de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme et de l'Environnement pour la Région wallonne.
- **ZEROUALI A., (1994)** - Elaboration de la vulnérabilité moyennant la méthode DRASTIC et le système d'information géographique (SIG), cas de la nappe de Souss Chtouka, Guidebook on mapping groundwater vulnerability, volume n° 16. Tunisie.

Annexes

Annexe1

Fiche technique de la décharge

1. Nom de la décharge:.....
2. Commune:.....
3. Wilaya.....
4. Localisation de la décharge:.....
5. Caractéristique de la décharge:
 - Autorisation: ouinon.....
 - Date de mise en exploitation.....
 - Superficie.....
6. Caractéristique du site:
 - Nature du sol.....
 - Existe une étude de sol oui.....non.....
 - Perméabilité.....
 - Ressources souterraines.....
 - Ressources superficielles.....
 - Fait l'objet d'une étude d'impact oui.....non
7. Aménagement de la décharge
 - Type d'aménagement.....
 - Type de traitement
8. Natures des déchets rejetés
 - Plastique.....
 - Verres.....
 - Textiles.....
 - Papiers.....
 - Bois.....
 - Matières organiques.....
 - Autres
9. Volume de déchets.....
10. Récupération des déchets.....
 - Nature des déchets recyclés

Annexe 2

Fiche technique du milieu récepteur des eaux usées

1. Nom.....
2. Commune.....
3. Wilaya.....
4. Réseau d'assainissement oui.....non.....
5. Type de réseau séparatif.....unitaire..... Les deux.....
6. Taux de raccordement.....
7. Volume de rejet.....
8. Qualité des eaux usées
9. Traitement des eaux usées ouinon.....
10. Si oui, nature de traitement
11. Traitement des boues
12. Le milieu récepteur
 - oued.....
 - lac
 - sebkha.....
 - mer
13. Caractéristiques du milieu récepteur
 - Type du sol
 - Perméabilité.....
 - Nappes.....
14. Existe une étude d'impact ouinon
15. Existe une étude de sol ouinon.....

Glossaire

- **Aide à la décision:** Activité de l'*homme d'étude* ayant pour objectif d'obtenir des éléments de réponse aux questions qui se pose un *intervenant* d'un *processus de décision*. Ces éléments concourent à éclairer la décision, à améliorer la cohérence entre l'évolution de ce processus, les objectifs et le système de valeurs de cet *intervenant*. Normalement le processus conduit à une *recommandation*.
- **Affluent** Cours d'eau qui se jette dans un autre.
- **Alluvions** Dépôts d'éléments fins ou grossiers laissés par un cours d'eau quand sa vitesse réduite n'en permet plus le transport.
- **Aquifère** Formation géologique contenant de façon temporaire ou permanente de l'eau mobilisable (lit ou strate), constituée de roches perméables (formations poreuses et/ou fissurées) et capable de la restituer naturellement et/ou par exploitation (drainage, pompage, ...).
- **Aménagement du territoire** Politique et moyens visant à mieux répartir les activités humaines et économiques sur l'ensemble du territoire national (compenser les handicaps de certaines zones rurales ou en périphérie urbaine). Actuellement, on associe à l'aménagement du territoire la notion de *développement durable*, censé garantir à la fois le progrès économique, l'équité sociale et la qualité de l'environnement.
- **Analyse multicritère:** Analyse ayant pour but d'explicitier une *famille cohérente de critères* permettant d'appréhender les différentes conséquences d'une action.
- **Analyse spatiale** Etude de la position géographique et de la forme des *entités* géographiques, ainsi que des relations qui existent éventuellement entre elles, au moyen de techniques de modélisation, d'examen et d'interprétation, afin d'évaluer, d'estimer, de prévoir et de comprendre ces relations. Dans un *SIG*, l'analyse spatiale peut s'exécuter au moyen de diverses méthodes : comparaison par superposition, *classification*, mesurage, visualisation en réseau, structure de proximité.
- **Attribut** Caractéristique d'une *entité cartographique*. Les attributs d'une rivière, par exemple, peuvent comprendre son nom, sa longueur, sa profondeur moyenne, etc. Un *SIG* stocke les attributs dans des tables et les lie aux *entités cartographiques* qu'ils décrivent.
- **Assainissement** Exécution des mesures de *confinement* ou de *décontamination* qui assureront, même à long terme, l'absence de danger pour l'environnement.
- **Base de données** Ensemble de *thèmes* cartographiques (comprenant leurs entités et les informations qui les décrivent) organisés de manière à optimiser l'efficacité du stockage et de la récupération des données par de multiples utilisateurs.
- **Bassin versant** Zone géographique correspondant à l'aire de réception des précipitations et d'écoulement des eaux souterraines et de surface vers un cours d'eau. Les limites sont la ligne de partage des eaux superficielles.
- **Bande spectrale** Intervalle du spectre des longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique.
- **Biogaz** Gaz produit par la dégradation en *anaérobiose* de la *matière organique*. Il comprend du méthane (55 à 60 %) du gaz carbonique (40 à 45 %) et d'autres gaz à l'état de trace (notamment malodorants à base de soufre).
- **Carte** Représentation graphique d'une région à l'aide de formes illustrant des objets et des symboles destinés à décrire la nature de ces objets, organisés selon leur position géographique.
- **Carte numérique** Représentation d'éléments cartographiques dans un format permettant à un système informatique de les stocker, de les manipuler et de les afficher
- **Capteur** Instrument qui recueille de l'énergie rayonnante provenant de la *scène* (ou *cible*) visée et fournit un signal électrique correspondant, à des fins de mesure. Un capteur actif est un capteur auquel est incorporé ou associé un émetteur qui irradie la *scène* dans la *bande spectrale* du récepteur.
- **Critère:** Expression qualitative ou quantitative des points de vue, objectifs, amplitudes ou de contraintes relatives au contexte réel, permettant de juger et évaluer des *actions potentielles*. Le critère doit être utile pour le problème considéré et fiable, on peut y associer une échelle en valeurs ordinales ou cardinales.

- **Coordonnées** Couple (ou triplet) de valeurs numériques permettant de positionner un point dans un plan (coordonnées planaires) ou sur une surface (coordonnées géographiques).
- **Couche** Ensemble de données organisées sous forme de plan d'information et regroupées par thème ou éléments géographiques de même type (villes, routes, divisions administratives, végétation...). Conceptuellement, une couche est similaire à une *couverture*.
- **Collecte** Opération consistant en l'enlèvement des déchets chez le producteur (les ménages pour les ordures ménagères) ou aux points de regroupement en vue de leur transport.
- **Compostage** Processus micro biologique de dégradation de la matière organique non synthétique (fraction fermentescible des déchets ménagers, déchets verts, boues de station d'épuration) en présence d'oxygène (en aérobiose), destiné à produire du *compost*. La production d'un *compost* de qualité nécessite, en amont des centres de compostage, un tri des ordures ménagères brutes, afin d'en éliminer les éléments non biodégradables..
- **Croisement spatial** Processus qui consiste à superposer des *couches* (thèmes) de données géographiques occupant le même espace dans le but d'étudier les relations qui existent entre ces données.
- **Classification d'image** Méthode d'analyse des données qui permet de ranger des objets (*pixels* ou *entités géographiques* quelconques) dans des *classes*. Chaque objet doit être rangé dans une classe et une seule. On distingue 2 grandes catégories de classification: dirigée, non dirigée.
- **Décideur** Celui des intervenants d'un *processus de décision* auquel s'adresse l'*aide à la décision*. Il s'agit de l'entité (par exemple personne physique ou morale, communauté) qui apprécie les "possibles", fixe les objectifs, exprime les préférences et est censée les faire prévaloir dans l'évolution du processus.
- **Décharge contrôlée** Toute installation où les déchets sont stockés définitivement et sous surveillance. Selon la législation marocaine, on distingue cinq types :
 1. les décharges des déchets ménagers.
 2. les décharges des déchets inertes.
 3. les décharges des déchets industriels non dangereux.
 4. les décharges des déchets industriels dangereux.
 5. les décharges des déchets médicaux.
- **Décharges sauvages** Elles résultent d'apports clandestins réalisés par des particuliers pour se débarrasser de déchets.
- **Déchets** Tous résidus d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ou à l'obligation de s'en débarrasser dans le but de ne pas nuire à la collectivité et de protéger l'environnement.
- **Développement durable** Modèle de développement permettant de répondre aux besoins des générations actuelles sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Il s'agit d'un modèle multidimensionnel qui repose sur trois bases indissociables :
 - le développement économique,
 - le développement social,
 - la préservation de l'environnement.
- **Données géographiques** Informations renseignant sur les objets observés à la surface de la Terre, y compris leur position géographique, leur forme et leur description. Les données géographiques peuvent se présenter sous différentes formes : *données spatiales* (localisées), *données tabulaires* (littérales) et *données image*.
- **Evaluation** Détermination de la valeur de la performance d'une *action* sur un *critère*.
- **Évaluation du risque** Estimation du danger pour l'environnement que peut représenter le site sur la base des critères.
- **Echelle** Relation entre les dimensions des *entités* d'une *carte* et celles des objets géographiques réels qu'elles représentent, généralement exprimée sous forme de fraction ou de rapport. Par exemple, une échelle de 1/50 000ème ou 1:50 000 signifie qu'à chaque unité de distance représentée sur la carte correspondent 50 000 unités de distance au sol.

- **Emission** Energie rayonnée dans une *longueur d'onde* définie, pendant l'unité de temps, par l'unité de surface d'un corps à une température déterminée.
- **Entité** Forme géométrique (et sa position géographique) utilisée pour représenter un objet du monde réel sur une *carte*. Il existe trois types d'entités : les points (*entités ponctuelles*), les polygones (*entités linéaires*) et les polygones (*entités surfaciques*).
- **Environnement** Ensemble des conditions externes ou ambiantes (physiques ou culturelles) qui exercent une action ou une influence sur la vie et le développement d'un être vivant ou d'une société.
- **Poids** Coefficient exprimant l'importance attribuée par un *décideur* à un *critère*.
- **Géoréférencement** Processus qui consiste à établir une relation (mathématique) entre des coordonnées papier (exemple : centimètres ou millimètres) sur une *carte* plane et des coordonnées réelles (géographiques).
- **Gestion de l'environnement** Ensemble des activités de management qui déterminent la politique environnementale, les objectifs et les responsabilités et qui la mettent en oeuvre par des moyens tels que la planification des objectifs environnementaux, la mesure des résultats et la maîtrise des effets sur l'environnement.
- **Gestion des déchets** Toutes les opérations relatives à la production, à la précollecte, à la collecte, au transport, à la *décharge*, au *traitement*, à la *valorisation* et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations ainsi que la surveillance des sites de décharges pendant la période de leur exploitation ou après leur fermeture.
- **Grille** Structure composée d'un ensemble de mailles carrées (*cellules*) de mêmes tailles et organisées en lignes et en colonnes. A chaque *cellule* est associée une valeur numérique entière ou décimale. Les grilles sont toujours orientées suivant les axes du système de référence spatiale.
- **Interpolation** Estimation de la position ou de la valeur d'un point entre des points dont les coordonnées ou les valeurs sont connues.
- **Image composite** Représentation significative d'une image obtenue par une ou plusieurs combinaisons de couleurs. En général à chaque couleur correspond une bande de l'image.
- **Interprétation d'image** Opération qui consiste à inférer ou à identifier des objets et des formes sur l'image.
- **Indice de végétation par différence normalisée (NDVI)** Fraction du rayonnement photosynthétiquement actif. Elle se calcule à partir des *réflectances* mesurées dans les *bandes visible* et proche infrarouge.
- **Longueur d'onde** Distance minimale entre deux événements d'un phénomène se reproduisant à intervalle périodique comme par exemple les crêtes de vagues.
- **Lixiviats** Eaux ayant percolé à travers les déchets stockés en décharge en se chargeant bactériologiquement et chimiquement. Le lixiviat doit être collecté et traité.
- **Matrice de confusion (d'erreurs)** Moyen de déterminer la *précision* d'une classification. Représente le nombre de pixels en fonction du nombre de pixels classifiés.
- **Maximum de vraisemblance** Critère de décision statistique fondé sur le calcul de la vraisemblance et servant à classer des éléments d'image dans des classes spectrales.
- **MNA** Représentation sous forme numérique du relief d'une zone géographique. Le modèle numérique peut être composé d'*entités* vectorielles *ponctuelles* (points cotés), *linéaires* (courbes de niveau), *surfaciques* (facettes) ou représenté en *mode raster* (cellules).
- **Mode raster (pixel) ou Mode matriciel** Mode de représentation cartographique constitué de cellules uniformes appelées *pixels* (= mode image). Le mode raster perd de la lisibilité et du sens avec l'effet zoom.
- **Mode vecteur** Mode de représentation cartographique constitué essentiellement de points, de lignes, de polygones (= mode objet). Le mode vecteur permet de conserver une grande précision quel que soit le zoom.
- **Numérisation (digitalisation)** Transformation à l'aide d'une table à digitaliser, d'un pointeur à l'écran ou d'un scanner, un document graphique papier (plan ou carte) en un fichier numérique en *mode vecteur* (après digitalisation) ou en *mode raster* (après scannérisation).
- **Niveau piézométrique** Niveau d'eau rencontré dans les forages, rattaché à une cote d'altitude, à une date donnée. Ces niveaux sont mesurés dans des forages de petit diamètre (piézomètre) qui permettent le passage d'une sonde

de mesure de niveau. L'ensemble des niveaux piézométriques d'une nappe constitue la surface piézométrique de la nappe

- **Pente** Angle d'inclinaison d'un terrain par rapport à l'horizontale. La pente peut être exprimée sous forme de rapport numérique, en pourcentage ou en degrés. Elle est représentée sur les cartes par des courbes de niveau, un estompage ou des hachures. Les courbes de niveau sont d'autant plus rapprochées que la pente est abrupte.
- **Plan d'occupation des sols** Document d'urbanisme qui définit au niveau de la commune l'usage des différentes parcelles du territoire communal. Il prévoit les zones d'urbanisation, les espaces naturels et agricoles à protéger et fixe la densité des constructions.
- **Projection cartographique** Système utilisé pour transposer les positions de *latitude* et de *longitude* sur la surface courbe du globe terrestre en positions x,y sur la surface plane de la carte. Cette transformation s'obtient au moyen de méthodes géométriques ou, plus souvent, de formules mathématiques.
- **Résolution** Aptitude, d'un instrument d'observation ou de mesure, à discriminer deux objets ou deux valeurs proches l'une de l'autre.
- **Recyclage** Réintroduction d'un matériau récupéré dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première vierge (verre, papier, métal, ...).
- **Satellite** Véhicule mis sur orbite autour de la terre ou autour d'un autre corps céleste et servant de plate-forme de collecte et de transmission de données.
- **Scène** Domaine observé dont les limites résultent des conditions d'observation à un moment donné. Par extension, image de ce domaine considéré comme un produit commercialisable.
- **Téledétection** Ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci. Télé signifie "à distance" et détection veut dire "découvrir" ou "déceler".
- **Traitement d'image** Ensemble des diverses opérations de traitement des données de photographie ou d'image, incluant notamment la compression d'image, la restauration d'image, l'accentuation d'image, le prétraitement, la quantification, le filtrage spatial et toutes autres techniques de reconnaissance de formes de l'image.
- **Traitement des déchets** C'est l'ensemble des opérations qui transforment un *déchet* : *compostage*, *tri*, *valorisation*, *incinération*, traitement physico-chimique, stabilisation,..., en vue soit d'obtenir une matière première secondaire, soit de diminuer la toxicité du *déchet* initial.
- **Zone tampon** Fonction d'analyse spatiale qui consiste à créer une zone d'extension, aux dimensions définies par l'opérateur, autour d'un point, d'une ligne ou d'un polygone.

Liste des abréviations

- **ANRH** Agence nationale des ressources en eaux
- **ADE** Algérienne des eaux
- **ADEME** Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
- **ACP** Analyse en Composantes Principales
- **AEP** Approvisionnement en Eau Potable
- **AM** Analyse multicritère
- **ANAT** Agence nationale d'aménagement du territoire
- **BM** Banque Mondiale
- **COT** Carbone Organique Total
- **CSD** Centre de Stockage des Déchets
- **CTS** Centre des techniques spatiales
- **DBO5** Demande biochimique en oxygène 5 jours
- **DCO** Demande chimique en oxygène
- **DM** Déchets ménagère
- **CET** Centre d'enfouissement technique
- **CTS** Centre des techniques spatiales
- **CT** Centre de tri
- **DH** Déchet hospitalier
- **DMS** Déchets ménagère spéciaux
- **EIE** Etude d'impact d'environnement
- **ETM** EvapoTranspiration Maximale (mm)
- **ETP** EvapoTranspiration Potentielle (mm)
- **ETR** EvapoTranspiration Réelle (mm)
- **ESRI** Environmental Systems Research Institute
- **FAO** Food and Agriculture Organization of the United Nations(Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)
- **GES** Gaz à Effet de Serre
- **IDW** Inverse Distance Weighted
- **ISDMI** Installations de Stockage pour les Déchets Ménagers et Industriels
- **MNA** Modèle numérique d'altitude
- **MNT** Modèle numérique de terrain
- **MATE** Ministère d'aménagement du territoire et d'environnement
- **MIOM** Mâchefers d'Incinération des ordures Ménagères
- **MO** Matière organique
- **NDVI** Normalized Difference Vegetation Index, (indice de végétation normalisé)
- **ONS** Office national des statistiques
- **OMM** Organisation Mondiale de la Météorologie
- **OMS** Organisation Mondiale de Santé
- **P** Précipitations totales (mm)
- **PDAU** Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme
- **POS** Plan d'occupation du sol
- **PED** Pays en développement
- **PI** Pays industrialisée
- **R** Ruissellement
- **STEP** Station d'épuration des eaux usées
- **SNV** Substances non volatiles
- **SIG** Système d'information géographique
- **SIRS** Système d'information à référence spatiale
- **SPOT** Système pour l'observation de la terre
- **TLD** Télédétection
- **TIN** Triangular Irregular Network (trame irrégulière de triangles)
- **TIN** Triangular Irregular Network (trame irrégulière de triangles)
- **T** Température
- **UTOM** Unité de Traitement des Ordures Ménagères
- **UV** Ultra violet
- **VN** Valeur Numérique du pixel

Liste des cartes

Carte 1. Localisation de la zone d'étude (Carte topographique d'Algérie 1/ 2 000 000).....	5
Carte 2. Situation administrative de la zone d'étude.....	9
Carte 3. Répartition des principales zones naturelles de la zone d'étude	10
Carte 4. Carte hypsométrique de la zone d'étude	13
Carte 5. Carte des pentes de la zone d'étude	14
Carte 6. Carte géologique de la zone d'étude	20
Carte 7. Carte de réseau hydrographique et des bassins-versants de la zone d'étude	25
Carte 8. Répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles dans la zone d'étude.....	30
Carte 9. Carte hydrogéologique et les types d'aquifères dans la plaine de Sidi Bel Abbès.....	44
Carte 10. Zones aquifères dans le bassin de Tafna.....	46
Carte 11. Carte de nombre d'habitants en 1987 par communes	50
Carte 12. Carte de nombre d'habitants en 1998 par communes	51
Carte 13. Le taux d'accroissement de la population par communes entre (1987-1998).....	52
Carte 14. Carte de nombre d'habitants en 2008 par communes	54
Carte 15. Le taux d'accroissement de la population par communes entre (1998 -2008).....	55
Carte 16. Carte de densité de la population par communes en 1987.....	58
Carte 17. Carte de densité de la population par communes en 1998.....	59
Carte 18. Carte de densité de la population par communes en 2008.....	60
Carte 19. Processus d'urbanisation à Oran (KADRI et al., 2015).....	62
Carte 20 (A,B,C,D). Évolution de l'extension urbaine en 1987 à 2014 dans les villes.....	64
Carte 21. Répartition spatiale des zones industrielles et d'activités dans la zone d'étude.....	69
Cartes 22. (A,B,C,D) Cartes d'occupation du sol par wilayas dans la zone d'étude en 2014.....	85
Carte 23. Carte d'occupation du sol de la zone de Sidi Bel Abbès à partir de l'image Alsat-2A...92	
Carte 24. Carte de réseau routier de la zone d'El Kerma, à partir d'une image SPOT5 en 2016	95
Carte 25. Carte de réseau routier de la zone d'Ain Témouchent, à partir d'une image Landsat 8 en 2014.....	96
Carte 26. Carte de réseau routier de la zone de Sidi Bel Abbès, à partir d'une image Landsat 8 en 2014.....	96
Carte 27 (A,B,C,D). Cartes des pentes par wilayas de la zone d'étude (MNT Aster, 2002).....	100
Carte 28. Délimitation des bassins versants dans la zone d'étude à partir d'un MNT.....	105
Carte 29. Réseau hydrographique hiérarchisé automatiquement de la zone d'étude.....	107
Carte 30(A,B,C). Cartes lithologiques de la zone d'étude.....	109
Carte 31 (A,B,C). Cartes de la perméabilité des formations lithologiques dans la zone d'étude	113
Carte 32. Localisation géographique des décharges et centres d'enfouissement techniques dans la zone d'étude.....	126
Carte 33. Situation géographique du CET et l'ancienne décharge d'Ain Témouchent en 2016...128	
Carte 34. Localisation du centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbès	133
Cartes 35. Production de déchets solides par communes en 2014.....	148
Carte 36. Carte géologique du bassin de la sebkhia d'Oran (BENZIANE, 2013).....	161
Carte 37. Décharge d'El Kerma par rapport à la profondeur de la nappe alluviale.....	162
Carte 38 (A,B,C,D,E). Carte d'isoteneur des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines (moyenne des années 2005, 2006, 2007 et 2012).....	164
Carte 39. Cadre structural de la wilaya d'Ain Témouchent (YELLES-CHAOUCHE, 2004).....	167

Carte 40. Distance du CET par rapport au cours d'eau d'oued Sennane.....	171
Carte 41(A,B). Localisation du CET de Tlemcen par rapport au réseau hydrographique.....	172
Carte 42. Eloignement de la décharge d'El Kerma par rapport au tissu urbain en 2013.....	176
Carte 43. Distance du CET par rapport aux agglomérations en 2014.....	178
Carte 44. Distance du CET par rapport au réseau routier.....	179
Carte 45. Situation du CET par rapport au tissu urbain.....	181
Carte 46. Carte de l'éloignement du CET de Tlemcen par rapport aux agglomérations.....	183
Carte 47. Localisation géographique des points de rejets des eaux usées dans la zone d'étude.....	200
Carte 48. Carte des points de rejets des eaux usées dans la wilaya de Tlemcen.....	202
Carte 49. Localisation des points de rejets des eaux usées de Sidi Bel Abbes (bassin Mekerra, Oued Tenira et Oued Sefioune).....	205
Carte 50. Volume des eaux usées par communes dans la zone d'étude en 2015.....	233
Carte 51. Carte des oueds du bassin versant de la Tafna.....	245
Carte 52. Localisation des échantillons d'analyse dans le bassin aval Tafna en 2010.....	248
Carte 53. Localisation des échantillons d'analyse dans le bassin du côtier d'Ain Témouchent.....	251
Carte 54. Localisation des barrages par rapport aux points de rejets des eaux usées.....	253
Cartes 55 (A,B,C,D). Cartes de combinaison pour l'analyse du risque de pollution des eaux de surface et de la mer.....	271
Carte 56. Carte de risque de contamination des eaux de surface et de la mer.....	273
Carte 57. Carte d'occupation du sol en mars 2016 de la plaine de Sidi Bel Abbes.....	300
Carte 58. Classification de l'occupation du sol selon la favorabilité à une décharge en 2014.....	301
Carte 59. Éloignement par rapport aux agglomérations selon la favorabilité à une décharge en 2014.....	302
Carte 60. Critère éloignement par rapport aux réseaux hydrographiques d'oued Mekerra.....	303
Carte 61. Classification des pentes selon la favorabilité à une décharge dans la plaine de Sidi Bel Abbes à partir d'un MNT aster en 2002.....	304
Carte 62. Classification de la perméabilité des formations lithologiques (carte hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbes) selon la favorabilité à une décharge.....	305
Carte 63. Classification de la profondeur des aquifères de la plaine de Sidi Bel Abbes pour implantation d'une décharge.....	306
Carte 64. Carte de favorabilité à l'implantation d'une décharge dans la plaine de Sidi Bel Abbes.....	307
Carte 65. Carte du paramètre (D), profondeur de la nappe alluviale d'El Kerma en décembre 2012.....	312
Carte 66. Carte du paramètre (R), la recharge nette de la nappe alluviale d'El Kerma (moyenne des années 1987 à 2012).....	313
Carte 67. Carte du paramètre (S), pédologie de la plaine d'El Kerma en 2000.....	314
Carte 68. Carte du paramètre (T), pente de la plaine d'El Kerma à partir d'un MNT Aster 2002.....	315
Carte 69. Carte du paramètre (I), formation lithologique de la plaine d'El Kerma à partir de la carte géologique d'Oran à 1/50 000.....	316
Carte 70. Carte de degré de l'indice DRSTI (ID).....	317
Carte 71. Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine de la région d'El Kerma en 2017.....	318
Carte 72. Paramètre profondeur de la nappe (D) de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes en décembre 2011.....	320

Carte 73. Carte de la recharge nette dans la zone de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès (moyenne des périodes de 1974 – 2012).....	322
Carte 74. Carte du milieu aquifère de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès (carte hydrogéologique 1973).....	323
Carte 75. Paramètre type de sol de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès en 2010.....	324
Carte 76. Classes des pentes dans la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès (MNT Aster 2002)....	325
Carte 77. Carte lithologique de nappe alluviale de Sidi Bel Abbès.....	326
Carte 78. Carte de localisation des points d'échantillons de la mesure de perméabilité dans la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès en 2008.....	327
Carte 79. Répartition spatiale de la conductivité hydraulique de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès en 2008.....	328
Carte 80. Carte de l'indice DRASTIC de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès à la pollution en 2017.....	329
Carte 81. Carte de vulnérabilité DRASTIC en 2017 (classification d'ENGEL et al., 1996).....	330
Carte 82. Paramètre profondeur de la nappe d'Hennaya en juin 2011.....	333
Carte 83. Carte du paramètre (R), la recharge nette de la nappe d'Hennaya (moyenne 1987 - 2012).....	334
Carte 84. Le paramètre "Nature du matériel aquifère (A) de la nappe d'Hennaya	335
Carte 85. Carte des pentes dans la plaine d'Hennaya à partir d'un MNT Aster 2002.....	336
Carte 86. Carte du paramètre I (zone non saturée).....	337
Carte 87. Carte du paramètre C (conductivité hydraulique) en 1969.....	338
Carte 88. Carte de la vulnérabilité de la nappe d'Hennaya à la pollution en 2017.....	339
Carte 89. Proposition de l'installation des stations d'épuration des eaux usées dans la zone d'étude en 2014.....	343
Carte 90. Carte de synthèse sur l'état de la pollution dans les wilayas de la région Nord-ouest Algérienne (Ain Témouchent, Oran, Tlemcen, Sidi Bel Abbès).....	356

Liste des tableaux

Tableau 1. Les bassins-versants du côtiers Oranais	22
Tableau 2. Caractéristiques des stations météorologiques étudiées	27
Tableau 3. Précipitations moyennes annuelles des stations météorologiques	28
Tableau 4. Précipitations moyennes mensuelles des stations météorologiques (1987 -2012).....	31
Tableau 5. Données des températures mensuelles (1987 - 2012)	32
Tableau 6. Températures, mois plus chaud (M) et mois plus froid (m).....	33
Tableau 7. Quotient pluviothermique d'EMBERGER Q2.....	35
Tableau 8. (A,B,C,D) Bilans hydriques des stations de la zone d'étude (1987-2012).....	39
Tableau 9. Caractéristiques des images satellitales utilisées.....	75
Tableau 10 (A,B,C,D). Matrices de confusion des images classées.....	88
Tableau 11. Porosité, perméabilité et résistivité des différentes roches	113
Tableau 12. Décharges dans la wilaya d'Ain Témouchent	127
Tableau 13. Caractéristiques des décharges publiques et sauvages dans la région d'Oran en 2013	129
Tableau 14. Décharges et dépotoirs sauvages dans la wilaya de Tlemcen.....	135
Tableau 15. Taux de production de déchets en Algérie	148
Tableau 16. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des lixiviats de la décharge d'El Kerma (2005, 2006, 2007, 2012).....	152
Tableau 17. Analyse physico-chimiques des lixiviats du CET de Sidi Ben Adda (octobre 2014)	153
Tableau 18. Analyse physico-chimiques des lixiviats du CET d'El Ançor en 2014.....	153
Tableau 19. Valeurs moyennes annuelles des paramètres physicochimiques des échantillons des eaux souterraines (moyenne 2005, 2006, 2007 et 2012).....	163
Tableau 20. Classification de la décharge d'El Kerma selon les critères d'emplacement d'une décharge	187
Tableau 21. Classification du CET de Sidi Ben Adda selon les critères d'implantation d'un CET	189
Tableau 22. Classification du CET de Sidi Bel Abbas selon les critères d'implantation d'une Décharge.....	190
Tableau 23. Classification du CET de Tlemcen selon les critères d'implantation d'un CET.....	191
Tableau 24. Nuisances créées par les CET.....	192
Tableau 25. Tableau descriptif des points de rejets des eaux usées dans la zone d'étude.....	201
Tableau 26. Points de rejets des eaux usées dans le grand bassin Tafna.....	203
Tableau 27. Les milieux récepteurs des eaux usées dans le bassin du côtier d'Ain Témouchent.....	206
Tableau 28. Répartition des stations d'épuration et volume d'eaux traitées	214
Tableau 29. Analyse physicochimiques des eaux entrées et sorties de la STEP El Kerma pour la moyenne de l'année 2011.....	216
Tableau 30. Caractéristiques de la station d'épuration de Sidi Bel Abbas.....	217
Tableau 31. Qualité physico-chimique des eaux usées brutes et traitées par la STEP de Sidi Bel Abbes	219
Tableau 32. Résultats des analyses physico-chimiques des eaux des 04 échantillons	221
Tableau 33. Résultats des analyses microbiologiques des eaux des 04 échantillons	221
Tableau 34. Analyses des eaux usées entrées et sorties de la STEP d'Ain Témouchent en 2015	222

Tableau 35. Caractéristiques de la STEP de Maghnia en 2015.....	223
Tableau 36. Analyses des eaux usées entrées et sorties de la STEP de Maghnia en 2013.....	224
Tableau 37. Caractéristiques de la STEP d'Ain El Hout (Tlemcen) en 2015	226
Tableau 38. Résultats des analyses des eaux usées entrées et sorties de la STEP Ain El Houtz en 2016	227
Tableau 39. Analyses des métaux lourds des eaux usées traitées de la STEP Ain El Houtz en 2015	228
Tableau 40. Résultats des analyses des eaux usées entrées et sorties des stations de Sidi Snouci et Emir Abdel Kader en 2012.....	229
Tableau 41. Qualité moyenne des eaux usées urbaines par agglomérations en 2015.....	234
Tableau 42. Estimation de la charge polluante des effluents rejetés par secteur d'activité industriel en 2000	235
Tableau 43. Caractéristiques des eaux usées industrielles brutes et traitées de l'unité de fabrication de détergent ENAD d'Ain Témouchent en 2014.....	236
Tableau 44. Valeurs des paramètres des rejets liquides de la tannerie Tafna d'El Amria en 2013	236
Tableau 45. Caractéristiques des eaux usées industrielles de Maghenia en 2012	237
Tableau 46. Statistiques des établissements de santé dans la zone d'étude en 2015	239
Tableau 47. Les abattoirs et leurs rejets liquides dans la wilaya d'Oran en 2016.....	241
Tableau 48 qualité physicochimique des eaux de l'Oued Mouilah en 2012 et 2010.....	246
Tableau 49. Classe de qualité des eaux de surface en 2017	247
Tableau 50. Qualité physico-chimique des eaux des oueds du bassin versant de la Tafna.....	247
Tableau 51. Analyses physico-chimiques des échantillons des cours d'eau aval bassin Tafna...	248
Tableau 52. Analyses physico-chimiques des eaux usées traitées au niveau du confluent de l'oued Mekerra avec l'oued El Maleh en janvier 2008 (BENSALEM).....	249
Tableau 53. Analyses physico-chimiques des cours d'eau en 2010 (bassin côtier d'Ain Témouchent).....	251
Tableau 54. Analyses physico-chimiques des eaux des barrages en 2005 et 2017.....	254
Tableau 55. Grille de qualité (IPO).....	259
Tableau 56. Classe de pollution organique des barrages en 2005 et en 2017.....	260
Tableau 57. Résultats moyennes des paramètres physicochimiques des eaux de mer du littoral Oranais entre décembre 2013 à mai 2014.....	262
Tableau 58. Irrigation avec les eaux usées dans le bassin de Tafna en 2012.....	277
Tableau 59. Les paramètres "DRASTIC" et leur poids.....	310
Tableau 60. Indices DRASTIC en pourcentage et vulnérabilité hydrogéologique	317
Tableau 61. Classes de vulnérabilité des eaux souterraines dans la plaine d'El Kerma.....	317
Tableau 62. Cote attribuées à la profondeur de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas.....	320
Tableau 63. Cote attribuées au paramètre recharge.....	321
Tableau 64. Précipitations et recharges nettes moyennes annuelles des stations Météorologiques	321
Tableau 65. Poids, cote et indice du paramètre milieu aquifère.....	322
Tableau 66. Cotation des valeurs de pentes et leurs superficies dans la zone d'étude	325
Tableau 67. Cotes attribuées au paramètre "conductivité hydraulique"	327
Tableau 68. Classification de l'indice DRASTIC et les degrés de la vulnérabilité	328
Tableau 69. Superficies des degrés de la vulnérabilité de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas...	330
Tableau 70. Superficies et pourcentages des degrés de vulnérabilité à la pollution dans la nappe d'Hennaya	338

Liste des figures

Figure 1. Variation mensuelle des précipitations moyennes (1987 - 2012).....	32
Figure 2. Variation mensuelle des températures moyennes (1987 – 2012).....	33
Figure 3 (A,B,C,D). Diagrammes ombrothermiques des stations (1987 - 2012)	34
Figure 4. Climagramme pluviothermique d'EMBERGER(Q2).....	36
Figure 5. Vitesse des vents mensuels (1987 – 2012) (ONM, 2015)	38
Figure 6. (A,B,C,D) Courbes de bilan hydrique des stations (1987-2012).....	40
Figure 7. Organigramme du schéma méthodologique général de l'étude.....	74
Figure 8. Organigramme de la démarche méthodologique détaillée	77
Figure 9. Points de contrôle choisis et erreur quadratique moyenne « RMS » de la correction...	81
Figure 10. Localisation des points d'appuis sur l'image à corriger.....	82
Figure 11. Carte d'occupation du sol de la zone d'El Kerma à partir de l'image SPOT 5.....	91
Figure 12. Détection de la décharge publique d'El Kerma à partir d'une image SPOT 5	93
Figure 13. Détection du centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbès à partir d'une image Alsac-2A	93
Figure 14. Détection du centre d'enfouissement technique d'Ain Témouchent à partir d'une image Landsat 8 et image Google Earth 2016.....	94
Figure 15. Détection du centre d'enfouissement technique de Tlemcen à partir d'une image Landsat 8 et image Google Earth 2016.....	94
Figure 16 (A,B,C,D). MNT Aster en 3D de la zone d'étude	97
Figure 17. Organigramme du processus d'extraction du réseau hydrographique.....	104
Figure 18. Localisation des forages selon les bassins-versants dans la zone d'étude (ANRH, 2011).....	116
Figure 19 (A,B,C,D,E). Cartes des modèles numériques de profondeur de la nappe dans la zone d'étude.....	118
Figure 20. Situation géographique de la décharge publique d'El Kerma	132
Figure 21. Vue satellitaire de la décharge publique d'El Kerma (Google Earth 2016)	132
Figure 22. Vue satellitaire du CET de Sidi Bel Abbès (Google Earth 2016).....	134
Figure 23. Localisation du CET de Tlemcen	137
Figure 24. Les compositions du CET de Sidi Ben Adda.....	140
Figure 25. Localisation du port sec d'Es Senia et le marché du gros des légumes et fruits par rapport à la décharge d'El Kerma.....	141
Figure 26. Localisation de la zone industrielle d'Es Senia par rapport à la décharge d'El Kerma.	142
Figure 27. Composition des déchets réceptionnés par le CET de Tlemcen en 2016.....	150
Figure 28. Classification de la perméabilité en fonction du coefficient de perméabilité K	159
Figure 29. Localisation des échantillons analysés sur l'image Landsat 2015.....	162
Figure 30. Profondeur de la nappe au niveau du CET de Sidi Bel Abbès en 2011.....	168
Figure 31. Log hydrogéologique de la plaine d'Hennaya (HAYANE, 1983).....	169
Figure 32. Vue satellitaire de la décharge publique d'El Kerma et son environnement	174
Figure 33. NDVI de l'image SPOT (site de la décharge d'El Kerma).....	175
Figure 34. MNT en 3D du site du centre d'enfouissement technique	179
Figure 35. Image Google Earth en 2016 de l'environnement du CET.....	180
Figure 36. Occupation du sol de site du centre d'enfouissement technique (Google Earth 2016)	182

Figure 37. MNT de la zone du Centre d'enfouissement technique	183
Figure 38. Occupation de l'environnement de CET de Tlemcen en 2017.....	185
Figure 39. Modèle numérique de terrain du site de centre d'enfouissement technique de Tlemcen	186
Figure 40. Localisation des points de rejets des eaux usées dans la partie Ouest de corniche Oranais.....	208
Figure 41. Localisation des points de rejets des eaux usées dans la partie Centre et Est de corniche Oranais	208
Figure 42. Vue satellitale de la STEP d'El Kerma (image Google Earth, 2016)	216
Figure 43. Vue satellitale de la station d'épuration de Sidi Bel Abbas	218
Figure 44. Rejet des eaux usées industrielles ; pollution des eaux traitées et eaux du barrage de Cheurfa	220
Figure 45. Graphe des valeurs du Zinc et des nitrates au niveau des quatre stations d'analyses en 2008.....	222
Figure 46. Vue satellitale de la station d'épuration à boues activées d'Ain Témouchent en 2016	223
Figure 47. Vue satellitale de la STEP de Maghenia en 2016	225
Figure 48. Vue satellitale de la station d'épuration d'Ain El Houtz	227
Figure 49. DCO des rejets industriels vers la mer « Baie d'Arzew » en 2014 (TAYEB, 2016)...	238
Figure 50. DBO des rejets industriels vers la mer « Baie d'Arzew » en 2014 (TAYEB, 2016)...	238
Figure 51. Taux des hydrocarbures dans les rejets industriels vers la mer, zone d'Arzew en 2014 (TAYEB, 2016)	239
Figure 52. Graphes des teneurs des paramètres physico-chimiques dans les eaux des barrages en 2005 et 2017.....	254
Figure 53. Classes d'altération de l'indice IPO	259
Figure 54. Localisation des échantillons d'analyses dans le littoral Oranais (TAGHEZOUT, 2015).....	261
Figure 55 (A,B). Taux de coliformes fécaux et coliformes totaux des stations étudiées en mois d'août (KERFOUF et al., 2010)	266
Figure 56. Étapes de cartographie le risque de dégradation de la qualité des eaux de surface et de la mer.....	269
Figure 57. Méthode de traitement des lixiviats et des biogaz dans les CET	296
Figure 58. Méthode de croisement des données sous Arc Gis par raster mathématique	329

Liste des photos

Photo 1. Centre d'enfouissement techniques (CET) d'El Ançor (Cliché: Bentekhici Nadjla, février 2016)	131
Photo 2. La décharge publique d'El Kerma (clichée : Bentekhici Nadjla, janvier 2010)	132
Photo 3. CET de Sidi Bel Abbes (Clichée : direction de l'environnement de Sidi Bel Abbes, 2013).....	134
Photos 4. Plusieurs Photos de la décharge sauvage de Saf Saf avant la fermeture en 2008 (Clichée : CET de Tlemcen, 2008).....	137
Photo 5. Le casier d'enfouissement de CET de Sidi Ben Adda (Clichée : Bentekhici Nadjla, aout 2017)	139
Photo 6. Centre de tri du CET de Sidi Ben Adda (Clichée : Bentekhici Nadjla, Aout 2017)	140
photos 7(A,B). Poste de contrôle et pont-bascule du CET de Tlemcen (Clichée : CET de Tlemcen, 2016)	144
Photo 8. Réseau de drains des lixiviats (Clichée: CET de Tlemcen, 2016)	144
Photo 9. Casier de CET de Tlemcen (Clichée: CET de Tlemcen, 2016).....	145
Photo 10. Les bassins de lixiviats du CET de Tlemcen (Clichée : CET de Tlemcen, 2016).....	154
Photo 11. Système de récupération des biogaz au Cet de Tlemcen (Clichée : CET de Tlemcen, 2016).....	155
Photo 12. Point de rejet des eaux usées de Sidi Bel Abbes (collecteur principal au niveau de cité Benhamouda) (clichée : Bentekhici, 2014).....	204
Photo 13. Point de rejet au niveau de la ville d'Arzew (clichée : TAGHEZOUT, 2014).....	209
Photo 14. Point de rejet au niveau des Andalous (clichée : TAGHEZOUT, 2014)	209
Photo 15. Point de rejet au niveau du port d'Oran (clichée : TAGHEZOUT, 2014).....	209
Photo 16. Vue générale de la STEP d'El Kerma (clichée : STEP El Kerma, 2014).....	216
Photo 17. Vue générale de la STEP d'Ain El Houtz (clichée : STEP Tlemcen, 2015).....	226
Photo 18. Prise Mouillah (rejets de Oujeda) (clichée : ABH, 2008)	246
Photo 19. Images montrent les eaux usées stagnantes et une fosse septique en aval creusée à la limite de la berge du barrage Sarno (clichée : photo Bel Abbes info, 2016).....	258
Photo 20. Rejet des eaux usées urbaines et industrielles d'oued El Mohgoun et monts d'Arzew vers la mer (clichée : SAHNOUN et al., 2010).....	262

Table des matières

Résumé	
Remerciements	
Dédicace	
Introduction générale	1

Chapitre 1

Cadre physique et socioéconomique de la zone d'étude

Introduction	8
I. Situation géographique de la zone d'étude.....	9
II. Les caractéristiques topographiques : une région présente trois grands ensembles naturels	10
1. La zone littorale : une succession de massifs montagneux, sublittoraux et de plaines.....	11
1.1. Les massifs montagneux.....	11
1.2. Les plaines littorales et sublittorales.....	11
2. Les bassins intérieurs : un ensemble important par son étendue	12
3. Les espaces sub-steppiques	13
III. Le contexte géologique influe sur le régime d'écoulement des eaux : les caractères lithologiques et capacités de rétention souterraine.....	15
1. Géologie de la zone littorale : fait partie au domaine tello-rifain.....	15
1.1. Massifs montagneux : des formations carbonatées, volcaniques fissurées et quaternaires	15
1.2. Plaines littorales et sublittorales : formations quaternaires alluvionnaires perméables et volcanismes d'Ain Témouchent	16
2. Géologie des bassins intérieurs : formations favorisant la constitution des châteaux d'eau.....	18
3. Zone sub-steppique marquée par des substrats du quaternaires sous forme de vaste étendue tabulaire	19
IV. L'hydrographie : la genèse du relief est la cause principale de la mise en place d'un réseau hydrographique	21
1. Le bassin de la Tafna : un réseau à écoulement permanent et une surface importante favorise des ressources en surface importantes.....	21
2. Les bassins côtiers Oranais : constitués par quatre sous-bassins versants	22
3. Le bassin de la Mekerra : fait partie du grand bassin de la Macta, subdivisé en trois grandes sections	24

V. Une région à climat méditerranée semi-aride	26
1. Les variations inter annuelles des précipitations : répartition spatiale dépend de l'altitude, de l'éloignement de la mer et augmente de l'Est à l'Ouest.....	27
2. Les variations mensuelles et régimes saisonniers des précipitations : saison sèche du juin à août, saison humide avec une succession des mois humides et secs le reste de l'année...30	
3. Le régime thermique influe sur les ressources pluviométriques	32
4. Variations climatiques à travers les diagrammes ombrothermiques : une forte tendance à l'aridité	34
5. Le quotient pluviothermique d'EMBERGER (1930 - 1955) : un climat semi-aride	35
6. Le régime des vents dominants : Nord-ouest et Nord sont les plus fréquents	36
7. Le bilan de l'eau : largement déficitaire, faible recharge de la nappe à Oran et moyenne aux autres zones.....	38
VI. Données hydrogéologiques : types et extension des ressources en eaux souterraines	41
1. Bassin du côtier Oranais : aquifères karstiques à Murdjadjo, nappes alluviales aux niveaux des plaines et nappe volcanique à Ain Témouchent.....	41
2. Bassin de Mekerra : une importante nappe alluviale plio-quadernaire dans la plaine de Sidi Bel Abbes marquée par une surexploitation	42
3. Bassin de la Tafna : nappe karstique et des châteaux d'eau naturelle de l'Ouest Algérien dans les monts de Tlemcen et nappes alluviales dans les plaines	44
VII. Les caractères socio-économiques : le poids de l'homme	47
1. La croissance démographique : une population en constante augmentation	48
1.1. La période de 1987 à 1998 : croissance de la population urbaine à des taux supérieurs à la croissance naturelle.....	48
1.2. La période de 1998 à 2008 : croissance importante de la population dans la steppe et faible dans les grandes villes	52
2. Densité de la population : forte au littoral et sub-littoral, faible en zone steppique	55
3. La croissance démographique : une évolution alarmante de l'unité urbaine	60
4. Forte industrialisation au Nord et impact sur l'environnement	66
Conclusion du 1^{er} chapitre : région riche en potentialités naturelles, mais marquée par un déséquilibre de répartition des populations et des activités économiques	70

Chapitre 2

Traitement de la base de données pour la gestion des déchets solides et liquides, méthodes et avantages

Introduction	72
I. Schéma méthodologique : démarche suivie pour l'analyse de la gestion des déchets	73
II. Réalisation de la base de données à partir des données de la télédétection et données cartographiques et statistiques : phase essentielle pour la gestion des déchets	78
1. La télédétection : est-il un outil puissant dans les études de la gestion des déchets ?.....	78
1.1. Traitement des données satellitales	79
1.1.1. Composition colorée des images : utilisation du proche infra rouge et le rouge pour la discrimination de la biomasse végétale et les sols minéralisés	80
1.1.2. Correction géométrique des images : phase essentielle pour la superposition et le croisement des données.....	80
1.1.3. Classification supervisée des images à moyennes résolutions : méthode de réalisation des cartes d'occupation du sol	82
1.1.4. Interprétation visuelle des images satellitales à hautes résolutions : cartes d'occupations du sol détaillées	91
1.1.5. Identification des sites de décharges publiques à partir des images à haute et à moyenne résolution : sites de risque de pollution des eaux et de l'air.....	92
1.1.6. Cartographie des infrastructures routières à l'aide de l'imagerie satellitale : un critère primordial pour l'évaluation d'une décharge.....	95
1.2. Modèles numériques de terrain (MNT) : données utiles pour l'analyse des terrains...97	97
1.2.1. Pentes de terrain : facteur d'infiltration ou de ruissellement des polluants	99
1.2.2. Extraction du réseau hydrographique à partir d'un MNT : milieu récepteur des eaux usées et source d'alimentation de la nappe	102
2. Apport des données cartographiques et statistiques : utilité et traitement	107
2.1. Cartographie des cartes lithologiques et de perméabilités : facteur d'infiltration ou de ruissellement des eaux	107
2.2. Piézométrie et profondeur de la nappe : paramètres de la pollution des eaux souterraines.....	115
Conclusion du 2^{ème} chapitre : un traitement et une analyse d'une base de données multi-sources sous un SIG permet l'évaluation de la gestion des déchets	122

Chapitre 3

Décharges publiques et centres d'enfouissements techniques, entre faisabilité et respect de l'environnement

Introduction	124
I. Contextes géographiques régionaux et locaux des décharges et des centres d'enfouissement techniques dans la région d'étude	125
II. État des lieux en matière d'exploitation et de gestion des décharges et centres d'enfouissements techniques	138
III. Évolution qualitative et quantitative des déchets : une production en relation avec les modes de consommation, la nature des villes et l'évolution démographique	146
1. Aspect quantitatif : forte population et importante production de déchets ménagers.....	147
2. Aspect qualitatif : déchet en majorité de nature organique	149
3. Les déchets des centres d'enfouissements techniques et de la décharge d'El Kerma : une production des lixivats et des biogazs	151
IV. Méthodes d'évaluation des sites d'implantation des décharges et des centres d'enfouissements techniques	155
V. Les risques liés à la mise en décharge et enfouissement : un grand danger pour l'homme et l'environnement	158
1. Un grand souci vis-à-vis les ressources en eau de surface et souterraine	158
1.1. Dégradation qualitative des nappes phréatiques.....	159
1.1.1. La nappe alluviale de la sebkha d'Oran : eaux impropres aux usages domestiques ou d'irrigation.....	159
1.1.2. La pollution de la nappe des roches volcaniques par le CET d'Ain Témouchent..	166
1.1.3. Centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbas : un grand danger de pollution de la nappe alluviale.....	167
1.1.4. Le CET de Tlemcen : pollution organique de la nappe des grès Tortoniens	168
1.2. Danger de pollution des eaux de surface des bassins Sikkak, Mekerra et El Maleh : rejets des lixivats des centres d'enfouissements techniques	171
2. L'exploitation anarchique de l'ancienne décharge d'El Kerma après fermeture.....	173
2.1. Menace écologique importante pour la sebkha d'Oran	173
2.2. Décharge au milieu des terrains agricoles d'El Kerma : risques de dégradation qualitative et quantitative	174
2.3. Nuisance pour la santé des populations d'El Kerma dues au biogaz	175
3. Danger généré par l'exploitation du centre d'enfouissement technique d'Ain Témouchent : proximité d'une agglomération	177
4. Centre d'enfouissement technique de Sidi Bel Abbas : risque environnemental majeur.....	180

5.	Le centre d'enfouissement technique de Tlemcen : un choix défavorable pour le stockage des déchets.....	183
VI.	Application de la méthode d'évaluation de la décharge d'El Kerma et les centres d'enfouissements techniques : faisabilité environnementale.....	186
VII.	Cadre de l'état de la gestion actuelle des déchets : les solutions prises par les gestionnaires sont-elles efficaces pour la protection de l'environnement ?.....	192

Conclusion du 3^{ème} chapitre : décharges et CET, sites présentant un danger réel de pollution de l'air, de sol et des eaux, à court et à long terme.....	195
---	------------

Chapitre 4

Les eaux usées, risques pour les milieux récepteurs

Introduction	197
I. Contexte géographique régional et local des points de rejets des eaux usées	199
1. Les points de rejets dans le grand bassin de la Tafna	201
2. Les points de rejets dans le bassin de la Mekerra-Mebtough, oued Tenira et oued Sefioune.....	204
3. Les points des rejets dans le bassin du côtier Oranais et la sebkha d'Oran	205
4. Rejet direct vers la mer de la rive gauche Ouest de la méditerranée	207
II. Etats des lieux en matière de gestion des eaux usées	210
1. L'assainissement et le raccordement aux eaux usées : une problématique qui monopolise des efforts importants	210
2. L'épuration des eaux usées : manque énorme de traitement des eaux usées urbaines et industrielles	214
2.1.Station d'épuration des eaux usées d'El Kerma : les eaux épurées de fortes teneurs en nitrates	215
2.2.Station d'épuration des eaux usées de Sidi Bel Abbes : eaux usées traitées contaminées par les eaux industrielles	217
2.3.Station d'Ain Témouchent, solution efficace contre la pollution d'oued El Maleh.....	222
2.4.Station d'épuration de Maghnia : un bon rendement épuratoire et une solution pour remédier à la pollution du barrage de Boughrara.....	223
2.5.Station de Tlemcen (STEP Ain El Houtz) un modèle à suivre : un bon fonctionnement et une meilleure eau traitée pour l'irrigation de la plaine d'Hennaya	226
2.6.Stations d'épuration par lagunage : procédure facile, mais nécessite de l'espace	228
3. Aspect législatif des eaux usées : l'état a initié de profondes réformes réglementaires....	229

III. Evolution qualitatif et quantitatif des eaux usées	231
1. Volume de l'eau rejetée : due aux activités socio-économiques.....	231
2. Aspect qualitatif des eaux usées dans la zone d'étude	233
2.1. Eaux usées urbaines : fortes teneurs en matières organiques	233
2.2. Eaux usées industrielles : la tannerie d'El Amria, l'unité ENAD, le pôle industriel d'Arzew, la zone industrielle de Maghnia grand pollueurs des eaux de surface	234
2.3. Eaux usées des hôpitaux : teneurs importantes des matières toxiques dans la zone d'étude.....	239
2.4. Eaux usées des abattoirs dans la zone d'étude : très chargées en sangs.....	240
IV. Méthode d'évaluation de l'impact économique et écologique des eaux usées : évaluation des incidences sur l'Environnement	241
V. Risques liés aux rejets des eaux usées en milieux récepteurs	242
1. Risques de rejets des eaux usées vis-à-vis ressources en eaux de surface.....	243
1.1. Menace de dégradation et de pollution des eaux d'oued Tafna	243
1.2. Pollution d'Oued Mekerra : forte pollution organique	248
1.3. Pollution des eaux du bassin côtier Oranais : rejets des eaux non traitées dans l'oued El Maleh.....	250
2. Pollution organique des eaux des barrages : impacts des rejets des eaux usées.....	252
3. Pollution des eaux de la mer : rejets urbains et industriels importants non traités.....	260
4. Risques sanitaires liés aux eaux usées : prolifération des maladies à transmission hydriques (MTH)	266
VI. Résultats de l'évaluation : cartographie de la carte de risque de contamination des eaux de surface et de mer par les eaux usées	269
VII. La stratégie d'acteur : état actuel en termes de solution de mise en œuvre de la gestion des eaux usées	273
1. Efficacité de la gestion actuelle des eaux usées	273
2. Réutilisation des eaux usées traitées : solution d'une valeur économique	274
3. La lutte contre l'irrigation par les eaux usées	277
Conclusion du 4^{ème} chapitre : volume important des eaux usées avec un manque énorme de traitement et une gestion défaillance de l'assainissement, provoquent la dégradation de la qualité sanitaire des milieux aquatiques et l'homme	279

Chapitre 5

Protection et préservation de l'environnement, qu'elles solutions pour un développement durable dans les quatre wilayas du Nord-ouest Algérien

Introduction	282
I. L'Algérie a décidé d'investir dans le développement durable : un plan d'action pour l'environnement	283
II. Une gestion efficace dans la cadre du PROGDEM : proposition des techniques modernes	284
1. Plan de gestion des déchets : application des méthodes de traitement durable	286
1.1. Technique de compostage : solution économique en domaine de l'agriculture non maitrisée dans la zone d'étude	287
1.2. Technique de méthanisation des déchets solides : peut couvrir un besoin de 10 % d'électricité de la zone d'étude	288
1.3. Technique de recyclage : Oran exemple à suivre dans l'application du tri sélectif des déchets solides	289
1.4. Proposition de nouvelle gestion des décharges et des centres d'enfouissements techniques pour une meilleure exploitation	291
1.4.1. Cas de l'aménagement du site de la décharge d'El Kerma pour la conservation de la sebkha d'Oran	291
1.4.2. Cas de l'aménagement des CET : exemple d'épuration des lixiviats et traitement des biogaz du CET de Hassi Bounif	294
1.5. Bonne application de la législation Algérienne : une solution efficace pour remédier contre les problèmes de déchets solides	296
2. Application technique d'un choix favorable d'un site de décharge contrôlée : cas de la plaine de Sidi Bel Abbas	297
2.1. Méthode de sélection d'un site de décharge : apport des SIG et la télédétection	298
2.2. Application de la méthode : critères d'une meilleure sélection	399
2.3. Sélection des sites favorable pour une décharge contrôlée	306
III. Plan de protection des nappes phréatiques : une nécessité pour faire face à la pollution des eaux souterraines	308
1. Cartographie de la vulnérabilité des nappes phréatiques à la pollution dans la zone d'étude : des documents fondamentaux de protection des eaux souterraines	308
1.1. Méthode de cartographie : DRASTIC universellement utilisée pour évaluer la vulnérabilité	310
1.2. Cas de la nappe alluviale d'El Kerma : forte vulnérabilité à la pollution	311
1.3. Cas de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas : une vulnérabilité moyenne à la pollution	319
1.4. Cas de la nappe alluviale d'Hennaya : une moyenne vulnérabilité à la pollution	332

IV. Plan de protection les ressources en eaux de surface : une meilleure gestion des eaux usées.....	340
1. Traitement des eaux usées : des solutions pour diminuer la pollution par les eaux usées par communes dans la zone d'étude	341
2. Les solutions de traitement des boues des stations d'épuration : excellents amendements agricoles pas bien exploités dans la zone d'étude.....	344
3. La gestion de l'assainissement en zone d'étude : problématique à prendre en considération.....	345
 Conclusion du 5^{ème} chapitre : des plans d'aménagement performants pour remédier à la dégradation de l'environnement, une meilleure gestion des déchets solides, réduire l'impact des eaux usées et la pollution des milieux récepteurs.....	348
 Conclusion générale.....	350
Références bibliographiques	357
Annexes.....	370
Glossaire	372
Liste des abréviations	376
Liste des cartes.....	377
Liste des tableaux.....	380
Liste des figures.....	382
Liste des photos	384
Table des matières.....	385