



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



MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master 2
Géographie et aménagement de territoire
Option : Géomatique

Contribution à la réalisation D'un Atlas numérique des zones humides Cas de la wilaya d'Oran

Présenté par : **Mr. Berrichi Faouzi**

devant le jury composé de :

Mr. Kouti Abdelaziz	Maitre-assistant A	Université d'Oran 2	Président
Mme. Diaf Ataouia	Maitre-assistant A	Université d'Oran 2	Examinatrice
Mr. Ghodbani Tarik	Professeur	Université d'Oran 2	Encadreur
Mr. Dif Amar	Maitre de recherche B	CTS, Arzew	Co-encadreur

Année universitaire : 2018/2019

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de mon très cher père, que Dieu garde son âme dans son vaste paradis,

Ma très chère Mère, dont je souhaite une très longue vie en rose pleine de joie et de santé,

Ma chère épouse, mon adorable fille Iness et mon fils bien aimé Ahmed Nassim,

Ma sœur et mes frères,

Mes nièces et mon neveu,

Mes amis : Djemoui, Omar et Ali,

Ma belle-famille et à tous ceux qui me sont chers.

Remerciements

À l'issue de ce Master, nombreuses sont les personnes à qui je dois les remerciements, je tiens donc à leur adresser mes plus sincères remerciements, en espérant ne pas trop en oublier,

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude et mes profonds remerciements à mes encadreurs **M. Ghodbani Tarik** ; Professeur et maître de conférences au Département de géographie et de l'aménagement du territoire à l'Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed et **M. Dif Amar**; Maître de Recherche au Département d'Observation de la Terre du Centre des Techniques Spatiales / Agence Spatiale Algérienne, pour leurs soutiens permanents tout au long de mon mémoire et pour leurs soucis constants quant à l'avancement de mes travaux. Ils ont toujours su me conseiller et m'aider par leurs enthousiasmes et leurs déterminations.

Je tiens également à exprimer ma plus profonde reconnaissance à mes collègues MM. **Omar HADJ SAHRAOUI** ; Attaché de Recherche au CTS, **Chamakhi Djemoui** ; Ingénieur de développement au CTS et **Ali RAMI** ; Maître de Recherche au CTS, Mme **Benshila Naima** Ingénieur de développement au CTS, qui ont suivi mes travaux avec beaucoup d'enthousiasme et de dynamisme. Je leur suis reconnaissant pour avoir su me soutenir et me motiver tout au long de la préparation de ce mémoire.

Je voudrais exprimer ma sincère gratitude à **M. Azzedine OUSSEDIK**, Directeur Général de l'Agence Spatiale Algérienne pour son aide et son support, et surtout, pour avoir toujours su trouver les mots justes pour me motiver à persévérer et à aller de l'avant. Il a eu le grand mérite d'avoir été le premier à avoir cru au développement du spatial en Algérie et d'avoir su faire partager cette passion à tous les chercheurs du CTS.

Je remercie M. **kouti Abdelaziz** Maître-assistant A ; au Département de géographie et de l'aménagement du territoire à l'Université d'Oran 2 Mohamed, d'avoir accepté de présider mon jury de soutenance ainsi que Mme **Diaf Ataouia** Maître-assistant A ; Département de géographie et de l'aménagement du territoire à l'Université d'Oran 2 Mohamed, pour l'honneur qu'elle m'a fait d'accepter d'examiner ce mémoire.

Je tiens aussi à remercier **M. Habib MAHI** ; directeur du CTS et **M. Sofiane KAROUI** ; chef de Département d'Observation de la Terre, qui m'ont permis d'accomplir mon mémoire dans de bonnes conditions.

J'exprime ma gratitude à l'ensemble des éléments du Département d'Observation de la Terre du CTS.

Enfin, je remercie mon épouse qui m'a toujours manifesté sa confiance et son soutien, c'est dans son appui et son affection que j'ai puisé mes forces dans les moments les plus difficiles. Qu'elle puisse trouver ici, l'expression de mes plus nobles sentiments et une part importante de son grand labeur.

Résumé :

Les zones humides comme tout autre écosystème présente des conditions particulières qui les différencient des autres écosystèmes. Cette différence se reflète par la présence d'espèces végétales spécifiques liées à ces biotopes. Parmi les zones humides de la wilaya d'Oran, la grande sebkha, les marais de la Macta, le lac de Telamine et les salines d'Arzew. Ces sites sont connus pour leur biodiversité tant faunistique que floristique. Ce travail vise à développer une approche géomatique opérationnelle de délimitation, d'évaluation et exploitation des informations sur les zones humides de la wilaya d'Oran. L'Atlas numérique permis de découvrir un autre aspect de cette étonnante diversité des zones humides de la région d'Oran à travers une nouvelle technique de présentation des résultats exploités sous un web mapping ou sous un système d'information géographique. Cette présentation montre l'importance des zones humides de la région d'Oran qui permettra aux citoyens de prendre connaissance de toute la richesse, de la beauté et de l'étendue de ce patrimoine, contribuera à l'action de sensibilisation des populations et constituera un précieux instrument d'appréciation et d'évaluation à la disposition des décideurs et des professionnels de la gestion et de la préservation de la nature.

Mots clés : zones humides , géomatique, Atlas numérique, écosystèmes, web mapping, système d'information géographique

Abstract :

Wetlands like any other ecosystem have special conditions that differentiate them from other ecosystems. This difference is reflected by the presence of specific plant species related to these biotopes. Among the humid zones of the wilaya of Oran, the great sebkha, the marshes of the Macta, the Telamine lake and the salines of Arzew. These sites are known for their fauna and flora biodiversity. This work aims to develop an operational geomatic approach to delineation, evaluation and exploitation of information on the wetlands of the wilaya of Oran. The Digital Atlas made it possible to discover another aspect of this astonishing diversity of wetlands in the Oran region through a new technique for presenting the results exploited under a web mapping or a geographic information system. This presentation shows the importance of wetlands in the Oran region that will allow citizens to become acquainted with the richness, beauty and extent of this heritage, will contribute to the awareness raising of the populations and will constitute a valuable instrument of assessment and evaluation available to decision makers and professionals in nature management and conservation.

Keywords : wetlands, geomatics, digital atlas, ecosystems, web mapping, geographic information system

المخلص:

تتمتع المناطق الرطبة مثل أي نظام بيئي آخر بشروط خاصة تميزها عن النظم البيئية الأخرى. ينعكس هذا الاختلاف في وجود أنواع نباتية محددة مرتبطة بهذه الأنواع الحيوية. من بين المناطق الرطبة لولاية وهران ، السبخة الكبيرة لوهران ، مستنقعات المقطع ، بحيرة تيلامين وملاحات أرزيو. تشتهر هذه المواقع بالتنوع البيولوجي للحيوانات والنباتات.

يهدف هذا العمل إلى تطوير مقاربة جيوماتية تشغيلية لتحديد وتقييم واستغلال المعلومات حول الأراضي الرطبة بولاية وهران.

أتاح الأطلس الرقمي اكتشاف جانب آخر من هذا التنوع المذهل للأراضي الرطبة في منطقة وهران من خلال تقنية جديدة لتقديم النتائج المستغلة في خرائط الويب أو نظام المعلومات الجغرافية. يوضح هذا العرض التقديمي أهمية الأراضي الرطبة في منطقة وهران التي ستسمح للمواطنين بالتعرف على ثراء وجمال ومدى هذا التراث ، وسوف تساهم في زيادة الوعي لدى السكان وتشكل أداة قيمة للتقييم والتقييم متاحة لصانعي القرار والمهنيين في إدارة الطبيعة والحفاظ عليها.

الكلمات مفتاحية: الأراضي الرطبة، الجيوماتيك، الأطلس الرقمي، النظم الإيكولوجية، رسم خرائط الويب، نظام المعلومات الجغرافية.

Introduction générale

Les zones humides, à l'interface entre terre et eau, sont des milieux riches et diversifiés, aux fonctions et valeurs multiples aujourd'hui largement reconnues (Fustec and Lefeuvre, 2000a; Mitsch and Gosselink, 2007). Néanmoins, ces milieux ont largement régressé au niveau mondial et ont connu de fortes dégradations depuis plusieurs décennies (Maltby and Barker, 2009) en raison des pressions anthropiques, mais aussi du changement climatique (Williams, 1990). L'emprise spatiale et l'état de conservation des zones humides, en particulier dans les paysages fortement anthropisés, représentent actuellement des enjeux environnementaux majeurs, tant au niveau de la ressource en eau (Bullock and Acreman, 2003) que de la biodiversité. Au cours de ces dernières décennies, les dégradations des zones humides causées par l'intensification agricole et l'urbanisation ont contribué non seulement à une réduction de la faune et de la flore mais aussi à une augmentation de la pollution de l'eau et de la fréquence des étiages et des crues (Acreman and McCartney, 2009).

Face à la sensibilité grandissante des acteurs territoriaux et des citoyens vis-à-vis de la disparition des zones humides et de leurs fonctions, l'inventaire, la délimitation, la caractérisation et le suivi de ces milieux sont apparus comme des éléments prioritaires de programmes d'action nationales et régionaux visant à la reconquête de la qualité de l'eau et de la biodiversité. Les programmes de recherche menés spécifiquement sur ces milieux ont permis d'apporter des réponses aux questions touchant à leur délimitation et à leur caractérisation (Barnaud and Dausse, 2000; Hubert-Moy et al., 2003) mais aussi à leurs fonctions et valeurs (Maltby and Acreman, 2011).

Les grandes zones humides, en raison de leur biodiversité remarquable, sont pour la plupart connues et inventoriées à travers le monde depuis leur reconnaissance en 1971 lors de la Conférence de Ramsar (Hettiarachchi et al., 2015). Il existe un très grand nombre de zones humides qualifiées « d'ordinaires » d'un point de vue patrimonial mais remarquables vis-à-vis des fonctions hydrologiques (atténuation des crues, soutien d'étiages...), biogéochimiques (contribution à l'épuration des eaux, dénitrification...) et écologiques (corridors, habitats naturels...) et qui ne sont pas encore inventoriées. Pour cette raison, les gestionnaires souhaitent non seulement délimiter toutes les zones humides de leur territoire, mais aussi évaluer leurs fonctions afin d'y mener des actions de protection, d'entretien ou de réhabilitation efficaces.

Les problèmes associés à la contribution pour la réalisation d'un atlas numérique peuvent être classés en deux grandes catégories de questions :

- Quel est l'apport de la télédétection pour la délimitation des zones humides ?
- Comment présenter les zones humides dans un atlas numérique ?

Si la délimitation et l'évaluation fonctionnelle des zones humides est applicable in situ sur des zones de quelques hectares (Janssen et al., 2005), des difficultés apparaissent sur des sites d'étude de plusieurs centaines d'hectares en raison de la disponibilité partielle des données (Rapinel et al., 2016). Les données de télédétection, dont l'intérêt pour le suivi spatial et temporel de différents types de milieux a été démontré, peuvent contribuer à une meilleure connaissance des zones humides sur de grandes étendues. Jusqu'à présent, les données de télédétection existantes décrivaient trop grossièrement les zones humides pour évaluer leurs fonctions (Hubert-Moy et al., 2006). Or les avancées technologiques récentes qui ont eu lieu dans l'industrie spatiale ouvrent des perspectives intéressantes pour cela (Mahdavi et al., 2018). Par exemple, la collecte de nouvelles données satellitaires à une très haute résolution spatiale (1-10 mètres) par des capteurs tels que Quickbird, IKONOS ou sentinel, permet de réaliser une cartographie détaillée des patches de végétations à une échelle spatiale très fine (Corbane et al., 2015). Les résolutions spectrales (visible et proche-infrarouge) et radiométriques (11 bits, 2048 couleurs) de ces capteurs sont

des atouts pour distinguer des nuances au niveau de la structure et de la biomasse de la végétation (Dusseux et al., 2015). De même, l'exploitation de lasers aéroportés LiDAR offre l'opportunité de restituer finement la micro-topographie et le réseau hydrologique (Rapinel et al., 2015).

Ce travail vise à développer une approche géomatique opérationnelle de délimitation et d'évaluation des fonctions des zones humides sur l'ensemble d'un bassin versant à fins de combler les lacunes dans les connaissances sur l'état et les tendances des écosystèmes de zones humides de la région d'Oran et de sensibiliser à leurs multiples valeurs. Son objectif ultime est de réaliser un atlas numérique pour améliorer la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides en informant le plus largement possible, en particulier les décideurs et le grand public. Cette nouvelle approche basée sur l'exploitation de données de télédétection est destinée à la planification environnementale territoriale. Elle est structurée en trois niveaux scalaires : le premier niveau vise à délimiter les zones humides selon une approche descriptive à l'échelle d'un grand bassin versant ; le second niveau correspond à présenter les zones humides sur un Système d'information géographique indépendant ; le troisième niveau est focalisé sur l'affichage et exploité les zones humides de la région d'Oran sur un web mapping.

1.1 Introduction

Les zones humides méditerranéennes sont classées parmi les écosystèmes les plus riches de la planète, (Médail and Quézel, 1999), présentant de grandes valeurs écologiques, sociales et économiques. Ces importantes ressources naturelles ont été considérablement dégradées ou détruites. Pour arrêter ces pertes, inverser la tendance et assurer une utilisation rationnelle de ces zones humides dans toutes la Méditerranée, une action de collaboration concertée à long terme a été développée sous l'appel de la convention Ramsar.

1.2 Notion de zone humide

A l'échelle de la planète, les milieux humides sont aujourd'hui reconnus comme une catégorie particulière de systèmes écologiques. Comme tous les écosystèmes, les zones humides sont des systèmes ouverts qui varient dans l'espace et dans le temps. Ils naissent et se développent en acquérant des caractéristiques et des propriétés qui leurs sont propres. Puis ils vieillissent et souvent disparaissent. Dans certains cas ils peuvent cependant rajeunir ou se renouveler dans l'espace, (Barnaud and Fustec, 2007).

De leur côté, (Hughes and Hughes, 1992) définissent les zones humides comme étant « toutes les terres inondées de manière permanente ou périodique tel que les lacs, les étangs, les marécages, les marais, les tourbières, les plaines d'inondation riveraines ou lacustres, les cuvettes et les oueds, les marais salés du littoral et les mangroves, les retenues artificielles sont également comprises dans cette définition. »

➤ Définition des zones humides d'après la convention de Ramsar

D'après cette convention internationale ratifiée par l'Etat algérienne en 1986, les zones humides sont « des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres ».

Elle prend donc en compte des milieux tels que les récifs coralliens ou les herbiers marins ainsi que les cours d'eau et milieux souterrains, qui sont en revanche exclus de la définition établie par le code de l'environnement.

➤ Définition des zones humides d'après le code de l'environnement

Selon le code de l'environnement, les zones humides sont des « terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ».

Les zones humides ou milieux humides sont des écosystèmes particuliers : ce sont des intermédiaires entre les écosystèmes terrestres et les écosystèmes aquatiques. Il existe une grande variété de milieux humides sur la planète. L'eau qui les alimente peut-être douce, saumâtre ou salée. Les conditions Climatiques et géologiques, le pH et les conditions d'hydromorphologie sont très variables, (Barnaud & Fustec, 2007). Leur sol peut être submergé en permanence ou seulement lorsqu'il subit des battements de nappes ou les cycles de marée. Les zones humides sont plus ou moins reliées entre elles et avec les autres écosystèmes aquatiques.

➤ Convention Ramsar

La Convention sur les zones humides est un traité intergouvernemental qui a été adopté le 2 février 1971 dans la ville iranienne de Ramsar, celle-ci est plus connue du grand public sous son nom de « Convention de Ramsar ». Il s'agit du premier traité intergouvernemental moderne, d'envergure mondiale, le nom officiel du traité, Convention sur les zones humides d'importance internationale, particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau, traduit l'accent mis, à l'origine, sur la conservation

et l'utilisation rationnelle des zones humides avant tout dans leur fonction d'habitats pour les oiseaux d'eau. Avec le temps, toutefois, la convention a élargi son champ d'application pour couvrir tous les aspects de la conservation et de l'utilisation rationnelle des zones humides, reconnaissant celles-ci comme des écosystèmes extrêmement importants pour la conservation de la biodiversité et le bien-être des sociétés humaines et emplissant ainsi pleinement la mission énoncée dans le texte de la Convention. La Convention est entrée en vigueur en 1975 et compte en janvier 2013, 163 Parties contractantes, ou États membres, partout dans le monde. Bien que le message central porté par Ramsar soit la nécessité de recourir à l'utilisation durable des zones humides, l'étendard de la Convention est la Liste des zones humides d'importance internationale (ou Liste de Ramsar). Actuellement, les Parties ont inscrit sur cette liste plus de 2060 zones humides (ou Sites Ramsar) méritant une protection spéciale : elles couvrent 197 millions d'hectares (1,97 million de kilomètres carrés).

La mission de la Convention de Ramsar, définie par les Parties en 1999 et affinée en 2002, est la suivante : « La conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales, régionales et nationales et par la coopération internationale, en tant que contribution à la réalisation du développement durable dans le monde entier », (RAMSAR, 2013)

1.3 Les différentes catégories et types de zones humides

On distingue plusieurs types :

- **Les catégories de zones humides :**

(Seyrig, 2007) propose 3 catégories de zones humides

- **Zone humides « effectives »** : qu'on observe réellement sur le terrain, définies par des critères hydrologiques, de végétation et de sol.
- **Zone humides « efficaces »** : qui participent aux fonctions de stockage et épuration des eaux
- **Zone humides « potentielles »** : qui seraient effectives et efficaces en l'absence de drainage ou de perturbation liées aux activités humaines en amont.

- **Les différents types de zones humides**

- **Les zones humides marines et côtières :**

On y rencontre les zones d'estuaires, les vasières littorales, les prés salés ou schorres, les slikkes, les mangroves, les marais et lagunes côtières, les deltas, les marais agricoles aménagés et les marais saumâtres aménagés.

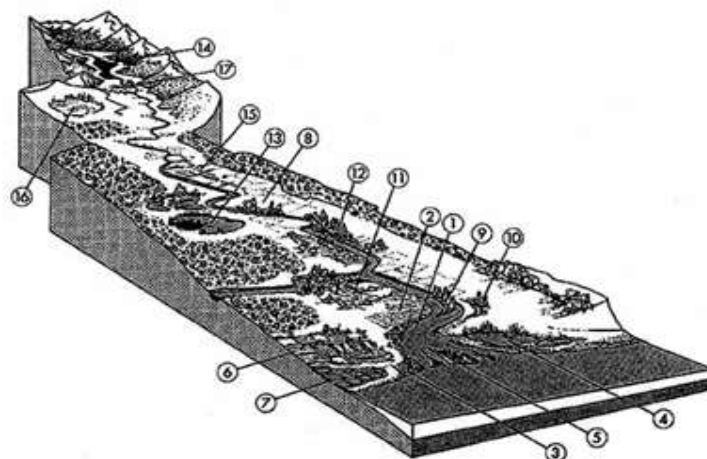
- **Les zones humides continentales :**

C'est les zones humides alluviales, les régions d'étangs, les lacs, les prairies humides, les tourbières, les zones humides de bas-fond en tête de bassin et les mares permanentes et temporaires plus moins.

1.4 Les différents types de zones humides méditerranéennes

C'est à l'embouchure des principaux fleuves que l'on trouve le plus fréquemment des zones humides côtières : les limons et les sables charriés vers la mer se déposent à l'endroit où le fleuve atteint les eaux calmes, non affectées par les marées, et donnent ainsi naissance à des dunes, à des marais et à de nouvelles langues de terre gagnant sur la mer, l'ensemble formant un delta.

Un delta naturel regroupe donc une gamme de zones humides dont la salinité augmente généralement au fur et à mesure que l'on s'approche de la mer, (Lethier, 1995) la Figure 1



- | | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 1- Estuaires – vasières | 10- bras- morts |
| 2- prés salés ou schorres | 11- prairies inondables |
| 3- slikkes | 12- Ripisylvies |
| 4- Marais et lagunes coties | 13- Régions d'étangs |
| 5- Delta | 14- Lacs |
| 6- Marais agricoles aménagés | 15- Prairies humides |
| 7- Marais saumâtre aménagés | 16- Tourbières |
| 8- zones humides alluviales | 17- zones humides de <u>Bas-fon</u> |
| 9- Ilots | |

Figure 1 : Les différents types de zones humides méditerranéennes
(<http://www.enviroment.gov.fr>)

➤ Les lagunes côtières et les marais salants

Les sédiments charriés par un cours d'eau se déposent normalement à quelques centaines de mètres au large, lorsque les courants marins ont réduit la vitesse d'écoulement du fleuve. Les courants modèlent ensuite les dépôts de sable en créant souvent des cordons littoraux parallèles à la côte, derrière lesquels se forment les lagunes. Celle-ci sont généralement reliées à la mer par un chenal et peuvent également être alimentées par le cours d'eau. L'extension des cordons littoraux peut provoquer la fermeture de certaines lagunes dont l'eau s'adoucit alors.

Les plus grandes zones de lagunes et de marais salants de la Méditerranée se trouvent le long des 200 Km de côtes de Provence et du Languedoc-Roussillon dans le sud de la France. Elles se trouvent également à Venise à Trieste ou nord Italie et sur la côte tunisienne sans oublier le delta du Nil en Égypte, quant à elle, abriterait près du quart des zones humides côtières subsistant en Méditerranée, qui sont en majorité sous forme de lagunes dans la vaste région du delta du Nil, (Bernard, 1994).

➤ Les lacs d'eau douce

Ils se forment soit à l'intérieur des terres, soit par adoucissement d'une lagune marine isolée de la mer et alimentée par des cours d'eau (comme dans le delta du Nil, du Rhône et du Pô) (Bernard, 1994). En Afrique du Nord hormis les lagunes marines et deltaïques, on ne trouve que peu de lacs permanents

(région d'El Kala en Algérie) ou les eaux libres disparaissent rapidement du fait de l'importance de l'évaporation.

➤ **Les marais d'eau douce**

Parmi les centaines de marais d'eau douce qui bordaient autrefois la Méditerranée, très peu d'entre eux subsistent aujourd'hui et leur régime d'inondation est presque toujours contrôlé par l'homme, du moins en partie. Ils englobent divers types de milieux, allant des roselières qui entourent les lacs aux prairies humides pâturées dans les deltas ou en bordure du lit majeur des fleuves (Pearce and Crivelli, 1994).

➤ **Les plaines d'inondation et les forêts inondées**

La plupart des zones humides que l'on trouvait autrefois dans les plaines d'inondation ont été drainées de manière systématique au cours des deux derniers millénaires. Parallèlement, les importantes forêts riveraines (saules et peupliers) qui bordaient le cours inférieur de la majorité des cours d'eau de la région méditerranéenne, ont presque entièrement disparu à la suite du déboisement ou du drainage. Il reste un petit nombre de marais d'eau douce dans les plaines d'inondation du Pô et du Tage et dans le Languedoc en France et quelques forêts inondées autour du lac Skadar au Monténégro, dans les deltas du Péninsule et du Nestos et autour du lac Kerkini en Grèce ainsi que dans le delta du Kizilirmak et autour du lac Manyas en Turquie (Lethier, 1995).

➤ **Les zones humides intertidales**

Du fait de l'absence de marées dans la majeure partie de la mer Méditerranée, il y a très peu de grandes vasières entre la limite des hautes et basses eaux à l'exception de la partie du golfe de Gabès, située entre la côte du sud tunisien et les îles Kneis (Lethier, 1995).

➤ **Les lacs salés continentaux**

Les lacs salés (chotts et sebkhas) comptent parmi les plus grandes zones humides du bassin méditerranéen, les plus importants se trouvent en Afrique du Nord où l'effet conjugué, les pluies torrentielles subites et du ruissellement rapide dans des paysages quasi désertiques, entraîne parfois la formation de vastes étendues d'eau dans des dépressions continentales.

Dans les chotts, la végétation permanente éparsée engendre des îlots de verdure chaque fois que l'eau est présente. Les invertébrés dans ces zones sont limités à une poignée d'espèces adaptées aux conditions xériques. Parmi les espèces précitées, les oiseaux d'eau sont rares.

Les sebkhas sont des dépressions peu profondes renfermant de l'eau pendant de plus longues périodes et ne s'assèchent généralement qu'au plus fort de l'été (D.G.F 2011).

➤ **Les oasis**

Au Sahara, en Afrique du Nord et dans une bonne partie du Levant, les eaux souterraines sont abondantes et proviennent d'infiltration au cours des ères plus humides dans l'histoire géologique de la Région. On note l'exemple de l'oasis d'Oued Sa à Adrar (25.400ha) et l'oasis de Tanantit et Sid Ahmed Timmi à Adrar (95.700 ha) (DGF, 2001).

➤ **Les salines**

Les salines, lorsqu'ils sont exploités, constituent des zones humides à forte composante artificielle et sont de très grande valeur socio-économique. Dans les bassins de faible salinité certaines espèces, de végétaux et de poissons tolérant le sel, y prospèrent. En revanche, dans les bassins les plus salés seuls les artémias (micro-crustacés) survivent. Les cycles saisonniers réguliers des salins permettent de garantir la disponibilité des ressources alimentaires et d'accueillir, par conséquent, une avifaune abondante (Pearce and Crivelli, 1994).

➤ **Les lacs de barrages**

Ils constituent un type de zones humides de plus en plus déterminant dans le bassin méditerranéen. Les réservoirs, construits en montagne, peuvent remplacer, dans une certaine mesure, les zones humides des plaines en aval. Ils peuvent également jouer un rôle important quant à la formation des deltas.

Malheureusement, la plupart des réservoirs sont construits dans des zones très pentues ce qui limite beaucoup les possibilités de développement de marais peu profonds en périphérie et pour beaucoup d'entre eux, le niveau d'eau peut baisser de manière très importante et irrégulière réduisant d'autant plus les chances de croissance de la végétation sur les rives (DGF ,2001)

1.5 Système de classification et typologie des zones humides

Plusieurs travaux menés dans le cadre de différents projets se sont fixés comme objectif de classer les zones humides dans des catégories. En prenant en considération un certain nombre de paramètres, ces catégories sont-elles mêmes subdivisées en sous catégories et en multitude de types (niveaux différents de subdivision). Parmi ces classifications, la classification de Ramsar (Tiner, 2016).

➤ **Classification Ramsar**

L'actuelle classification adoptée par la convention Ramsar couvre les types des zones humides du monde entier. Elle est basée sur la classification développée aux États-Unis(Cowardin et al., 1979). Cette classification se divise en 3 classes principales et chaque classe est subdivisée en types (RAMSAR, 2007a). Le Tableau 01 présente la classification détaillée adoptée par la convention Ramsar (HECKER, 1995) ; RAMSAR, 2007a) avec certaines caractéristiques de chaque type de zone humide (Tableau 01 RAMSAR, 2007a)

Tableau 1: Caractéristiques des types de zones humides selon la classification

Zones humides marines/ côtières			
Eau Salée	permanente	-6 m de profondeur	A
		Végétation submergée	B
		Récifs coralliens	C
	rivage	rocheux	D
		Sable fin grossier ou galets	E
Eau Salée ou saumâtre	Etendue intertidale	Vasière banc de sable ou terre salée	G
		Marais	H
		Zone boisée	I
	Lagunes		J
	Eaux estuariennes		F
Eau salée Saumâtre ou douce	Souterraine		ZK(a)
	Lagunes		K
Zones Humides continentales			CODE

Eau douce	Eau courante	Permanente	Rivières cours d'eau ruisseaux	M			
			Deltas	L			
			Sources, oasis	Y			
	Eau douce	Saisonniers/ intermittents	Permanents	>8 ha	O		
				<8ha	Tp		
				>8 ha	p		
	Eau douce	Saisonniers/ intermittents	Saisonniers/ intermittents	<8ha	Ts		
				Marais sur sols inorganiques	Permanents	Dominés par des plantes herbacées	Tp
						Saisonniers/ intermittents	Dominés par des buissons
	Marais sur sols inorganiques	Saisonniers/ intermittents	Dominés par des arbres	Xf			
			Marais sur sols tourbeux	Saisonniers/ intermittents	Dominés par des plantes herbacées	Ts	
	Marais sur sols tourbeux	Permanents			Non boisés	U	
			Marais sur sols tourbeux	Permanents	boisés	Xp	
	Mirais sur sols inorganiques ou tourbeux	Haute altitude (alpins)				Va	
Mirais sur sols inorganiques ou tourbeux			Toundra		Vt		
	eau salée saumâtre ou alcaline	lacs		permanents	O		
Saisonniers/ intermittents			R				
Marais & mares		permanents	Sp				
		Saisonniers/ intermittents	Ss				
Eau douce, salée saumâtre ou alcaline	Géothermique			ZH			
	souterraine			ZK(b)			

Selon la convention Ramsar les critères d'identification des zones humides d'importance internationale doivent se fonder sur leur importance internationale au point de vue écologique, botanique, zoologique, limnologique ou hydrologique » et ajoute : « Devraient être inscrites, en premier lieu, les zones humides ayant une importance internationale pour les oiseaux d'eau en toutes saisons ». (RAMSAR, 2013). Plusieurs groupes sont identifiés

➤ **Groupe A des critères Sites contenant des types de zones humides représentatifs, rares ou uniques**

Critère 1 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle contient un exemple représentatif, rare ou unique de type de zone humide naturelle ou quasi naturelle de la région biogéographique concernée.

➤ **Groupe B des critères Sites d'importance internationale pour la conservation de la diversité biologique**

□ Critères tenant compte des espèces ou des communautés écologiques

Critère 2 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des espèces vulnérables, menacées d'extinction ou gravement

Menacées d'extinction ou des communautés écologiques menacées.

Critère 3 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des populations d'espèces animales et/ou végétales importantes pour le maintien de la diversité biologique d'une région biogéographique particulière.

Critère 4 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance Internationale si elle abrite des espèces végétales et/ou animales à un stade critique de leur Cycle de vie ou si elle sert de refuge dans des conditions difficiles.

□ Critères spécifiques tenant compte des oiseaux d'eau

Critère 5 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite, habituellement, 20 000 oiseaux d'eau ou plus.

Critère 6 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite, habituellement, 1% des individus d'une population d'une espèce ou sous-espèce d'oiseau d'eau.

□ Critères spécifiques tenant compte des poissons

Critère 7 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite une proportion importante de sous-espèces, espèces ou familles de poissons indigènes, d'individus à différents stades du cycle de vie, d'interactions interspécifiques et/ou de populations représentatives des avantages et/ou des valeurs des zones humides et contribue ainsi à la diversité biologique mondiale.

Critère 8 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle sert de source d'alimentation importante pour les poissons, de frayère, de zone d'alevinage et/ou de voie de migration dont dépendent des stocks de poissons se trouvant dans la zone humide ou ailleurs.

□ Critères spécifiques tenant compte d'autres taxons

Critère 9 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite régulièrement 1 % des individus d'une population d'une espèce ou sous-espèce animale dépendant des zones humides mais n'appartenant pas à l'avifaune (RAMSAR, 2013)

1.6. Fonctions des zones humides

Les milieux humides ont de nombreuses fonctions qui leur donnent un intérêt particulier, et qui permettent de participer à la gestion de la ressource en eau et des milieux aquatiques sur le territoire, ce sont donc des services rendus aux sociétés.

1.6.1 Fonctions qualitatives

Les zones humides remplissent des fonctions biogéochimiques par la régulation des pollutions azotées diffuses si les conditions nécessaires sont réunies (Merot et al., 2000). En effet l'absorption de l'azote par les végétaux et la dénitrification sont caractéristiques du cycle de l'azote en milieu humide. Cependant ces processus varient dans le temps et l'espace.

L'étude menée par (Clement, 2010) a montré qu'au sein d'une zone humide existaient des différences de performances pour un processus établi comme la dénitrification. Ceci est la résultante de variations existant au sein d'une même zone humide, induites par des types de sols différents. Cette mosaïque d'entités, homogènes en leur sein, est appelée unité hydrogéomorphologique (HGMU). Elle permet de caractériser l'efficacité d'une zone humide pour un paramètre donné.

1.6.2 Fonctions quantitatives

Les zones humides constituent, à l'échelle du bassin versant, un outil de régulation du débit d'un cours d'eau (Durand et al., 2000). Elles permettent de ralentir l'eau en période de fortes précipitations et ainsi d'éviter les phénomènes de crues trop intenses et rapides. Cet écrêtement permet de protéger les personnes et les biens des potentielles inondations. Elles contribuent également à la recharge des nappes d'eau souterraines. Lorsque la capacité de stockage de l'eau par la zone humide est dépassée, celle-ci va s'écouler vers l'aval, vers le cours d'eau. Il en va de même en période plus sèche où les zones humides soutiennent les débits d'étiage en restituant l'eau, ce qui présente un avantage pour la faune et la flore, dépendantes de ces milieux, et pour l'agriculture, en permettant une alimentation continue en eau. Les modifications de ces espaces par des pratiques inadéquates ou des aménagements (réseaux de fossés, drainages) impactent les fonctions des zones humides et peuvent avoir des répercussions en aval du bassin versant, notamment en termes de qualité et de quantité d'eau.

1.6.3 Fonctions écologiques :

Une contribution majeure à la biodiversité de plus, les milieux humides sont des réserves de biodiversité importantes. Des macros aux micros habitats, les zones humides sont un lieu privilégié pour les animaux et les plantes, car elles recèlent de nombreuses ressources nutritives et sont le siège d'une production de biomasse importante. Elles représentent des lieux de refuge, d'habitat et de reproduction pour les animaux et les végétaux :

- *Des habitats pour la végétation*

De nombreuses espèces de plantes annuelle vivant pendant de courtes périodes lors des inondations saisonnières, et d'autres pour lesquelles la profondeur ou la salinité de l'eau revêt une importance critique. Beaucoup d'espèces sont également très adaptées aux conditions extrêmement calcaires typiques de nombreuses zones humides méditerranéennes, (Pearce and Crivelli, 1994) ; (Hecker, 1995). Les principales formations végétales sont représentées par : plantes halophytes, Grandes émergentes des marais d'eau douce, prairies humides, forêts riveraines, plantes d'eau douce submergées et flottantes et Jonchaies (Pearce and Crivelli, 1994).

- *Une multitude de micro-habitats pour les invertébrés*

La faune d'invertébrés (insectes, mollusques, crustacés, ...) est extrêmement riche et variée dans les milieux humides qui offrent une grande diversité de micro-habitats aquatiques, semi-aquatiques et terrestres, sur les différentes strates de la végétation vivante ou détritique. Beaucoup de ces organismes, dont la plupart des insectes, sont aquatiques durant leur vie larvaire et aérienne à l'âge adulte. On sait cependant qu'ils interviennent de manière fondamentale à différents niveaux du fonctionnement des écosystèmes humides et qu'en raison de leur omniprésence et du découpage très fin de leurs habitats, ils représentent d'excellents indicateurs de l'état écologique de ces milieux (Barnaud and Fustec, 2007).

- *Des habitats conformes aux besoins des amphibiens et de certains reptiles*

Toutes les espèces d'amphibiens se reproduisent dans l'eau et y demeurent le plus souvent au stade larvaire. A l'âge adulte, des espèces passent le plus clair de leur temps dans l'eau, contraintes de venir respirer régulièrement en surface tandis que d'autres (les crapauds, la grenouille agile...) ne rejoignent l'eau que pour s'y reproduire. La plupart des espèces, qui ont une peau fine à travers laquelle ils absorbent l'eau et respirent, doivent demeurer dans des milieux humides (marais, prairies, boisements humide). Des serpents, notamment la Couleuvre à collier et la Couleuvre vipérine sont les hôtes des rives de cours d'eau, de marais, de mares et d'étangs où ils se nourrissent d'amphibiens, de poissons et de lombrics (Barnaud and Fustec, 2007).

- *Une diversité d'habitats complémentaires pour les oiseaux*

Si différentes catégories d'oiseaux fréquentent régulièrement les milieux humides (rapaces, passereaux...), les espèces véritablement emblématiques sont celle que l'on désigne comme « les oiseaux d'eau ». Ils regroupent des Anatidés (oies, canard, sarcelle, cygnes), des grands échassiers (hérons, aigrettes, spatule blanche, cigognes,) des petits échassiers ou limicoles (vanneaux, pluviers, chevaliers, bécasseaux, courlis,...), des Rallidés (poules d'eau, foulques,...), et des Laridés (goéland, mouettes, ...) (Barnaud and Fustec, 2007).

De nombreuses espèces d'oiseaux utilisent les zones humides pendant une ou plusieurs phases de leur cycle biologique. Certaines d'entre elles, à vrai dire peu nombreuses, restent sédentaires et habitent tout au long de l'année dans le même marais ou le même étang. Beaucoup d'autres, au contraire se déplacent au fil des saisons d'une zone humide à une autre et certaines fréquentent même temporairement, les prairies, les cultures ou d'autres milieux secs. Tous ces oiseaux trouvent dans les zones humides la nourriture, l'abri ou le site de reproduction (Fustec and Lefeuvre, 2000b).

Les zones humides remplissent plusieurs fonctions tout au long de leur cycle de vie tels que :

- *Des habitats propices à la reproduction*

Les caractéristiques générales des grands types de zones humides en font des habitats de reproduction privilégiée pour certains groupes d'oiseaux. Les étangs et les marais doux d'origine naturelle ou artificielle, se distinguent par la très grande diversité de types d'espèces qu'ils accueillent : grèbes, guifettes, canards, hérons, fauvette aquatiques, râles, etc.(Fustec and Lefeuvre, 2000b). Les zones humides ne peuvent assurer de bonnes conditions de reproduction aux oiseaux d'eau qu'en leur offrant des sites de nids de qualité, de la nourriture et la sécurité. Deux facteurs restent d'une grande importance pour la plupart d'entre elle : la végétation et la taille de milieux (Fustec and Lefeuvre, 2000b).

- *Des milieux de mue Après la reproduction*

Jeunes et adultes renouvellent leur plumage avant de migrer. Ressources alimentaires et tranquillité sont alors essentielles car les besoins énergétiques restent élevés et les oiseaux sont momentanément incapables de voler. Beaucoup d'espèces demeurent fidèles aux mêmes sites de mue et effectuent parfois de très long parcours pour les atteindre : pour les tadornes de belon, par exemple, cela représente un aller-retour de 2500 km entre les rives de Méditerranée et la mer (Frochot and Roché, 2000).

- *Milieux de haltes et de transit*

Les zones humides qui s'échelonnent des régions arctiques à l'Afrique sont des haltes potentielles pour les migrateurs en transit par l'Europe de l'ouest. Ceux-ci vont s'y reposer et reprendre des forces. Tranquillité et disponibilité alimentaire conditionnent la qualité de l'accueil (Fustec and Lefeuvre, 2000b).

- *Lieux d'hivernage*

L'hivernage est pour les oiseaux d'eau une période de reconstitution des réserves énergétiques après les efforts investis dans la reproduction et souvent aussi dans la migration, les zones humides répondant à ces besoins (Fustec and Lefeuvre, 2000b).

- *Zones de refuge*

Certaines zones humides jouent le rôle de refuge climatique lors des grands froids, cette fonction s'exerce en deux temps. Le premier est le repli des oiseaux vers des milieux non gelés : les eaux libres des grands fleuves jouent un tel rôle lorsque les étangs et les marais sont pris par la glace. Elles peuvent accueillir momentanément d'importantes populations d'anatidés, de grèbes, de laridés, de hérons, quand toutes les zones humides sont gelées, (Fustec and Lefeuvre, 2000b).

- *Des habitats pour les mammifères*

Les hôtes habituels et les espèces de retour De nombreux mammifères viennent brouter ou rechercher des parois dans les milieux humides qui hébergent aussi, durablement, diverses espèces, notamment des petits rongeurs. Le Campagnol amphibie, herbivore des marécages des bords des cours d'eau, le Crossope aquatique et la Musaraigne de Miller, inféodés aux milieux aquatiques et à leurs berges ou ils se nourrissent de petites crustacés, d'insectes aquatiques, des grenouilles ou de petits poissons, sont des espèces protégées en Europe.

1.7 Valeurs des zones humides

Outre des biens et des services, la plupart des milieux humides offrent aussi de multiples avantages aux habitats proches ou aux touristes qui viennent en bénéficier temporairement. Plusieurs activités récréatives (chasse, pêche, activités, nautiques, ou de découverte, ...) peuvent donner lieu à des évaluations économiques, mais celles-ci ne recouvrent que partiellement la valeur que chacun peut attribuer aux attrait et aux avantages que procurent ces écosystèmes si particulier, (Barnaud and Fustec, 2007).

Elles accueillent également des populations de plantes et d'animaux, en particulier des oiseaux d'eau, contribuant largement au maintien de la diversité biologique. Elles produisent du bois et permettent le pâturage, tandis que d'autres entretiennent des pêcheries opulentes. L'ensemble de ces valeurs est énuméré ci-dessous par catégories.

➤ **Produits des zones humides**

Les zones humides fournissent une variété d'avantages à l'homme sous forme de produits qui peuvent être exploités : fruits, poissons, coquillages, gibiers, résines, bois de construction, bois de chauffage, roseaux pour les toits et la vannerie, fourrage pour les animaux, etc. l'exploitation a lieu à tous les niveaux (subsistance, industrie communautaire et échelle commerciale) et partout dans le monde, (Turner et al., 2008) (MEA, 2005). En Afrique du Nord, une grande quantité du sel de table est extraite des sebkhas qui constituent des zones humides à grand potentiel productif (Sadoul et al., 1998). Aussi, les zones humides d'eau douce sont utilisées pour le pompage de l'eau dans le but d'irriguer les surfaces agricoles qui se développent de plus en plus au voisinage de ces sites, (Mitsch and Gosselink, 2007). Dans certaines régions, des activités d'élevage se basent sur la végétation qui se développe aux abords des zones humides, (Fustec and Lefeuvre, 2000b).

➤ **Réservoir de diversité biologique**

La biodiversité des zones humides est un important réservoir génétique au potentiel économique considérable pour l'industrie pharmaceutique et la culture de plantes commerciales telles que le riz, (Barbier et al., 1997) ; RAMSAR, 2000. Les zones humides abritent une très riche collection de plantes et d'animaux. Seule une toute petite proportion de leurs vastes ressources génétiques a pu être étudiée et une part plus modeste encore se trouve dans la consommation humaine. Par ailleurs de nombreuses espèces rares et en danger vivent dans les zones humides ou en dépendent particulièrement. Tandis que d'autre n'y passent qu'une partie de leur cycle vital, ou les visitent à des fins particulières, afin de s'y reposer, frayer ou se nourrir, (Skinner and Zalewski, 1995).

➤ **Valeur économique**

Les zones humides offrent un rôle économique par ses nombreux services et fonctions rendus et qui possède une valeur économique avérée, (MEA, 2005). Toutefois, l'évaluation économique d'une zone humide est difficile à réaliser car il faut attribuer à cette évaluation une quantification chiffrée des ressources, des bénéfices et des qualités du système (De Groot et al., 2006). Pour rendre ces valeurs explicites, les économistes ont décomposé la valeur monétaire des zones humides en trois composantes

principales, dont la plus facile à intégrer dans les systèmes économiques courants : c'est la valeur de l'utilisation directe qui englobe tous les bénéfices issus de la vente des produits des zones humides comme, par exemple, les poissons ou les roseaux ainsi que l'exploitation touristique, (Skinner and Zalewski, 1995).

➤ **Valeur touristique et récréatives**

Les zones humides, par leur beauté naturelle ainsi que par la diversité de la vie animale et végétale que l'on y trouve, sont des destinations touristiques idéales. Les sites les plus beaux sont protégés dans des parcs nationaux ou des biens du patrimoine mondial et peuvent générer un revenu considérable du tourisme et des utilisations pour les loisirs. Dans certains pays, ce revenu est un poste non négligeable de l'économie nationale, (De Groot et al., 2006) (MEA, 2005). Aux activités récréatives telles que la pêche, la chasse et la navigation participent des millions de personnes qui dépensent des milliards de dollars

(RAMSAR, 2000). De nombreux visiteurs de zones humides viennent y chercher la tranquillité, ou une source d'inspiration pour l'écriture, la peinture ou la photographie, (Skinner and Zalewski, 1995).

➤ **Valeur culturelle, religieuse et archéologique.**

Dans une étude préliminaire récente des valeurs culturelles des sites Ramsar, on a souligné que la fonction culturelle des zones humides est largement répandue et mérite que l'on s'y attarde. Sur les 603 sites Ramsar examinés, plus de 30% possèdent en plus de leurs nombreuses autres valeurs, une importance archéologique, historique, culturelle, religieuse, mythologie ou artistique/créative, que se soit au niveau local ou national (RAMSAR, 2000). Le processus d'adoption de critères spécifiques d'identification des zones humides d'importance internationale a commencé en 1974 mais les premiers critères officiels n'ont été adoptés qu'à la COP1 en 1980. En 1987 et 1990, la Conférence des Parties contractantes a révisé les Critères et à la COP6, en 1996, les Parties ont ajouté de nouveaux Critères tenant compte des poissons. À la COP9 (2005) ; un neuvième Critère a été ajouté concernant les espèces animales dépendant des zones humides mais n'appartenant pas à l'avifaune (RAMSAR, 2013)

1.8 Facteurs de menace et de dégradation des zones humides

Les fonctions, valeurs et caractéristiques particuliers des zones humides ne peuvent se perpétuer que si les processus écologiques à l'œuvre dans les zones humides se déroulent normalement (Skinner and Zalewski, 1995), malheureusement, ces écosystèmes restent parmi les écosystèmes les plus menacés du monde (Mitsch and Gosselink, 2007) et ceci est dû principalement aux facteurs suivants :

- *Assèchement et drainages*

Afin d'étendre la superficie des terres cultivables, les zones humides étaient souvent drainées et asséchées pour les convertir à l'agriculture. Actuellement, la conquête de nouvelles terres cultivables ne se justifie plus et c'est maintenant le développement urbain, industriel et touristique qui est à l'origine de nombreux projets de drainage et d'assèchement. En effet les sites se trouvant en aval des barrages sont privés de l'eau qui les alimentait autrefois (Mitsch and Gosselink, 2007), sans oublier l'action accentuant la sécheresse générée par les changements climatiques globaux. Les statistiques concernant la perte des zones humides au cours des cent dernières années sont impressionnantes. Par exemple, (Pearce and Crivelli, 1994) estiment que 60% de l'ensemble des zones humides françaises ont disparu et un grand nombre de ce qui subsiste est menacé de la sécheresse du début des années 90.

- *Pression démographique*

La poussée démographique est à l'origine de la plupart des projets de développement qui menacent les zones humides soit par destruction ou par perturbations. Une augmentation rapide de la population

résidente ou bien du nombre de visiteurs au cours des décennies à venir, tend à accentuer et à accélérer le processus de dégradation des zones humides et de changer leur vocation principale. Ceci sera plus marqué en particuliers dans les régions côtières où se localise la plupart des villes les plus peuplées du monde. (Pearce and Crivelli, 1994).

- *Pollutions et eutrophisation*

L'eutrophisation se manifeste lorsque les eaux reçoivent un apport exagéré de substances nutritives (eaux usées ou engrais agricoles), qui augmente la production d'algues et de plantes aquatiques. Dans les conditions actuelles de pression démographique et de développement urbain, l'eutrophisation représente la principale menace de pollution aux zones humides d'eau douce ou salées (Dodds et al., 2008). La putréfaction des eaux usées est grande consommatrice d'oxygène dissous. Les engrais quant à eux peuvent provoquer des proliférations d'algues qui gênent la circulation de l'eau et empêchent la lumière de pénétrer en profondeur. Ces algues peuvent également libérer des toxines et lorsqu'elles meurent et commencent à pourrir, elles consomment alors de grande quantité d'oxygène dissous (Dodds, 2002). Les conditions qui prévalent dans les lagunes, les étangs et les lacs méditerranéens, où la température élevée de l'eau accélère la croissance des algues et où la stratification empêche un réapprovisionnement en oxygène par des eaux "propres" pourraient difficilement être plus propices à l'eutrophisation (Pearce and Crivelli, 1994).

- *Surpêche*

La surpêche désigne la pêche excessive, elle constitue un problème permanent car les technologies en matière des captures progressent plus vite que les méthodes de gestion durable des processus halieutiques (Cury and Christensen, 2005). Toutefois il n'est pas toujours facile de précisément distinguer quand le seuil critique de surpêche est dépassé ; ni les rôles de la pêche et respectifs d'autres facteurs environnementaux (surtout climatiques ou ceux liés à la pollution ou à l'introduction d'espèces invasives ou de parasites) dans la baisse de certains stocks de poisson (Rochet and Trenkel, 2009).

- *Chasse*

La chasse de gibier d'eau est très variée selon les types de sites et les espèces. Les zones humides où se pratique la chasse ont fortement régressées, les chasseurs aussi (AUROY and HARGUES, 2009), mais on peut tour à tour soutenir que la chasse constitue l'une des utilisations les plus inoffensives et les plus rationnelles des zones humides et de leur faune lorsqu'elle est rationalisée et régularisée d'une part ; ou que cette activité constitue une cause importante de dégradation de ces écosystèmes quand elle est abusivement exercée d'autre part. Par ailleurs, bon nombre des plus grandes zones humides de la méditerranée n'existeraient plus si elles n'avaient pas fait l'objet d'une exploitation cynégétique. Malgré cela, la chasse continue à être pratiquée avant la fin de la période de reproduction et jusqu'au début de la migration pré-nuptiale, (Pearce and Crivelli, 1994) (AUROY and HARGUES, 2009).

- *Introduction des espèces exotiques envahissantes*

Issues à la fois d'introductions accidentelles et délibérées d'espèces « exotiques » qui perturbent l'abondance et la survie des espèces indigènes ainsi le fonctionnement global de l'écosystème, (Mitsch and Gosselink, 2007). En effet, l'introduction de nouvelles espèces, de poissons ou de plantes aquatiques par exemples, peut être aussi préjudiciable aux zones humides que la surpêche ou l'eutrophisation, (Howard and Matindi, 2003). La prolifération des plantes exotiques envahissantes cause des nuisances sur le fonctionnement des hydro systèmes tant pour la biodiversité (altération des peuplements aquatiques, modification morpho dynamique des courts d'eau...) que pour les usages entrave hydraulique à la libre circulation de l'eau, gêne pour le loisir pêche, entrave à la baignade, entrave à la navigation ...). (Mitsch and Gosselink, 2007). Les rejets des fermes aquacoles augmentent la teneur des

zones humides en nutriments et favorise la croissance des algues et l'eutrophisation ; comme il est fréquent que des espèces s'échappent de bassins d'aquaculture. Il est de plus en plus évident que l'aquaculture intensive, qui entre fréquemment en conflit avec la pêche traditionnelle dans les lagunes, ne devrait pas être pratiquée dans les zones humides car ces résultats sont souvent désastreux, (Pearce and Crivelli, 1994)

- *Dérangements*

En 1990, le bureau de Ramsar a effectué une analyse des menaces pesant sur les zones humides d'importance internationale ; les dérangements (chasse, activités récréatives et nautiques comprises) Figurent en première place et menacent 112 des 318 sites européens et méditerranéens de Ramsar. La pollution n'occupe que la deuxième place, avec 105 sites affectés, et les projets agricoles la troisième place, avec 64 sites affectés (Pearce and Crivelli, 1994).

1.9 Les sols des zones humides

Le sol est la région la plus superficielle de la croûte terrestre. C'est une structure spatialement organisée contenant des éléments minéraux, des organismes vivants (microorganismes, organes souterrains des végétaux, animaux), cadavres et feuilles et matière végétale en décomposition. Des constituants organiques formés de résidus plus au moins transformés (des organismes et de leurs métabolites) et des vides dans lesquels circulent de l'eau et des gaz. Les plantes plongent leurs racines dans le sol, y secrètent certaines substances et recouvrent également de débris organiques qui contribuent à la formation de l'humus tous ces éléments interagissent pour former un ensemble dynamique qui se transforme au cours du temps en un « sol ». Ce dernier se compose d'éléments divers rassemblés dans un milieu interstitiel appelé la solution du sol. Figure2

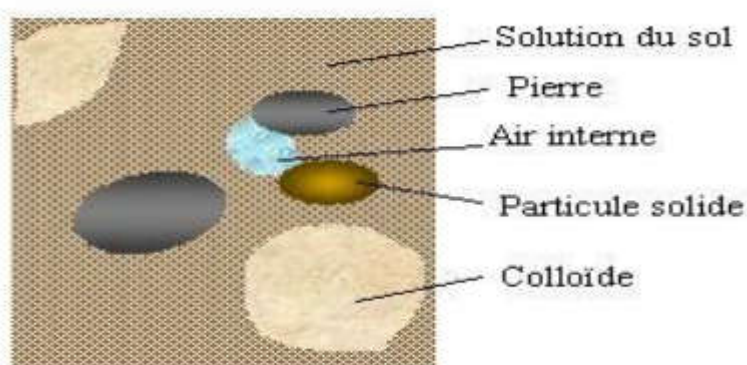


Figure 2 : structure et composition du sol(Calu, 2004)

D'après (Barnaud and Fustec, 2007) les sols des zones humides présentent une grande diversité en fonction de la nature et de l'âge des formations minérales sur lesquelles ils se développent, de l'amplitude des variations du niveau de l'eau, de la composition chimique de l'eau et du type de couverture végétal. Ainsi il distingue deux catégories de sols des zones humides.

- Les sols minéraux

Dans cette catégorie sont rassemblés les sols dont la teneur en matière organique dans les horizons qui les caractérisent est au maximum de 30 % environ. Les horizons humifères (A) sont situés à la partie

supérieure de ces sols, comme les horizons organo-minéraux sous-jacents ils se différencient par l'intensité et la durée des conditions d'engorgement.

- *Les sols organiques ou histosols*

Ce sont des sols organiques spécifiques des zones humides et contenant au moins 30% de matières organiques. Ils sont essentiellement constitués d'eau et de matière organique (tourbe) qui s'élabore soit à partir de mousses (des sphaignes), soit à partir d'espèces herbacées comme les roseaux, les massettes (*Typha*), les *Carex*, les joncs, les prêles et nénuphars en milieux d'eau douce, soit à partir de spartines en milieux salés (Barnaud and Fustec, 2007).

Les zones humides sont soumises aux paramètres, climatiques sévères (sécheresse, température et pluies) qui conditionnent périodiquement les phases d'assèchements et inondations. Cette périodicité favorise également les transformations au niveau du sol ainsi deux facteurs sont déterminant « l'eau et le sel ». De ce fait on parle de deux types de sols : Les sols hydromorphes et les sols halomorphes.

- **Les Sols hydromorphes**

Les sols qui se forment et évoluent dans des conditions spécifiques des milieux humides font partie d'une grande catégorie de sols dits « hydromorphes » (Barnaud and Fustec, 2007). La formation des sols hydromorphes est liée à la présence d'une nappe d'eau temporaire ou permanente plus au moins proche de la surface (Lacoste and Salanon, 1969). Ces sols sont caractérisés par un engorgement temporaire ou permanent par l'eau. Ils sont caractérisés par des phénomènes de réductions des oxydes de fer, par suite des conditions anaérobies et l'action de l'eau stagnante chargée en produits organiques acides (Figure.3). Du fait que ce sont des sols asphyxiants, ils sont peu favorables à l'activité biologique. Selon les caractéristiques de la nappe, deux principaux types de sols sont distingués (Duchaufour, 1965).

- **Les Pseudogleys**

L'origine de ce groupe de sol résulte le plus souvent de la dégradation d'un sol forestier. Ces sols résultent d'un engorgement temporaire du profil ou de la formation d'une nappe « stagnante » reposant sur un niveau imperméable. L'imperméabilité du sol est le plus souvent liée à un défaut de texture (limoneuse ou argileuse). Les pseudogleys sont plus défavorables que les sols à Gley, ils sont asphyxiant en saison humide, mais la nappe d'eau temporaire disparaît en saison sèche. L'insuffisance de pénétration des pluies en profondeur rendent les sols à pseudogley extrêmement sec en été. Ces sols sont difficiles à reboiser et peuplier de culture ne peut pas réussir (Duchaufour, 1965).

Notons, que les pseudogleys à nappe perchée, de certains sols de transition, peuvent se comporter en bons sols forestiers. Pour ces sols, il existe une phase intermédiaire entre la période de stagnation de l'eau et la période d'assèchement, pendant laquelle l'horizon « g » reste humide et suffisamment aéré. Cette phase permet le développement en profondeur des racines de certaines espèces adaptées à ces sols, Tilleul, Frêne, Chêne pédonculé, en particulier les chênes résistent à la phase asphyxiante, si elle intervient pendant la phase de repos de la végétation, et si elle est de courte durée (Duchaufour, 1965).

- **Les Gleys**

Ce sont des sols liés à la présence d'une nappe phréatique permanente à quelque décimètre sous a surface. Ils se forment sur des couches argileuses. On les rencontre dans certaines plaines alluviales, exemple au voisinage des bras morts des rivières, ou au bord des étangs (Duchaufour, 1965) (Ozenda, 1982). Les sols à gley sont souvent asphyxiants mais ne sont jamais secs. Leur alimentation en eau est assurée en toute saison par le phénomène d'ascension capillaire, et leur végétation est en général de type hygrophile (Duchaufour, 1965).

- **Les sols des tourbières**

Ce sont des sols inondés d'une manière plus ou moins permanente et de teinte noirâtre due à l'accumulation des matières organiques humidifiées mais non minéralisées. On en distingue deux types :

- Les basses tourbières : qui se développent au ras de l'eau, à Bryales et Carex.
- Les hautes tourbières : elles sont acides, à sphaigne, la condition essentielle de formation de ces sols est l'existence d'une couche imperméable située au voisinage de la surface et qui est due à un défaut de texture limoneuse ou argileuse (Duchaufour, 1965).

➤ **Les sols halomorphes**

La genèse des sols halomorphes est liée à la présence de chlorure de sodium d'origine marine ou d'origine géologique (exemple : couche de Trias gypso-salin D'après (Lacoste and Salanon, 1969). (Servant, 1986) définit la salinisation d'un sol comme un phénomène complexe faisant intervenir l'histoire géologique ou sédimentaire (les sources de salinité), le climat (influence de l'aridité), la topographie (bassins alluviaux ou sédimentaires) ainsi que l'influence de l'homme (irrigation, modifications du couvert végétal).

Les sols salés continentaux occupent de vastes bassins intérieurs en Afrique du Nord, en Asie occidentale et centrale, dans l'Ouest des Etats-Unis rare et très localisé en Europe (la plaine Hongroise) ; le salant a une origine géologique remonté à partir d'une couche salifère, sous l'effet du climat aride (Ozenda, 1982).

La composition de ces sols est beaucoup plus complexe (Figure.4), comportant non seulement du chlorure de sodium mais d'autres anions (sulfate, carbonate) ou cations (magnésium, potassium). Le sel des sols salés a plusieurs origines.

Les sols salés d'origine édaphique, sols des régions côtières, du voisinage des salines, ils doivent leur salinité à l'eau marine renfermant 80% des sels dissous. Par la suite, ces sols ne contiennent que du Na Cl.

Les sols salés d'origine climatique, sols des déserts et régions steppo-désertiques, ces sols connaissent un dessèchement très poussé dont la quantité de sulfate de sodium, de magnésium et de carbonate augmente au détriment de celle de chlorure (Lacoste and Salanon, 1969).

Le sel peut aussi être d'origine géologique, dans les dépôts lagunaires de matériaux salés plus au moins récents (dépôts géologiques salifères du Trias –Miocène-du Pliocène ou même du Quaternaire).

Le vent peut provoquer l'apparition de phénomène de salure sur des sols qui en été indemnes, le sable chargé de sel (pseudo sables salés) en s'y déposant forme des sols halomorphes.

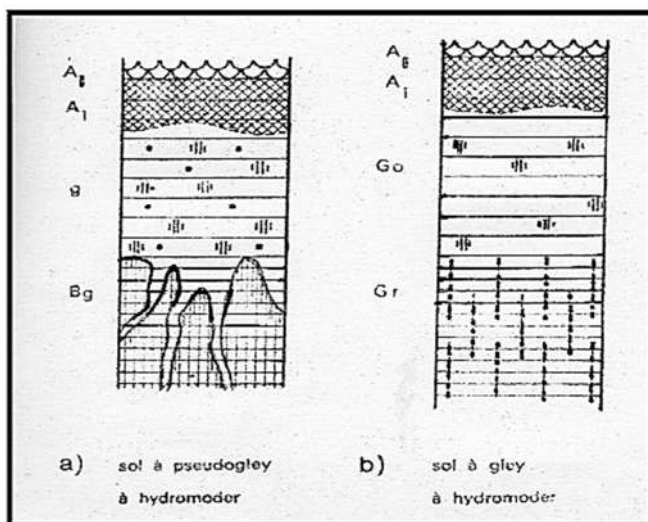


Figure 3 : profil d'un sol hydromorphe (Duchaufour, 1965)

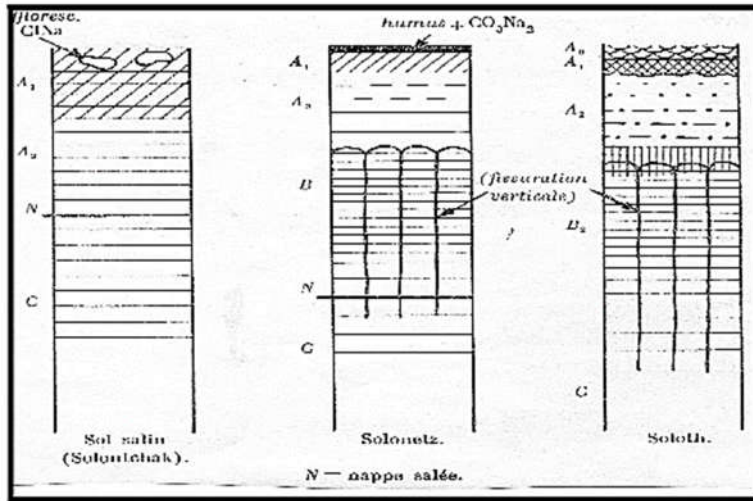
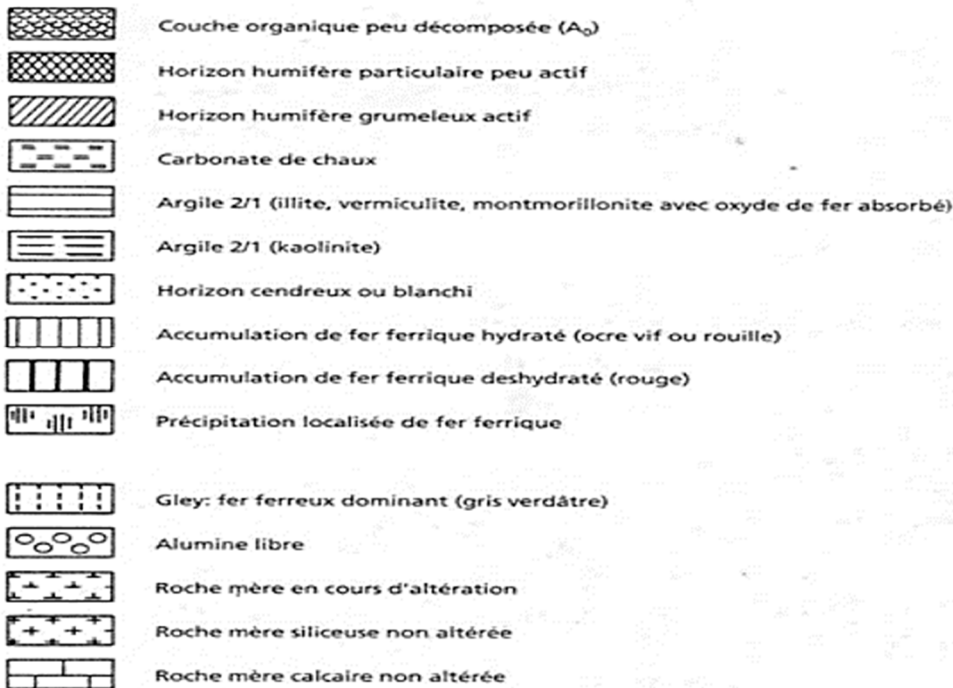


Figure 4 : profil de 3 type de sol salin d'après (Duchaufour, 1965)

Légende des Figures 3 et 4



➤ Les sols salins (solontchaks)

Sont reconnue comme sols salins quand leurs conductivités électriques sur extrait saturé sont supérieures à 4 ds .m-1. Elle peut même excéder à 8 mm hos /cm, (Nadia, 2008), sur 25 cm de profondeur et le pH est généralement inférieur à 8,7, (Duchaufour, 1965). Le complexe absorbant peut-être calcique, magnésien ou sodique. Le profil, peu évolué, de type AC. Le sel remonte par ascension capillaire et forme des efflorescences blanches en surface (Figure.4). On distingue deux types de salinité, une salinité primaire d'origine naturelle due à la proximité de la mer, ou à l'existence de dépôt salin géologique et

une salinité secondaire due à des processus de salinisation liés à des activités anthropiques, par exemple une mauvaise irrigation, (Aubert, 1976).

➤ Les sols alcalins (solonetz)

Un sol alcalin est caractérisé par l'absorption de sodium à la place d'autre cation (potassium, calcium) sur ses complexes minéraux argileux. Leur conductivité électrique sur extrait saturé est inférieure à 4 mmhos/cm et leur pH est généralement supérieur à 8, 5 ; il atteint souvent 9 ou 10, (Duchaufour, 1965). Le profil est de type ABC (Figure.4). Les solonetz sont rares en Algérie en raison de conditions climatiques, (Aubert, 1976).

Un sol alcalin a généralement une faible perméabilité à l'eau et à l'air qui peut conduire à une grave dégradation de sa structure par dispersion des substances colloïdales, argileuses ou organiques. Comme la salinité, l'alcalinité peut être soit primaire et naturelle, soit secondaire et causée par l'homme (Nadia, 2008).

➤ Les soloths

Ce sont des sols qui résultent de la dégradation des précédents par podzolisation qui entraîne la totalité de l'argile de l'horizon A, ou ne subsistent que des éléments grossiers et de la silice, cet horizon devient acide et le pH peut s'abaisser en surface à 5.

➤ La salinité du sol

L'holomorphie conduit aux formes les plus agressives de dégradation des terres en provoquant l'hyper salinité qui inhibe la croissance des végétaux même résistants. L'hyper basicité ($\text{pH} > 9$) qui génère la dégradation physique du sol de même que l'hyper acidité ($\text{pH} < 3$) entraînent la destruction des minéraux argileux des sols de type sulfaté acide (Servant, 1986).

La salinisation naturelle est induite par suite à une évaporation potentielle du sol dépassant largement la quantité d'eau qui arrive au sol. Ce phénomène permet aux sels de s'accumuler près de la surface. La salinité secondaire résulte du même processus que la salinité primaire mais concerne des surfaces réduites mais a des conséquences plus importante comme la dégradation des terres fertiles, (Antipolis, 2003).

La perméabilité du sol peut diminuer par suite à de nombreux facteurs en particulier ceux qui ont une relation directe avec la qualité de l'eau, en particulier la structure pédologique amenant les particules fines à se disperser dans les pores du sol. Même à faible taux de salinité est corrosive (Lalmi, 2009). La toxicité ionique est provoquée par les ions de sodium et de chlorure auquel beaucoup de plantes sont sensible. On cite également l'irrigation ou les rejets des eaux usées, dans ce cas le sol accumule d'énormes ions toxiques qui peuvent avoir des conséquences à long terme. Ces ions peuvent non seulement nuire à la croissance des plantes mais aussi polluer les eaux souterraines, (Lalmi, 2009).

D'après Antipolis, (2003), ce sont principalement : l'irrigation des terres avec de l'eau salée ; l'intrusion d'eau de mer dans les aquifères d'eau douce (surtout en zone côtière) ; la montée du niveau d'une nappe salée, même en l'absence d'irrigation, à cause du déséquilibre du bilan hydrique, par exemple à la suite d'un défrichement ; la montée du niveau d'une nappe salée à cause d'une irrigation trop abondante ou d'un mauvais drainage. Ce dernier cas est malheureusement trop fréquent et conduit à de graves dégradations comme l'exemple de la vallée du Nil (Antipolis, 2003). La Figure 5 présente les différents comportements du sol après une contamination par les eaux salines d'après (Servant, 1986).

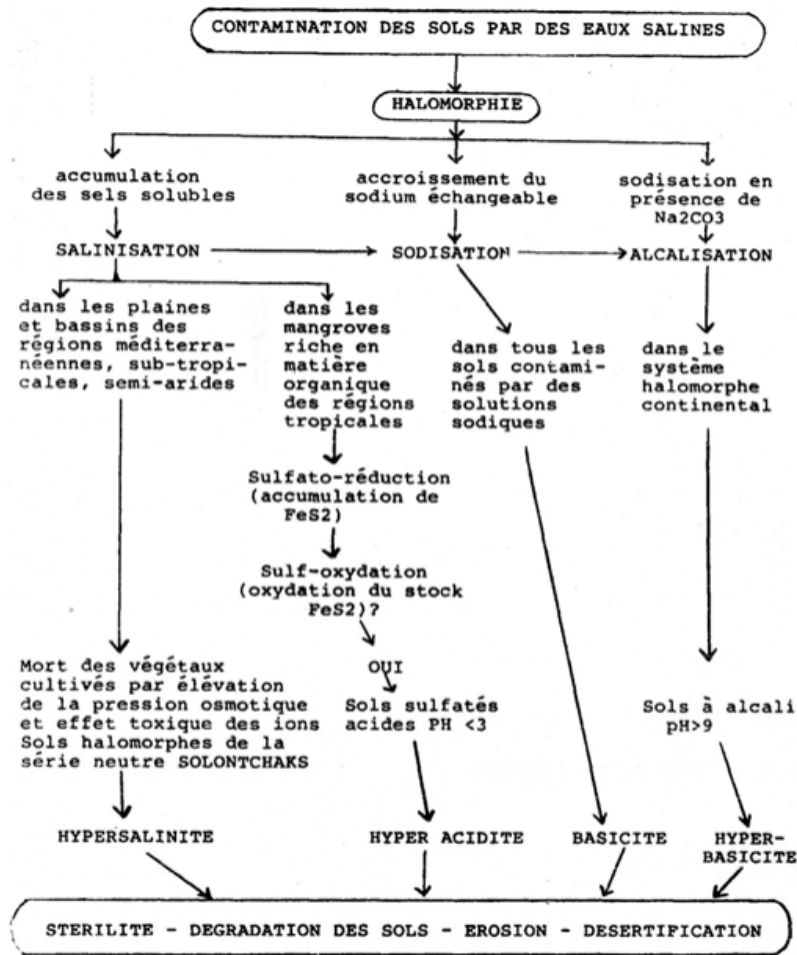


Figure 5 : Le comportement d'un sol après contamination par les eaux salines (Servant, 1986)

I.10 Hiérarchisation des zones humides

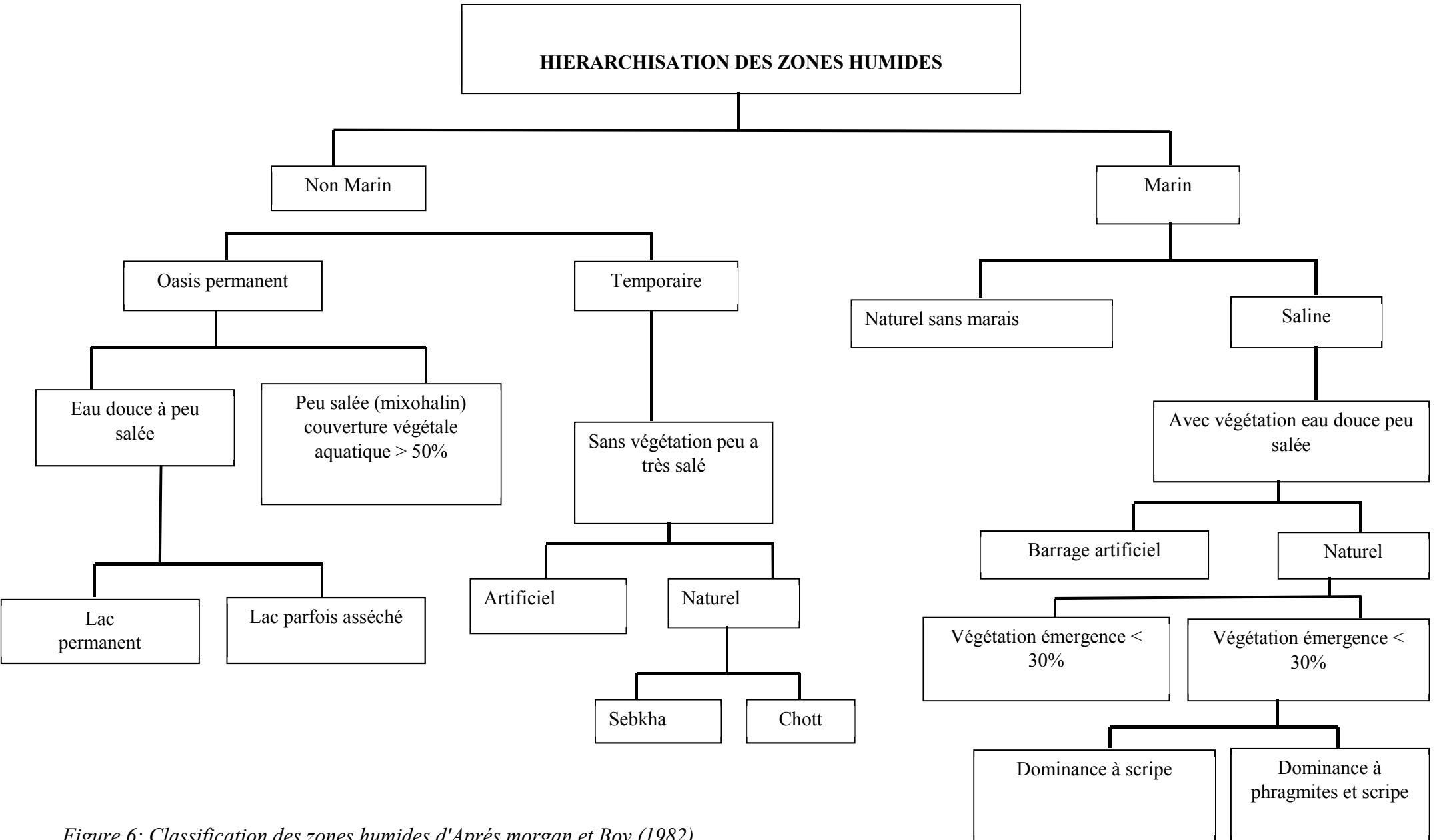


Figure 6: Classification des zones humides d'après Morgan et Boy (1982)

1.11 Les Zones humides de l'Algérie

L'Algérie est riche en zones humides. Le recensement préliminaire effectué au milieu des années 1990 a dénombré 254 zones humides naturelles, parmi lesquelles 60 zones peuvent être classées sur la liste de Ramsar. D'après la Direction Générale des Forêts le nombre des zones humides peut dépasser le millier si l'on inclut les Oueds, les Grottes, les Oasis et Daya, zones côtières, non comprises dans le premier inventaire (Figure. 3). Depuis son adhésion à la convention de Ramsar par la signature du décret N°439-82 du 11 décembre 1982, l'Algérie comptait seulement 3 zones humides d'importance internationale avant l'année 2000. En 2004, grâce à un projet réalisé et financé par le programme « eaux vivantes » du Fonds Mondial pour la nature (WWF-International), l'Algérie a désigné 42 sites avec une superficie de près de 3 millions d'hectares, près de 50% de la superficie totale estimée des zones humides en Algérie classés et protégés sur la liste des zones humides d'importance internationale. Le lac Tonga (EI-Kala) reste parmi les meilleurs exemples des zones humides en Algérie (D.G.F, 2004). L'Algérie est le troisième pays en Afrique, après le Botswana et son Delta de l'Okavango qui fait 6,8 millions d'hectares et Tanzanie avec 3,5 millions d'hectares, et la huitième dans le monde après le Canada (13 millions d'hectares), la Russie (10,3 millions d'ha), l'Australie (5,2 millions d'ha), le Brésil (4,5 millions d'ha), le Pérou (2,9 millions d'ha), et les deux pays africains précédents, Botswana et la Tanzanie (D.G.F, 2004).

1.11.1 Principales zones humides algériennes

Les zones humides algériennes sont assez diversifiées et se présentent sous différents types :

- La partie Nord-est, l'une des plus arrosées de l'Algérie, renferme un complexe lacustre Particulièrement important par sa superficie. C'est dans cette partie que se trouvent les 2 grandes zones humides d'eau douce : le lac Oubeïra et le lac Tonga, inscrites depuis 1983 sur la liste de Ramsar.
- La frange Nord-ouest, soumise à un régime pluviométrique moins important, se caractérise par des plans d'eau salés : Marais de la Macta dans la Wilaya de Mascara, grande sebkha d'Oran, le lac Télamine et les salins d'Arzew dans la Wilaya d'Oran.
- Les hautes plaines et les plaines steppiques situées à l'intérieur des terres, sont caractérisées par une pluviométrie très faible accentuée par une sécheresse estivale très prononcée. On y rencontre principalement chotts et sebkhas. Ces lacs continentaux salés de très faible profondeur qui se sont formés au Pléistocène sous l'effet conjugué des pluies torrentielles, d'un ruissellement dans des paysages quasi-désertiques ayant entraîné la formation de vastes dépressions constituant en superficie le type de zone humide le plus important d'Algérie.
- Les sebkhas, dépressions peu profondes, renfermant de l'eau salée pendant de longues périodes, ne s'asséchant généralement qu'au plus fort de l'été. Certaines d'entre elles peuvent même rester humides toute l'année. Les sebkhas se différencient en fonction de la présence et de la nature de la végétation, les principales sont : la grande sebkha d'Oran, Garaet El Tarf, Ank Djemel, Garaet El Meghsel dans la Wilaya d'Oum El Bouaghi, Bazer et El Hamiett dans la Wilaya de Sétif.
- Les chotts, sont des dépressions peu profondes dont l'inondation est irrégulière dans le temps et dans l'espace. Elles sont caractérisées par une végétation très riche composée essentiellement de salicornes. Les chotts les plus importants sont : chott El Hodna (M'sila), chott Melghir (Biskra), chott Merouane (El Oued), chott Zehrez Chergui et Gherbi (Djelfa), chott Chergui (Saïda), chott Aïn Beïda et chott Lalla Fatma (Ouargla), chott El Frain et chott El Beïda (Sétif).
- Au Sahara de l'Atlas Saharien, dans la zone désertique, caractérisée par une pluviométrie très faible, existe un réseau hydrographique fossile extrêmement ramifié, représenté en surface par des lits d'Oueds et des Oasis.

- Enfin, dans les grands massifs montagneux de l'Atlas Saharien, du Hoggar et du Tassili, existent de nombreuses zones humides permanentes appelées Gueltas qui constituent, sans doute, une étape importante pour l'avifaune traversant le Sahara.

1.11.2 Classification écologique des zones humides en Algérie

(Morgan and Boy, 1982), ont mis au point une méthode de la classification des zones humides du pourtour méditerranéen. Les principaux sites Algériens ont été classés sur la base de cette méthode. Les critères utilisés pour définir les valeurs pour la conservation des sites humides sont surtout d'ordre écologique, à savoir :

- L'importance en tant qu'unité de conservation du point de vue.
 - a) De la fragilité.
 - b) De la superficie.
 - c) Des menaces.
- La représentativité.
- La richesse et la diversité.
 - a) En espèces.
 - b) En habitats.
- Si le site est naturel ou artificiel.
- La rareté :
 - a) En espèces.
 - b) Du site.
- La valeur potentielle du site.
- L'utilisation dans le cadre de l'éducation, la sensibilisation et du Tourisme.

(CHALABI, 1990) distingue onze catégories de zones humides ayant des caractéristiques écologiques différentes :

➤ **Sites marins artificiels :**

- Salines.
- Salines d'Annaba.

➤ **Sites marins naturels :**

- Lac Mellah.
- Garaet El -Hours (Guerbes).

➤ **Sites à végétation inférieure à 30 % Chotts et Sebkhates sans végétation.**

- Sebkhates Djendli.
- Chott Gadaine.
- Chott El- Golea.
- Chott Ain Beida (Ouargla).

➤ **Sites à végétation émergente supérieure à 30 % à domination de phragmites :**

- Marais de la Mekhada.
- Marais de la Macta (Mascara, Oran, Mostaganem).

➤ **Site de la végétation émergente supérieure à 30 % à domination de scirpes :**

- Lac Fetzara (Annaba).

➤ **Site artificiels : Barrage sans végétation :**

- Barrage de Boughzoul.
- Barrage de Ain Zada (Ain Zada).

– Barrage de Sidi Abed.

➤ **Sites artificiels : Barrage avec végétation :**

– Barrage de Cheffia.

– Barrage de Zerdezas.

– Barrage de Guenitra.

➤ **Chott et Sebkhates sans végétation :**

– Granol Sebkhates d'Oran (Oran), Sebkhates Guella, Sebkhates Ezzemoul, Chott El Hodna (M'sila), Chott Ettaref, Garaet Guellif, Garaet Ank Djemel, Sebkhates Djendli, Sebkhates Tinsilt, Chott El Beïda (Ouargla), Chott El Fraïn, Sebkhates El Hamiett, Sebkhates Bazer, Chott Merounes, Chott Sidi Khouiled, Chott Chergui (Saida), Chott Bel Djloud.

➤ **Oasis:**

-Oasis de chegga (Biskra).

-Kerdache.

-Lac Temacine.

-Lac Megarine.

➤ **Sites peu salés à végétation aquatique inférieure à 5%**

-Lac Gharabs.

➤ **Lac d'eau douce permanente:**

-Lac Tonga (Taref). – Lac Oubeïra (Taref).

– Lac des oiseaux (Taref). – Lac de Réghaia.

En résumé le chott El Hodna est une zone humide naturelle non côtière, temporaire, sans végétation et relativement salée.

1.11.3 Les zones humides Algériennes d'importance internationale

Les zones humides internationales (ou d'importance internationale) au nombre de 42 (Tableau 2) sont par définition et même d'une importance exceptionnelle, elles représentent les meilleurs exemples d'écosystèmes des zones humides du point de vue de leurs fonctions écologiques et hydrologiques leur biodiversité et de leur importance socio-économique.

Tableau 2: Type et localisation administrative des 42 sites humides algériens d'importance internationale

Nom de la zone humide	Type de zone humide	Wilaya
1-Lac Tonga	Lac d'eau douce côtier, marais et aulnaie	El Tarf,
2-Lac Oubeïra	Lac d'eau douce côtier	El Tarf,
3-Le lac des oiseaux	Lac d'eau douce côtier	El Tarf,
4-Chott Ech Chergui	Chott salé, continental saumâtre et d'eau douce.	Saïda, Nâama, El Bayadh
5-Guerbes	Plaine d'inondation côtière, lacs d'eaux douces et saumâtres.	Skikda

6-Chott El Hodna	Chott et sebkha continentaux,	M'Sila et Batna
7-Valée d'Iherir	Guelates d'eau douce	Illizi
8-Guelates d'issikarassene	Guelates d'eau douce	Tamanrasset
9-Chott Merouane et Oued Khrouf	Chott continental	El Oued et Biskra
10-Marais de la Macta	Marais côtier et Oued	Mascara, Oran et Mostaganem
11-Oasis de Ouled Saïd	Oasis et foggara	Adrar
12-Sebkha d'Oran	Sebkha ou lac salé continental	Wilaya d'Oran
13-Oasis de Tamentit et Sid Ahmed Timmi	Oasis et foggara	Adrar
14-Oasis de Moghrar et Tiout	Oasis et foggara	Nâama
15-Zehrez Chergui	Chott et sebkha continentaux	Djelfa
16-Zehrez Gharbi	Chott et sebkha continentaux	Djelfa
17-Guelates d'Affilal	Guelates	Tamanrasset
18Grotte de Ghar Boumâaza	Grotte karstique continentale et oued	Tlemcen
19Marais de la Mekhada	Marais d'eaux douces etsaumâtres	El Tarf
20-Chott Melghir	Chott et Sekha salés continentaux	El Oued et Biskra
21-Lac de Réghaïa	Lac, marais et oued côtiers	Alger
22-Lac Noir	Tourbière morte	El Tarf,
23-Aulnaies de AïnKhiar	Aulnaie et oued d'eau douce	El Tarf,
24-Lac de Béni Bélaïd	Lac, marais, aulnaie et ouedcôtiers d'eau douce	Wilaya de Jijel
25-Cirque de Aïn Ouarka	Lacs et sources d'eaux chaudeset froides, cirque géologique	Nâama
26-Lac de Fetzara	Lac d'eau douce	Annaba

27- Sebkhet El Hamiet	Lac salé saisonnier	Sétif
28-Sebkhet Bazer	Lac salé permanent	Sétif
29-Chott El Beïdha-Hammam Essoukhna	Lac salé saisonnier, prairie humide	Sétif
30-Garaet Annk Djemel-El Merhssel	Lac salé saisonnier	Oum el Bouaghi
31-Garaet Guellif	Lac salé saisonnier	Oum el Bouaghi
32-Chott Tinsilt	Chott et sebkha	Oum el Bouaghi
33-Garaet El Taref	Lac salé permanent	Oum el Bouaghi
34- Dayet El Ferd	Lac saumâtre permanent	Tlemcen
35-Oglat Edaïra	Lac saumâtre	Naama
36-Les Salines d'Arzew	Lac salé saisonnier	Oran
37-Le lac de Tellamine	Lac salé saisonnier	Oran
38-Le Lac Mellah	Lac d'eau saumâtre	El Tarf
39-Sebkhet El Meleh (Lac d'El Goléa)	Lac salé	Ghardaia
40-Chott Oum Raneb	Lac salé	Ouargla
41-Chott Sidi Slimane	Lac saumâtre permanent	Ouargla
42-Chott Aïn El Beïda	Lac salé	Ouargla

1.11.4 La nature des Zones Humides étudiées

Les zones humides en Algérie sont soumises à une typologie qui leur est particulière, que ce soit des eaux courantes ou stagnantes, douces ou saumâtres. Leur classification obéit à certaines conditions :

- **Daya** : C'est un Plan d'eau généralement salé de faible profondeur, pourvu d'une végétation aux alentours de ses rives seulement, elle est alimentée par la remontée de la nappe et par les eaux de pluie.
- **Lac** : C'est une Grande étendue d'eau douce plus rarement d'eau salée, située à l'intérieur des terres. Il possède un point central plus bas, relié ou non à un réseau hydrographique. L'origine peut être naturelle « Tectonique, Volcanique, Karstique, Glaciaire », ou artificielle, résultant de l'aménagement et de la régulation du réseau hydrographique à des fins diverses.
- **Sebkha** : C'est une dépression ou cuvette généralement inondable, quelquefois située en dessous du niveau moyen de la mer, couverte d'une croûte saline qui interdit l'installation de la végétation et dont

les rives sont rongées par le sel. Ce sont des lacs salés temporaire fréquent en Afrique du nord. Une seconde définition est donnée par Benziane (1983) : une sebkha est un bassin fermé dont le fond est imperméable et où s'accumulent les produits solubles et insolubles issus du bassin versant. Elle se distingue des « daïa » qui sont caractérisées par la présence d'un drainage par le fond et des « chott » qui bénéficient d'une alimentation par voie artésienne.

- Les salins

Les salins constituent des zones humides à forte composante artificielle mais néanmoins de très grande valeur biologique, qui accueillent un cortège d'espèces proche de celui retrouvé dans les lagunes côtières. Dans les bassins de faible salinité certaines espèces de végétaux et de poissons tolérant le sel prospèrent; en revanche, dans les bassins les plus salés, seules les artémias survivent. Les cycles saisonniers réguliers des salins, avec une mise en eau estivale (à l'inverse du cycle naturel) permettent de garantir la disponibilité des ressources alimentaires abondantes et, par conséquent, d'y accueillir une avifaune spécialisée.

1.11.5 Les zones humides de la région d'Oran

D'après la direction générale des forêts les zone humides inventore dans la wilaya d'oran montré dans le tableau 3. ces zones constituent des sites de repeuplement des oiseaux qui les utilisent pour leurs nids et comme espace de repos dans leur migration saisonnière.

Tableau 3: Les Zones Humides de la Wilaya d'Oran (Direction Générale des forêts, 2008)

Non du site	Daïra	Communes	Superficie	Zones classée Ramsar
Les marais de la Macta	Bethioua, Sig, Stidia	Bethioua	19000	2001
Lac Télamine	Gdyel	Gdyel	2400	2001
Les salines d'Arzew	Betéthioua	Betéthioua	5800	2004
La grande Sebkha	Boutlélis	Messerghine	43000	2004
Dhayet Oum Ghilez	Oued Tlélat	Oued Tlélat	300	-
Dhayet El Bagrat	Oued Tlélat	Tafraoui	200	-
Dhayet Morseli	Senia	senia	150	En cours de classement
Lac sidi Chahmi	Senia	Sid Chahmi	10	-

II.1 Introduction

Le Tell oranais a fait l'objet de beaucoup d'étude : géologique, hydrogéologique et même faunistique. La colonisation française (1830-1962) a mis en œuvre beaucoup de recherches pédologiques dans le but d'une exploitation de nouvelles terres agricoles, notamment la vigne et les céréales qui furent plantés autour des sebkhas. Cette expérience n'a pas réussi et les terrains de vignes furent inondés pendant les crues autour des salines d'Arzew (Péquignot, 1890). Les bassins fermés du plateau d'Oran peuvent être considérés comme des témoins des formations lagunaires et lacustres caractéristiques de la topographie et l'hydrographie du Pliocène et du début de l'ère quaternaire (Dubuis and Simonneau, 1960). La description du Tell oranais faite par Tinthoin (1938, 1949) indique un climat semi-aride « un paysage de chotts », des hautes plaines steppiques « avec leur cortège de dépressions fermées, de plantes halophiles et de variations saisonnières de l'étendue de leur pellicule d'eau ». Cet aspect particulier de la région a été remarqué par Dalloni (Dubuis and Simonneau, 1960) qui a écrit « ... par sa végétation de salsolacées associées à de nombreuses Légumineuses et Graminées, un pays du mouton », s'inscrit en plein Tell. De son côté De Martonne (1921) considère qu'une « ... promenade aux environs d'Oran donne déjà un avant-gout des Hauts Plateaux » (Dubuis and Simonneau, 1960).

II.2 La géographie de l'Oranie

La région d'Oran est située au nord-ouest de l'Algérie. En coordonnées géographiques exprimées DMS, est comprise entre 1° 16' 8.75" W et 0° 16' 16.24" E pour les longitudes et entre 35° 58' 48.76" N et 35° 20' 49.23" N pour les latitudes.

Il est désigné par (Gourinard, 1952) comme un territoire compris entre les marais de la Macta à l'Est et les dépressions au Nord et à l'Ouest. La grande sebkha d'Oran et les salines d'Arzew au Sud. Cette région, selon TINTHOIN (1948) correspond aux sahels d'Oran et d'Arzew des géographes.

Ce littoral s'allonge sur une centaine de kilomètres et présente une largeur de 20 à 25 km. Il est caractérisé par une altitude assez élevée (point culminant 631 m) et entouré de plaines basses encore subsidentes.

Pour la partie nord d'Est en Ouest, nous distinguons les unités morphologiques et structurales suivantes:

- les massifs d'Arzew et l'appendice du Djebel Khar.
- la dépression de l'Oued Sidi Hammadi ou plaine des Andalouses.
- le massif des Andalouses prolongé à l'Ouest par l'ensemble volcanique du Djebel Tifaraouine.

Au Sud les Monts des Tessala bordent cette zone du littoral oranais, Ils sont orientés WSWENE deux grandes unités morphologiques séparées par le Djebel Tessala, le Tessala occidental et le Tessala oriental.

II.3 Géologie et géomorphologie

II.3.1 Morphologie

La morphologie de l'Oranie est caractérisée par une vaste dépression qui s'étend du Sudouest oranais à la vallée du Chélif, plus à l'Est. Cette dépression qui est encadrée au Nord par les massifs du littoral et au Sud par un ensemble de massifs montagneux est occupée par les plaines de la Mléta, de Habra et du Chélif ; et par des lacs salés de la grande sebkha d'Oran et des salines d'Arzew (Fekraoui, 2007).

II.3.2 Géologie

L'étude géologique de la région montre que le littoral oranais correspond à un grand ensemble constitué essentiellement du secondaire. Le Permo-Trias est formé de schistes et conglomérats à faciès Verrucano. Le Trias est formé essentiellement de marnes et gypses qui constituent le substratum. Au-dessus vient le Jurassique qui est constitué par des lentilles dolomitiques massives accompagnées de calcaire.

schisteux. Ces formations sont surmontées par le Crétacé à faciès schisto-gréseux verdâtre. Le Tertiaire, essentiellement représenté par les calcaires messiniens du Miocène supérieur, joue un rôle très important dans l'hydrogéologie de cette région. Le Quaternaire est formé par des grès coquillés pouvant passer à de véritables lumachelles, des alluvions, et des complexes dunaires (Hassani, 1987).

II.3.3 Hydrogéologie

Les recherches hydrogéologiques dans le littoral de l'Oranie ont permis la reconnaissance de différents aquifères mio-plio-quaternaires et leurs propriétés hydrodynamiques. Dans le Djebel Murdjadjo, se trouve le plus important aquifère, c'est un grand réservoir d'eau potable. Il est contenu dans les calcaires récifaux (Messinien). La fracturation joue un rôle très important dans l'alimentation de la nappe. Malheureusement, cette nappe calcaire est surexploitée (Hassani, 1987). Le Trias a contribué à la forte salinisation des eaux. - Au Quaternaire, il existe plusieurs nappes (Bir Eldjir, Ain Khedija, la nappe alluviale d'EsSenia, Bousfer, Ain Turk et Cap-Falcon). Mais les eaux de ces nappes ne sont pas de bonne qualité, la minéralisation étant souvent trop importante, leur rendement est également limité. L'alimentation de ces nappes se fait par les précipitations qui s'infiltrent dans les terrains perméables par des eaux de crue des oueds et par des affleurements calcaires. En général les eaux qui ruissellent ont trois directions d'écoulement : vers la mer, vers les dayas (Sidi Maârouf et Morsli) ou la grande Sebkhah d'Oran (Hassani, 1987).

➤ Étude des aquifères

L'Aquifère des alluvions quaternaires est peu profond, comportant à sa base des alluvions quaternaires. La nappe phréatique des alluvions est peu profonde. Elle se trouve à la base des dépôts quaternaires des grandes plaines. L'eau y est saumâtre, elle est captée par des puits dont la profondeur ne dépasse pas 30 m (Hassani, 1987).

➤ L'Aquifère des grès coquillés

du Pliocène moyen, l'aquifère des grès coquillés est important, la matrice est formée par un ensemble de coquilles de lamellibranches présentant une perméabilité d'interstice. Le substratum imperméable est constitué par les marnes qui surmontent les calcaires gréseux du Pliocène. La nappe des grès coquillés est une nappe libre au nord qui devient captive en se déplaçant vers le sud. La présence de gypse et d'halite dans les grès coquillés rend l'eau saumâtre. La minéralisation augmente vers le sud en direction des salines d'Arzew entraînant une dégradation de la qualité de l'eau de la nappe.

➤ L'Aquifère des calcaires gréseux et les marnes

affleurant au nord de Hassi Ben Okba sont très peu perméables. L'aquifère qu'ils renferment est principalement localisé au niveau de Hassiane Ettoual et Hassi-Ameur, « Un sondage exécuté en juillet 1958, au niveau de Hassiane Ettoual, a montré que l'épaisseur des calcaires pouvait atteindre 50 m ; le mur de la nappe des calcaires gréseux est constitué de marnes bleues du Pliocène » (Hassani, 1987).

II.4 Le sol

D'après (Aimé, 1991), l'Oranie se caractérise par une extension particulièrement importante des milieux salés. En nous référant à la carte et la notice des sols de l'Algérie (1/500.000, feuille d'Oran) de (DURAND, 1954) les sols de nos régions sont de type salin (Figure. 7). D'après (DURAND, 1954) le terme des sols salin groupe les sols riches en sels solubles ou qui en ont contenu au premier stade de leurs évolutions. Ils se subdivisent en : - Solontchaks : contenant plus de 1,8‰ de Cl. - Solonetz à complexe absorbant riche en ions Na (20 % du total ou plus) ou en ions Mg (15 % ou plus) ou en ces deux ions. Les solonetz ne contiennent plus de sels solubles dans leurs horizons supérieurs. - Solons qui sont des solonetz lessivés au point de devenir acides. D'après cette carte, toutes les zones humides de

l'Oranie sont constituées de sols de type solontchaks. Au niveau de la grande Sebkhia d'Oran ainsi que l'estuaire de la Macta les solontchaks sont bordés par des sols alluviaux. Ces dépôts alluviaux à profil indifférencié ou présentant une simple accumulation de matières organiques en surface. Ils peuvent être subdivisés d'après leur texture, leur pH et leur teneur en calcaire (Durant ,1954). Les solontchaks recouvrent également le centre de la plaine de l'Habra, ils constituent une auréole autour de la sebkhia d'Arzew, du lac de Telamine et du lac Oum El Rhelaz (Boulaine, 1955). D'après(Boulaine, 1955), (DURAND, 1954),(Halitim, 1973), (Aubert, 1976) et (Cheverry, 1980) la majorité des sols salés, ou susceptibles de l'être, ont une texture fine à très fine ; la fraction argileuse contient une quantité suffisante d'argiles gonflantes qui confèrent au sol des caractéristiques physiques variables avec l'état d'humidité. Les résultats des études de (Abdelmalek, 1986), sur des échantillons provenant de différents points des trois zones d'études (saline d'Arzew, lac de Telamine et la grande sebkhia d'Oran) indique que ces sols sont de type Solontchaks avec un pH variant entre 7,9 à 8,4. D'après (Simonneau, 1952) les Solontchaks peuvent être dépourvues de végétations ou avec végétation spécialisée.

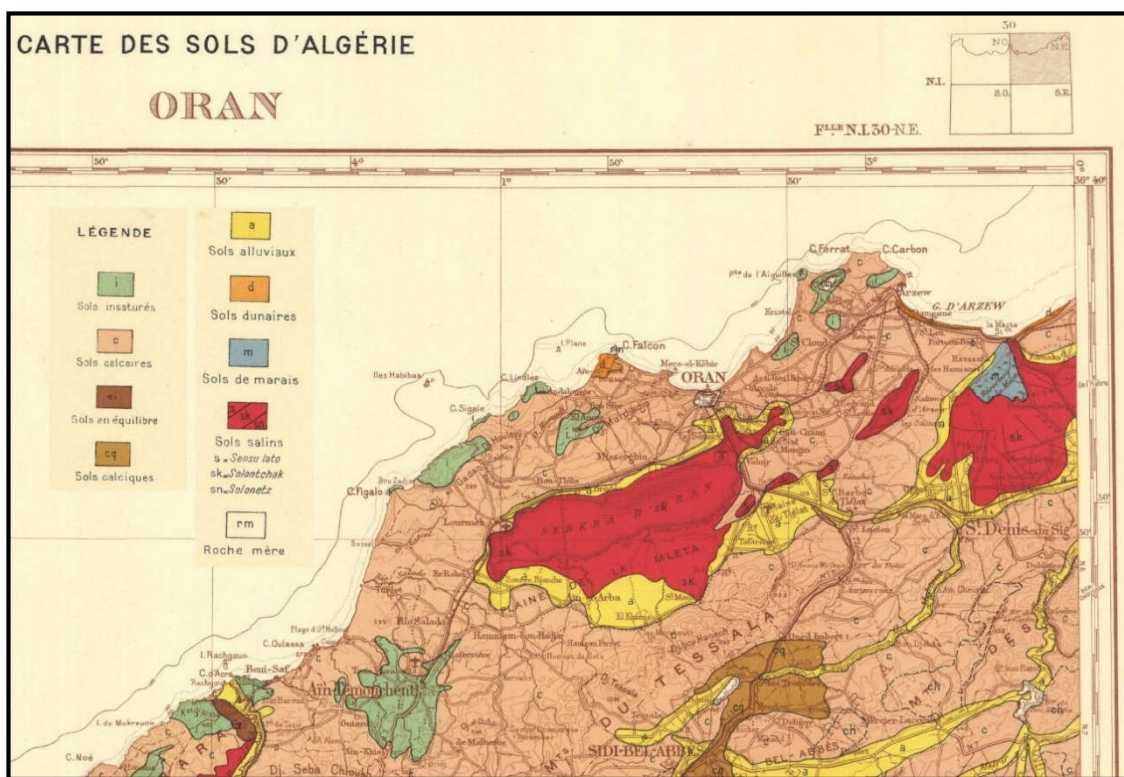


Figure 7 : carte des sols de l'Oranie 1/500.000(Durand et al., 2000)

II.5 Climatologie

Le littoral de l'Algérie qui est bordé par la mer Méditerranée et jouit d'un « climat méditerranéen ». Le régime caractérisant ce type de climat est pluvieux en saison froide et sec en été. Cette appellation de « climat méditerranéen » ne constitue qu'une première approche en raison de l'existence de multiples microclimats locaux régis aussi bien par des conditions atmosphériques que topographiques ou géographiques. Notre région d'étude est limitée par trois stations : la station d'Oran port, Sénia aéroport et la station d'Arzew.

II.5.1 Paramètres climatiques

(Emberger, 1971) estime que le climat joue un rôle essentiel dans la répartition des plantes, en ce qui concerne la végétation méditerranéenne, ou toute vie végétale est dominée par la sécheresse estivale (Emberger, 1952). La température et la pluviosité sont deux facteurs limitant pour la vie végétale

(ABOURA, 2006). Il est bien connu que la première difficulté dans ce type d'étude est, non pas les calculs ni leur interprétation, mais bien la récolte des données et la vérification de leur fiabilité (Hadjadj-Aoul, 1995) . Pour notre étude, nous avons utilisé trois stations météorologiques Oran port, Senia aéroport et Arzew (Tableau 4). Les données météorologiques des dix dernières années (1998-2007) nous en été fournis par l'Office National Météorologique d'Oran. (Figure. 8)

Tableau 4: coordonnées des stations étudiées

STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	INDICE
ORAN PORT	35° 42' N	00° 39'	18	461
ARZEW	35° 49' N	00° 16'	3	452
SENIA	35° 38'	00° 36'	90	490

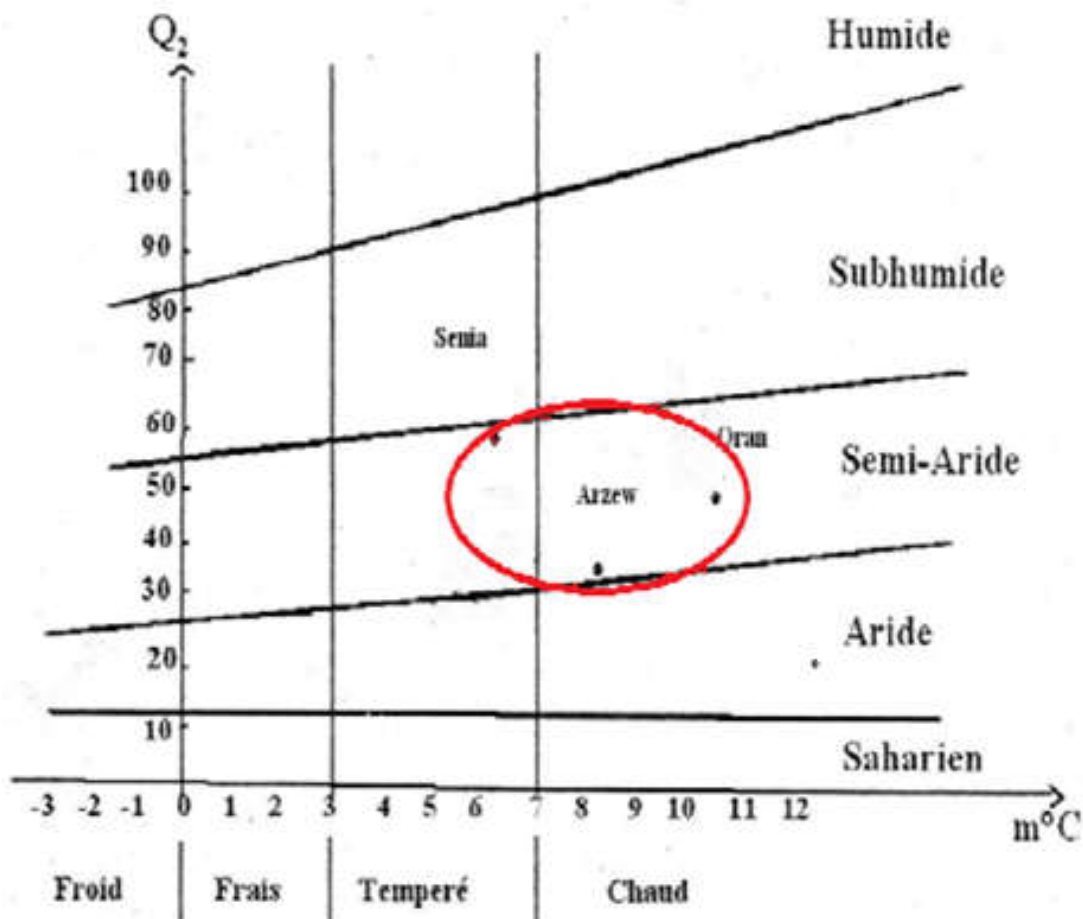


Figure 8 : répartition des stations météorologiques

II.5.1.1 Précipitations

Les travaux de (Seltzer, 1946) et (Chaumont and Paquin, 1971) ont permis de dresser la carte pluviométrique de l'Algérie nord-occidentale à l'échelle 1/500.000, à partir des précipitations annuelles

calculées sur une période de 63ans (1901-1963),(Figure. 9). La pluviosité est définie comme étant le facteur principal dans la détermination du climat(Djebaili, 1978) . En effet elle conditionne la répartition, le maintien du tapis végétal ou la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion hydrique. Les précipitations moyennes annuelles concernant les trois stations sont présentées dans les trois tableaux 5,6 et 7.

Tableau 5: Paramètres climatiques de la station de sénia (1998 -2007)

<i>Mois</i>	<i>P (mm)</i>	<i>m° (C)</i>	<i>M° (C)</i>	<i>T° (C)</i>
<i>JAN</i>	39.3	4.96	16.96	10.9
<i>FEV</i>	46.1	6.44	17.91	12
<i>MAR</i>	27.2	8.51	20.48	14.5
<i>AVR</i>	31.3	10.39	22.35	16.2
<i>MAI</i>	25.5	14.07	24.73	19.4
<i>JUI</i>	2.1	17.73	28.77	23.3
<i>JUIL</i>	0.2	20.35	31.74	26
<i>AOU</i>	2.2	20.71	32.34	26.5
<i>SEP</i>	11.2	18.16	29.32	23.7
<i>OCT</i>	32.2	6.74	17.56	20.4
<i>NOV</i>	86.9	14.69	26.21	14.8
<i>DEC</i>	48.4	9.53	20.47	12.1
<i>SOMME</i>	352.6			

Tableau 6: Paramètres climatiques de la station d'Oran Port (1998 -2007)

<i>Mois</i>	<i>P (mm)</i>	<i>m° (C)</i>	<i>M° (C)</i>	<i>T° (C)</i>
<i>JAN</i>	41.95	10.21	10.92	8.2
<i>FEV</i>	46.1	6.3	20.54	10
<i>MAR</i>	27.2	7.55	14.50	10.6
<i>AVR</i>	31.3	10.42	16.27	12
<i>MAI</i>	35.3	14.02	19.65	11.5
<i>JUI</i>	2.1	17.84	23.44	11.3
<i>JUIL</i>	0.1	20.26	26	11.1
<i>AOU</i>	2.1	20.73	26.53	9.8
<i>SEP</i>	11.3	26.28	23.73	10.6
<i>OCT</i>	28	14.57	20.36	10.1
<i>NOV</i>	87.1	9.3	16.36	9.1
<i>DEC</i>	27.2	6.68	12.08	7.4
<i>SOMME</i>	341.75			

Tableau 7: Paramètres climatiques de la station d'Arzew (1998 -2007)

<i>Mois</i>	<i>P (mm)</i>	<i>m° (C)</i>	<i>M° (C)</i>	<i>T° (C)</i>
<i>JAN</i>	38.2	8.5	21.18	11.6

<i>FEV</i>	<i>38.4</i>	<i>8.21</i>	<i>17.74</i>	<i>12</i>
<i>MAR</i>	<i>19.3</i>	<i>11.3</i>	<i>18.96</i>	<i>12.2</i>
<i>AVR</i>	<i>25.1</i>	<i>13.82</i>	<i>19.65</i>	<i>13.2</i>
<i>MAI</i>	<i>22.4</i>	<i>14.76</i>	<i>23.19</i>	<i>11.3</i>
<i>JUI</i>	<i>0.9</i>	<i>15.9</i>	<i>23.84</i>	<i>9</i>
<i>JUIL</i>	<i>0.2</i>	<i>22.08</i>	<i>26.47</i>	<i>11</i>
<i>AOU</i>	<i>1.4</i>	<i>23.08</i>	<i>27.12</i>	<i>10.9</i>
<i>SEP</i>	<i>18.7</i>	<i>20.73</i>	<i>25.37</i>	<i>11.6</i>
<i>OCT</i>	<i>37.6</i>	<i>17.44</i>	<i>23.5</i>	<i>11.2</i>
<i>NOV</i>	<i>55.58</i>	<i>12.44</i>	<i>21.02</i>	<i>11.2</i>
<i>DEC</i>	<i>34.31</i>	<i>9.95</i>	<i>23.09</i>	<i>11.9</i>
<i>SOMME</i>	<i>292.09</i>			

Répartitions saisonnières des pluies

La répartition saisonnière des précipitations est très importante pour le développement des annuelles dont le rôle est souvent prédominant dans la physionomie de la végétation. Si les pluies d'automne et de printemps sont suffisantes, elles seront florissantes, si par contre la quantité tombée pendant ces deux saisons est faible leur extension sera médiocre (ABOURA, 2006). Pour les trois stations, la répartition saisonnière des pluies est présentée dans le tableau 8

- Senia : la saison la plus pluvieuse est celle de l'hiver de 133,8mm ; suivit par l'automne 130,3mm ; le printemps avec 84 mm et un été assez sec de 4,5mm. La station de Senia est de régime saisonnier HAPE.

- Arzew : la saison la plus pluvieuse est celle de l'automne avec 117,86mm ; suivit par l'hiver 113,8mm ; le printemps 63,63mm et un été de 13,53mm de ce fait la station d'Arzew est de régime saisonnier AHPE.

Tableau 8: Répartitions saisonnières des pluies Senia, Arzew et Oran (1998-2007)

<i>STATION</i>	<i>Automne (mm)</i>	<i>Hiver (mm)</i>	<i>Printemps (mm)</i>	<i>Eté (mm)</i>	<i>Régime saisonnier</i>
<i>Senia</i>	<i>130.3</i>	<i>133.8</i>	<i>84</i>	<i>4.5</i>	<i>HAPE</i>
<i>Arzew</i>	<i>117.86</i>	<i>113.18</i>	<i>63.63</i>	<i>13.53</i>	<i>AHPE</i>
<i>Oran Port</i>	<i>126.3</i>	<i>115.07</i>	<i>95.8</i>	<i>4.3</i>	<i>AHPE</i>

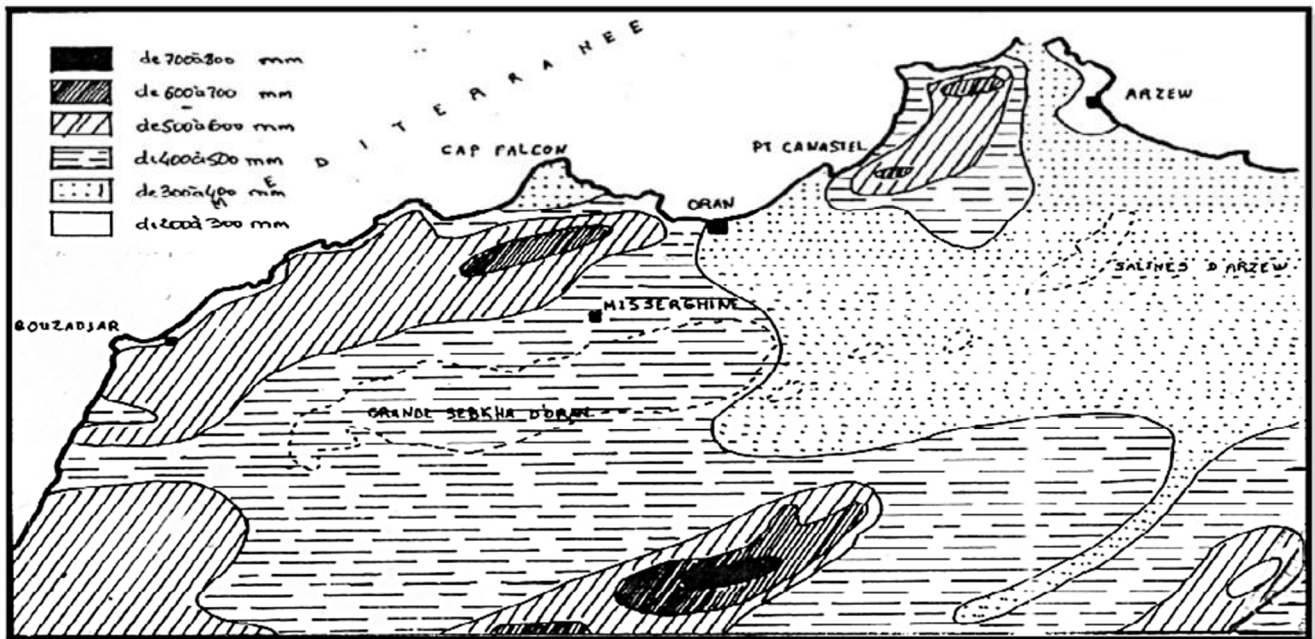


Figure 9 : carte pluviométrique de la région d'Oran 1/500 000 d'après (Chaumont and Paquin, 1971)

- Oran port : pour cette station la saison la plus pluvieuse est celle de l'automne avec 126,3 mm ; suivit par l'hiver 115,07 mm, le printemps 95,8 mm et un été assez sec de 4,3 mm de ce fait la station d'Oran est de régime saisonnier AHPE. La Figure.10 représente le régime saisonnier des précipitations au niveau des trois stations. A partir des tableaux, nous remarquons que pour les trois régions climatiques les pluies sont abondantes pendant les mois de novembre à février. Les valeurs annuelles cumulées sont 352,6 mm pour la station de Senia ; 341,75 mm pour la station d'Oran et de 292.09 mm pour la station d'Arzew.

II.5.2 Températures

Les températures moyennes mensuelles sont portées sur les tableaux 5, 6 et 7.

Pour la station de Senia la température minimale est de 4,96°C au mois de janvier et un maximum de 32,34°C au mois Août. - Pour la station d'Arzew la température minimale du mois le plus frais est de 8,5°C au mois de janvier et un maximum de 27,12°C en mois d'Août. - Pour la station d'Oran la température minimale est de 6,3°C au mois de Février et un maximum de 32,25°C au mois de Juillet.

II.5.3 Le vent

L'aridité et la semi-aridité sont accentuées par l'action du vent. Pour Oran le mois d'Avril est le plus venteux, avec une vitesse maximale de 12 m/s. Pour la station d'Arzew le mois d'Avril est également le plus venteux, d'une vitesse maximale de 13,2 m/s, qui en augmentant l'évapotranspiration, induit une sursaturation en sels des horizons superficiels du sol et même a un dessèchement total (cas observé à la daya Morsli, juillet 2010, planche 2). La Figure 11, 12 présentent les vitesses de vent mesurées au niveau de la station Oran port et Arzew. Les vents dominants soufflent de l'ouest ou du nord-ouest. Ils soufflent d'octobre à juin et nord-est de juillet à septembre. Ils sont classés d'après(Seltzer, 1946) dans un ordre décroissant W - SW - NE - N - NW - E - S - EE

II.5.4 Synthèse climatique

Beaucoup de formules ont été proposées par des auteurs recherchant une meilleure classification des types de climat qui puissent rendre compte au mieux du comportement de la végétation. Parmi ces auteurs nous citerons Bagnouls et Gaussen (1953) qui considèrent qu'un climat est sec si la moyenne des précipitations est inférieure ou égale au double de la moyenne des températures ($P \leq 2T$). Un simple examen visuel de la courbe ombrothermique fait ressortir la période sèche.

➤ Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

La représentation graphique des diagrammes ombrothermiques Bagnouls et Gaussen des trois stations sont représentés dans les Figures 13, 14 et 15. Les trois stations présentent une saison sèche. Les stations d'Oran, Senia et Arzew sont marquées par une saison sèche de 7 mois qui s'étale du mois de Mars au mois d'Octobre. Les trois stations sont également marquées par juillet étant le mois le plus sec.

➤ Coefficient pluviométrique d'Emberger

(Emberger, 1952) a établi un indice appelé « quotient pluviométrique » qui n'est valable que pour la région méditerranéenne. Ce quotient est calculé sur plusieurs années consécutives, généralement sur 30 ans. (Emberger, 1971) proposait de définir des sous-classes dans le bioclimat méditerranéen sur la base de l'humidité globale du climat et sa rigueur hivernale. Q_2 est un indice qui peut être calculé selon les formules suivantes :

$Q_2 = 1000P/(M+m)/2(M-m)$ ou $Q_2 = 2000 P/(M^2-m^2)$ Les valeurs du quotient pluviométrique d'Emberger des différentes stations sont dans le tableau 9. Le climagramme d'Emberger est donc un graphique dans lequel les points correspondants aux diverses stations sont disposées par rapport à deux axes de coordonnées. Les valeurs du Q_2 sont portées en ordonnée et les valeurs de m portées en abscisse. Ce diagramme permet la délimitation de zones ou compartiments régionaux bioclimatiques. Ainsi La Figure 23 présente la position des trois stations sur le climagramme sur lequel les stations sont situées comme suit : - La station d'Arzew est située au niveau semi-aride à hiver chaud. - La station d'Oran port est située au niveau semi-aride à hiver très chaud. - La station de Senia aéroport se situe au niveau semi-aride à hiver tempéré.

Tableau 9: Quotient pluviométrique d'Emberger des trois stations

<i>STATION</i>	<i>P(mm)</i>	<i>m</i>	<i>M</i>	<i>Q₂</i>	<i>bioclimat</i>
<i>Senia</i>	<i>292.09</i>	<i>8.5</i>	<i>27.12</i>	<i>27</i>	<i>Semi aride</i>
<i>Arzew</i>	<i>352.6</i>	<i>6.3</i>	<i>26.5</i>	<i>56.03</i>	<i>Semi aride</i>
<i>Oran Port</i>	<i>341.75</i>	<i>10.9</i>	<i>31.3</i>	<i>45.02</i>	<i>Semi aride</i>

Le climat général de la région est de type méditerranéen caractérisé par des étés secs et chauds, des hivers doux et pluvieux recevant la presque totalité des pluies. Les stations de Senia et d'Arzew sont marquées par le mois de Janvier étant le mois le plus frais, et le mois d'Aout étant le mois le plus chaud. Pour la station d'Oran le mois le plus frais est celui de Février et le plus chaud est le mois de d'Aout. Les trois stations présentent une saison sèche allant de 7 à 8 mois. En tenant compte de la méthode d'Emberger on peut dire que nos trois stations appartiennent au niveau bioclimatique semi-aride du climat méditerranéen.

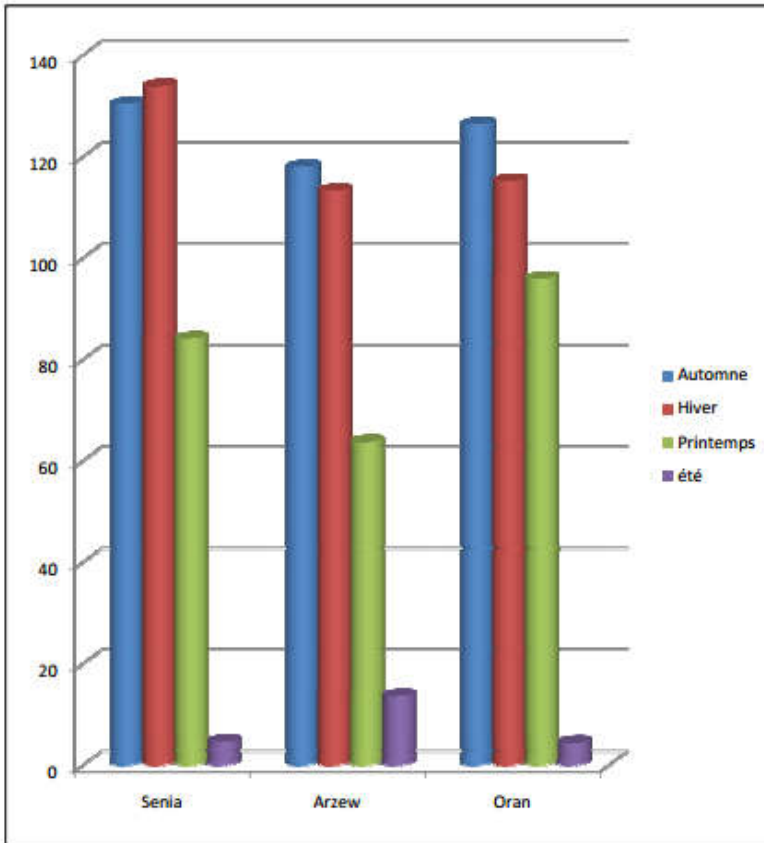


Figure 10 : Régime saisonnier des précipitations au niveau des trois stations

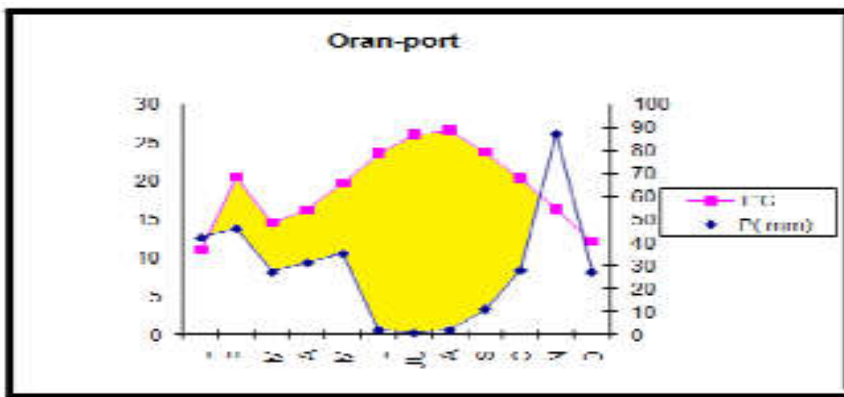


Figure 13 : Diagrammes Ombrothermique d'Oran port (1998-2007)

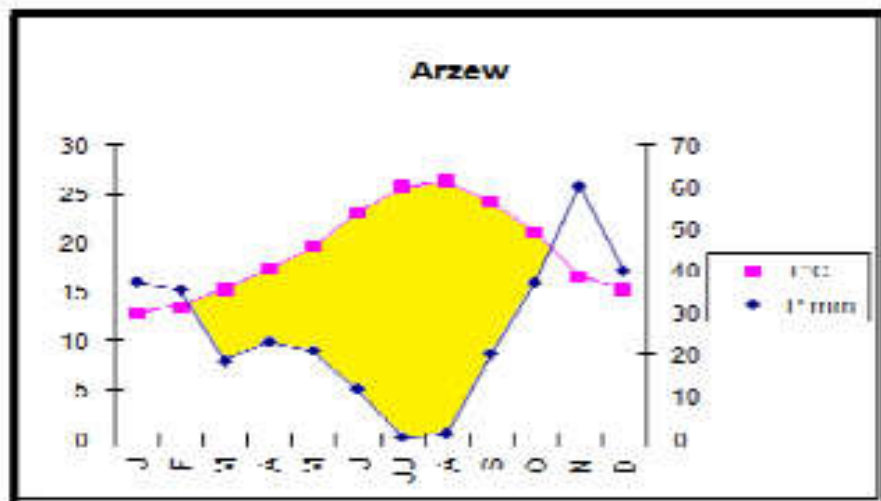


Figure 14 : Diagrammes Ombrothermique d'Arzew (1998-2007)

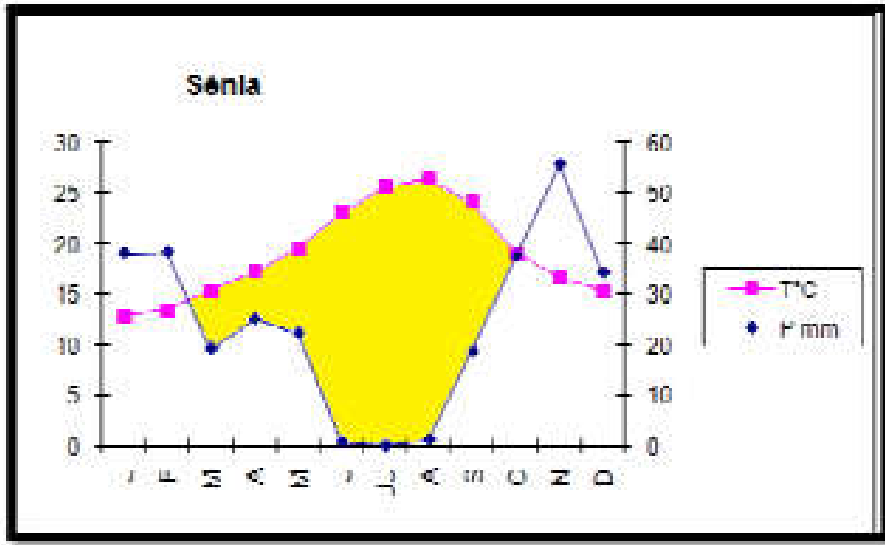


Figure 15 : Diagrammes Ombrothermique d'Esenia (1998-2007)

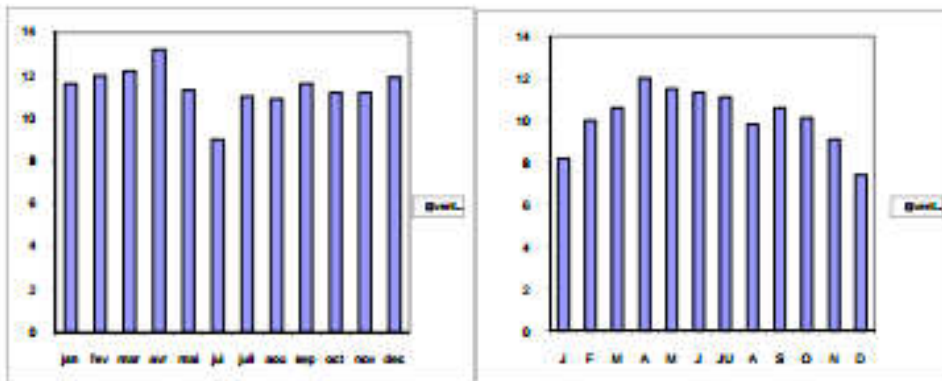


Figure 11 -12 : vitesse du vent des stations Oran port et Arzew (1998-2007)

III.1 Introduction

Ces derniers temps, la télédétection optique et radar est devenue un outil incontestable pour l'observation et l'étude de la surface terrestre. La capacité de couvrir l'ensemble du globe et de fournir une vision renouvelée fréquemment grâce à la "répétitivité" fait du satellite l'outil le plus avancé de la collecte de l'information.

Cet atout, d'avoir une multitude de données au quotidien fait de la télédétection un outil incomparable de développement grâce à sa vocation de surveillance des ressources naturelles et de l'environnement, devenue indispensable sur une planète où l'évolution s'accélère sans cesse.

III.2 Définition

La télédétection est "l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci" (Girard and Girard, 1989).

La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information. Télé signifie "à distance" et détection veut dire "découvrir" ou "déceler".

La procédure d'acquisition de l'information est mise en œuvre à partir d'un ballon, d'un avion, ou d'un satellite. Les domaines d'applications de la télédétection sont très vastes, ils s'occupent des études de l'atmosphère, océanographique et des applications terrestres.

Les éléments constitutifs de l'écorce terrestre, roches, sols, végétation et eau, ainsi que les objets qui la recouvrent absorbent, réfléchissent ou émettent une quantité d'énergie qui dépend de la longueur d'onde, de l'intensité du rayonnement incident, des caractéristiques des objets et éléments en particulier d'absorption et de l'orientation de ces objets et éléments par rapport au soleil ou à la source d'éclairement.

III.3 Objectifs de la télédétection

La télédétection permet la production d'images ou de photographies qui, par l'interprétation des informations acquises, permettent des applications multiples et une meilleure gestion des ressources naturelles. La télédétection spatiale présente un certain nombre d'avantages et limites en termes d'acquisition de données. Ils varient d'un satellite à l'autre selon les caractéristiques des orbites ainsi que des capteurs embarqués.

III.3.1 Le principe de base

Le principe de base de la télédétection est similaire à celui de la vision chez les êtres vivants. Elle est le fruit de l'interaction entre les trois éléments fondamentaux suivants : la source, la cible et le vecteur.

III.3.1.1 Sources d'énergie électromagnétique

La source d'énergie est l'élément qui éclaire la cible en émettant une onde électromagnétique (flux de photon). En télédétection les sources énergie sont de deux types :

➤ Les sources naturelles

Elles sont aussi appelées sources thermiques. Le corps noir est le radiateur parfait, car il émet toute l'énergie absorbée. Le rayonnement du soleil correspond à peu près à celui du corps noir. La terre représente aussi une source d'énergie qui émet essentiellement dans l'infrarouge lointain. Tous les objets se trouvant sur la surface de la terre émettent des radiations lorsque leur température est supérieure à -273°C.

➤ **La lumière solaire**

Le rayonnement du soleil varie avec les coordonnées géographiques, l'altitude, la saison, l'heure et les conditions météorologiques. Les différentes couleurs comprises entre l'ultraviolet et l'infrarouge correspondent au spectre visible auquel l'œil humain est adapté.

➤ **La terre**

La terre est une source d'énergie mais à cause de sa température qui est inférieure à celle du soleil ; elle émet dans des longueurs d'ondes de l'infrarouge thermique. Ceci est expliqué par la loi de "WIEN" plus la température d'un corps noir est élevée, plus il émet dans les courtes longueurs d'ondes.

III.3.1.2 Les sources artificielles

Elles sont constituées par différents appareils tels que les lasers et les radars. Dans ces cas il est nécessaire qu'un émetteur soit embarqué sur le satellite. De ce fait, le satellite devient lui-même la source d'énergie.

➤ **La cible**

C'est la portion de la surface terrestre observée par le satellite. Sa taille peut varier de quelques dizaines de km² à plusieurs milliers.

➤ **Le vecteur**

Les vecteurs ou plates-formes de télédétection spatiale sont des satellites artificiels. On en distingue deux types :

III.3.2 Les satellites géosynchrones ou géostationnaires

Ils apparaissent immobiles par rapport à la verticale d'un point fixe de la surface terrestre. Pour répondre à ces conditions, le satellite doit avoir une vitesse angulaire égale à celle de la rotation de la terre et décrire dans le même sens une orbite circulaire dans un plan équatorial ou presque. Ils font donc un grand cercle chaque jour. Pour satisfaire à ces caractéristiques leurs altitudes avoisinent les 36 000 Km.

III.3.2.1 Le rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique (REM) est une énergie qui se propage dans l'espace et interagit avec la matière. Cette énergie est constituée d'ondes électromagnétiques qui sont nées à partir d'un champ électrique \vec{E} et d'un champ magnétique \vec{B} variable (Figure. 16).

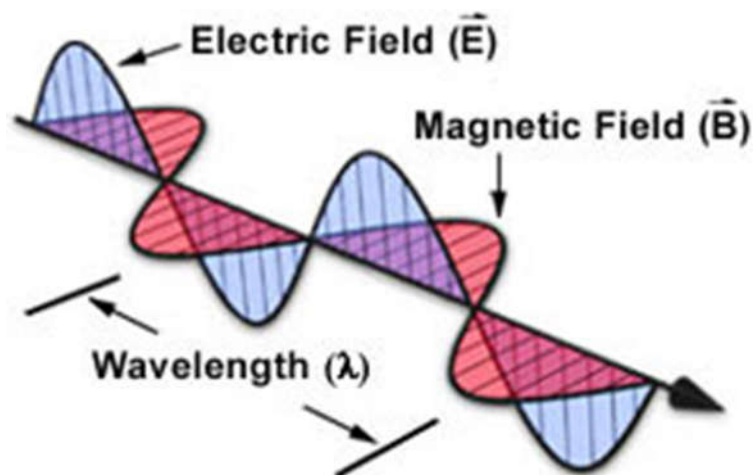


Figure 16 : Représentation schématique d'une onde électromagnétique (CCRS@).

Le spectre électromagnétique est la décomposition du REM en fonction de sa longueur d'onde. Le spectre est divisé en plusieurs domaines, classés par longueur d'onde décroissante : les ondes Audio, Radio et Radar, l'infrarouge, la lumière Visible, les Ultraviolets, et les rayons Gamma (Figure. 17).

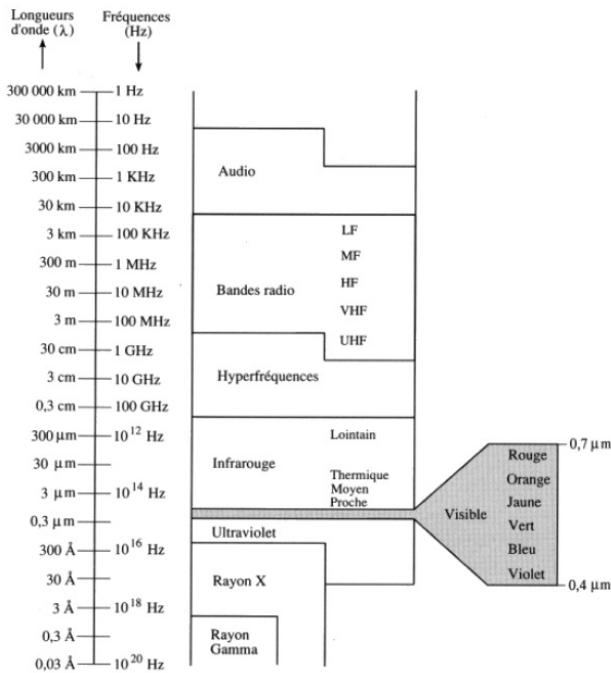


Figure 17 : Le spectre électromagnétique (Bonn and Rochon, 1992).

Le rayonnement électromagnétique émis par le soleil traverse les différentes couches de l'atmosphère à deux reprises. La première fois lors de sa traversée avant de se réfléchir sur la surface terrestre et la seconde fois lors de sa réfraction par la surface terrestre. C'est cette quantité réfractée par le sol qui est enregistrée par les capteurs employés dans le domaine de la télédétection passifs. Le REM solaire interagit donc avec la surface terrestre et l'atmosphère avant d'être enregistré par les capteurs.

III.3.2.2 Interaction des rayonnements avec la matière

Lorsqu'un rayonnement incident entre en contact avec la matière, trois types d'interaction de l'énergie avec la matière sont possibles. L'énergie incidente est soit absorbée, soit transmise, soit réfléchi (Figure. 18).

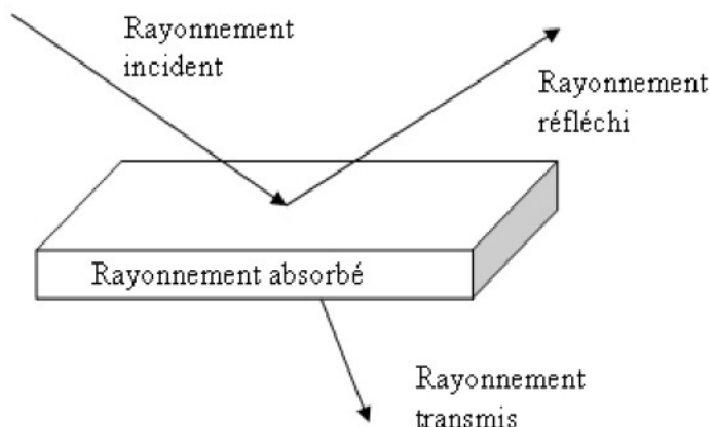


Figure 18 : Absorption, réflexion et transmission (Bonn and Rochon, 1992).

- ◆ **Absorption** : tout corps dont la surface reçoit un rayonnement électromagnétique peut en absorber une partie. Cette partie absorbée sert à modifier l'énergie interne du corps en question.

- ◆ *Transmission* : tout corps qui reçoit une certaine quantité d'énergie rayonnante peut en transmettre une partie. La somme des énergies réfléchies, absorbées et transmises est égale à l'énergie incidente (Principe de conservation de l'énergie).
- ◆ *Réflexion* : tout corps qui reçoit une certaine quantité d'énergie rayonnante d'une source extérieure peut en réfléchir une partie. La réflexion s'accompagne aussi d'une modification spectrale du rayonnement incident (Figure. 19).
 1. *La réflexion spéculaire* : sur les surfaces lisses le flux d'énergie incident se réfléchit selon la loi de Descartes, selon laquelle le flux réfléchi reste directionnel et présente un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence (Figure. 20).
 2. *La réflexion diffuse* : sur les surfaces rugueuses, le flux incident est renvoyé dans toutes les directions avec une symétrie axiale autour de la normale du plan récepteur (Figure. 19). Une surface diffusante est dite lambertienne lors que sa luminance est indépendante de l'angle de visé.

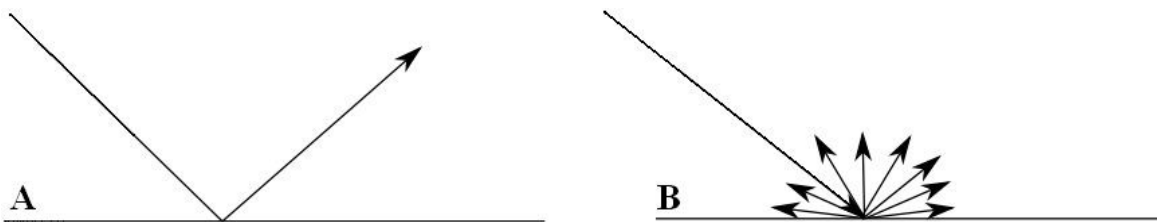


Figure 19 : Comportement spéculaire (A) et diffus (B) de la lumière

La sensation de couleurs résulte des valeurs de réflectance dans le visible (Girard and Girard, 1989).

De ce fait l'œil humain n'est sensible qu'à une fraction très faible du spectre électromagnétique. Il ne peut capter des radiations, que si leurs longueurs d'ondes sont comprises entre $0.38\mu\text{m}$ et $0.70\mu\text{m}$. Les propriétés de la réflectance ou radiance des différents objets de la surface terrestre peuvent être quantifiées en mesurant la part de l'énergie incidente qui est réfléchie. La réflectance est mesurée comme une fonction de la longueur d'onde. La représentation graphique de la réflectance en fonction de la longueur d'onde est appelée signature spectrale (Figure. 20).

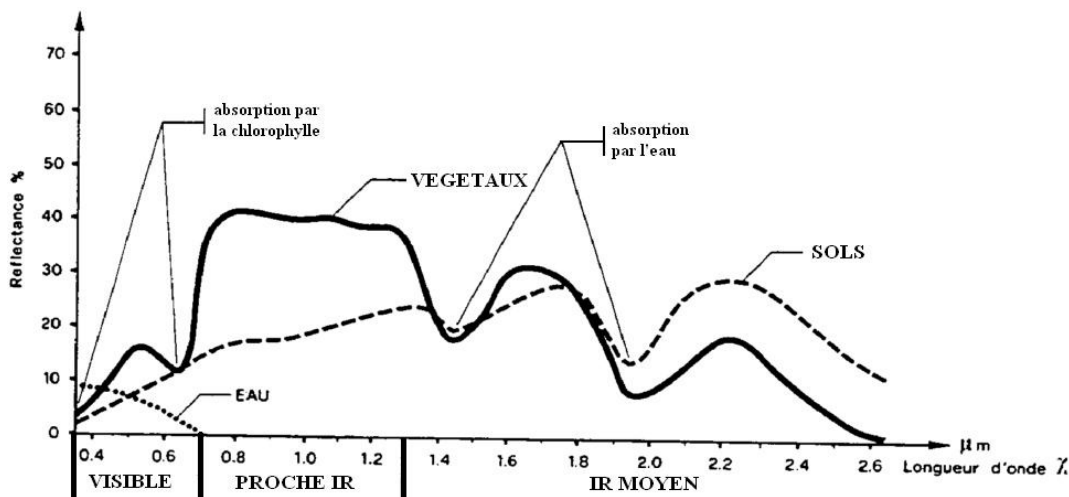


Figure 20 : Signatures spectrales (Galoz, 1992).

III.3.3 Imagerie optique

Les différentes méthodes d'acquisition des images optiques sont définies sur la base de type de capteur (appareil de mesure) et de vecteur (véhicule sur lequel est embarqué le capteur). Les objets qu'on peut mettre en évidence sont fonction de la résolution spatiale (taille du pixel) et la résolution spectrale (radiométrie).

L'imagerie optique est basée essentiellement sur l'utilisation du capteur qui capte le rayonnement électromagnétique réfléchi, transmis ou émis, des objets qui sont sous le champ d'observation du capteur, lorsque le soleil illumine la terre.

III.3.3.1 Les capteurs

Un capteur est un appareil capable de recevoir le rayonnement qui vient du sol dans une certaine gamme de longueurs d'ondes et de le transformer en un signal permettant la mémorisation de l'information. Les capteurs utilisés dans le domaine des applications terrestres sont adaptés aux fenêtres de transmission des rayonnements dans l'atmosphère.

L'utilisation de l'imagerie satellitale tient compte des caractéristiques propres pour chaque capteur. La distinction entre les différents types de capteurs est faite selon la résolution spatiale, la résolution spectrale et la répétitivité spatio-temporaire.

Toute application multithématique est réalisée en tenant compte des caractéristiques propres de chaque capteur. La télédétection passive utilise deux sorts de capteurs. Les capteurs multi spectraux avec une résolution spectrale d'environ 100nm. Le rayonnement est mesuré dans une quinzaine de bandes spectrales au maximum, comprises dans le domaine du visible, proche infrarouge, infrarouge moyen et infrarouge thermique. Les capteurs hyperspectraux possèdent une résolution spectrale plus fine allant jusqu'à 10 nm. Ils mesurent le rayonnement dans une centaine de bandes spectrales uniquement dans le domaine du visible, proche infrarouge et infrarouge moyen.

Les satellites multispectraux d'observation de la terre tels que LANDSAT, SPOT et ASTER, sont équipés de capteurs passifs mesurant l'énergie solaire réfléchi par la surface terrestre, ils sont donc généralement utilisés de jour et hors couverture nuageuse. Ils utilisent des capteurs qui opèrent dans le domaine du visible et dans l'infra rouge. Les plus connus sont ceux qui ont été introduits dans le programme Landsat, Spot et Aster.

III.3.4 Notion de résolution

On appelle résolution l'aptitude d'un instrument à discriminer deux objets ou deux valeurs proches l'une de l'autre. Une image satellitaire est caractérisée par les différentes résolutions suivantes : résolution spatiale ou géométrique, résolution spectrale, résolution radiométrique ou numérique, résolution temporelle.

III.3.4.1 Résolution spatiale

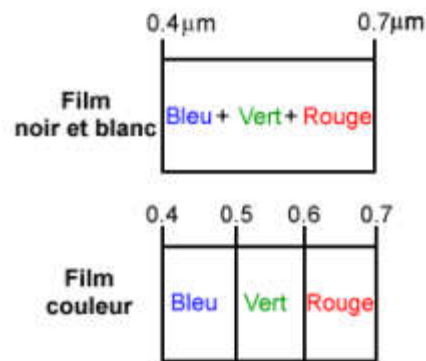
Les images de télédétection sont composées d'une matrice d'éléments appelés pixels. Le pixel est le plus petit élément d'une image. Il est normalement carré et représente une partie de l'image.

Les images sur lesquelles seuls les grands éléments sont visibles ont une résolution "grossière" ou "basse". Les images à résolution fine ou élevée permettent l'identification d'éléments de plus petites dimensions. Les capteurs utilisés par les militaires par exemple, sont conçus pour obtenir le plus de détails possible. Ils ont donc une résolution très fine. Les satellites commerciaux ont une résolution qui varie de quelques mètres à plusieurs kilomètres. De façon générale, plus la résolution augmente, plus la superficie de la surface visible par le capteur diminue.

III.3.4.2 Résolution spectrale

La résolution spectrale décrit la capacité d'un capteur à utiliser de petites fenêtres de longueurs d'onde. Plus la résolution spectrale est fine, plus les fenêtres des différents canaux du capteur sont étroites plusieurs instruments peuvent enregistrer l'énergie à différentes résolutions spectrales :

- Multispectraux
- Hyperspectraux



III.3.4.3 Résolution radiométrique :

Sensibilité à l'intensité de l'énergie électromagnétique, Capacité du capteur à reconnaître de petites différences dans l'énergie électromagnétique, La gamme de longueurs d'onde à l'intérieur de laquelle un capteur est sensible se nomme plage dynamique.

Les données images sont représentées par une valeur numérique variant entre 0 et 2ⁿ à une certaine puissance moins un. Cet intervalle correspond à un nombre de bits utilisés pour encoder des valeurs en format binaire. Chaque bit représente un exposant de la base 2 (par exemple, 1 bit = 2¹ = 2). Le nombre maximum de niveaux d'intensité disponibles dépend du nombre de bits utilisés pour représenter l'intensité enregistrée. Par exemple, un capteur utilisant 8 bits pour enregistrer les données aura 2⁸ = 256 niveaux d'intensité disponibles car il aura 256 valeurs numériques disponibles allant de 0 à 255. Si seulement 4 bits sont utilisés, alors seulement 2⁴ = 16 valeurs allant de 0 à 15 seront disponibles. Figure 21.



Figure 21 : gauche image 4bit droit image 8 bit

III.3.4.4 Résolution temporelle

En plus de la résolution spatiale, spectrale et radiométrique, l'autre concept important en télédétection est celui de la résolution temporelle. La période de passage au nadir d'un satellite, qui est le temps que prend un satellite pour effectuer un cycle orbital complet. Cette période est généralement de quelques jours. Il faut donc quelques jours à un tel satellite pour qu'il puisse observer de nouveau exactement la même scène à partir du même point dans l'espace. La résolution temporelle absolue du système de télédétection est donc égale à cette période.

III.3.5 Les traitements et corrections des imageries satellitaires

Les données satellitaires fournies par les producteurs d'images nécessitent en général une partie de traitement numérique pour faciliter l'interprétation visuelle ou éventuelle traitement approfondies.

III.3.5.1 Les Prétraitements

Les traitements préliminaires, ou prétraitements, ont pour but l'élimination ou du moins la réduction du "bruit" afin de faciliter l'extraction des informations à l'étape suivante. Ce bruit peut provenir de sources très diverses et dépendre notamment du système de télédétection en question aussi bien que de l'information recherchée (Bonn and Rochon, 1992). Les opérations de prétraitement sont conçues pour corriger les distorsions géométriques et radiométriques.

➤ Les corrections géométriques

L'utilisation rentable d'images issues de radiomètres sur avion ou satellite exige un traitement à partir d'images corrigées de leurs défauts géométriques. La correction géométrique est destinée à rectifier l'image des déformations systématiques dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variation du sol, le phénomène de réfraction par les diverses couches de l'atmosphère, etc.). La correction est faite soit à partir des paramètres d'orbites et d'altitudes enregistrées durant le vol, soit à l'aide de lois de déformation pour rendre l'image conforme à un type de projection cartographique connu.

La correction géométrique a pour but de superposer une image spatiale à un document pris comme référence. Ce dernier peut être soit une carte topographique (cas de notre étude), soit une autre image prise à une date différente, soit une photographie aérienne.

D'après (Caloz and Collet, 2001), il existe deux approches de transformation géométrique. La première est dite locale, elle tient compte des données de relief de la zone imagée. La précision de la

transformation est en relation directe avec la qualité du MNT employée. Cette approche permet de produire des ortho images. La deuxième est dite globale et s'appuie sur une transformation qui s'applique sur l'ensemble de l'image. Cette transformation s'effectue à partir de quelque point d'appui (amers) choisi d'une manière homogène sur l'image.

➤ **Les corrections radiométriques**

Les corrections radiométriques ont pour but de réduire l'effet bruit. Les sources de ce bruit radiométrique sont liées aux systèmes de détection et de mesure du signal, l'atmosphère intervenant entre le capteur et la cible et aux conditions d'illumination et de visée de la cible. Elles sont appliquées sur les images pour réaffecter à chaque pixel une valeur radiométrique la plus proche possible de celle mesurée sur le terrain.

➤ **Les corrections des bruits instrumentaux**

Les erreurs radiométriques peuvent survenir à cause de problèmes instrumentaux. Les bruits dans une image sont dus aux irrégularités ou aux erreurs dans la réponse du capteur, ou à la transmission et l'enregistrement des données lors du transfert. Les formes les plus connues sont les rayures (stripping) et les lignes manquantes (drop-out). Les rayures sont produites dans une image lorsque la sensibilité entre plusieurs capteurs d'une même bande spectrale est différente. L'absence des lignes sur une image est due aux erreurs de systèmes qui résultent en l'absence de données déficientes le long de ligne de balayage.

➤ **Les corrections atmosphériques**

Les corrections atmosphériques consistent à convertir les comptes numériques de l'image exprimés en niveau de gris en luminance au niveau du capteur exprimé en ($w\ m^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) et extraire ensuite de cette variable les effets perturbateurs atmosphériques pour avoir une mesure physique de la réflectance de scène imagée.

La réflectance d'un objet est l'une des données caractéristiques, elle est définie comme étant le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie incidente. Elle dépend de la longueur d'onde, de l'état de l'objet et des conditions d'observation (angle d'incidence solaire θ_s , angle de prise de vue θ_v et azimuth relatif entre les directions d'observation et d'éclairement

III.3.5.2 Méthodes globales d'amélioration du contraste

En général, ces techniques servent à améliorer l'apparence des données avant de démarrer les traitements proprement dits.

➤ **Etalement de la dynamique**

C'est une technique très simple qui consiste à appliquer une transformation, linéaire ou non, à l'amplitude du signal de chacun des pixels pour que l'ensemble des amplitudes occupe l'échelle des niveaux de gris de façon la plus efficace. Le résultat de ces transformations peut se présenter sous forme d'une table de conversion (Lookup Table ou LUT) des données d'entrée en données de sortie. L'utilisation de ces tables est très courante car elle évite de répéter inutilement des calculs lorsque la transformation est isotrope (transformation qui ne dépend pas de la position du pixel dans l'image). Ce type de traitement permet donc l'augmentation des contrastes dans des conditions optimales sachant que les données sont enregistrées sur 8 bits, donnant lieu à 256 niveaux de gris. L'image étant codée entre 0 (noir) et 255 (le blanc). Il consiste à réaliser un rééquilibrage de l'histogramme de l'image en étalant linéairement des données originales vers les faibles et fortes valeurs de façon à séparer avantageusement des objets ayant une tonalité très proche.

C'est une fonction de visualisation, son but est de faciliter la perception des objets par l'œil humain. Dans certains cas la gamme de niveaux de gris effectivement recueillie dans une image peut être étroite, elle pourra par exemple être comprise entre les niveaux 40 et 80, d'où l'impression d'une image terne où peu de détails apparaissent.

Avec un ordinateur il est aisé de faire en sorte que le niveau 40 de l'image d'origine soit pris pour le niveau 0 d'une nouvelle image, que le niveau 80 de cette image corresponde au niveau 255 et que les niveaux intermédiaires entre 40 et 80 soit linéairement répartis entre 0 et 255, afin que la nouvelle image fasse très bien apparaître les contrastes, il y aura eu donc un étalement de la dynamique.

➤ Amélioration par filtrage

Le filtrage c'est toute technique visant à éliminer le bruit contenu dans les données, le bruit est défini comme toute donnée non utile qui masque l'information. Ce bruit peut provenir de deux sources différentes :

- 1) Du système de mesure, de transmission ou de support des données, le bruit de quantification, la réponse inégale des détecteurs, le bruit électronique du capteur, le temps de réponse imparfait du détecteur, le bruit de transmission, etc..
- 2) De sources externes à l'objet observé, comme l'atmosphère, le relief ou l'antenne pour les micro-ondes, etc.

Le filtrage se fait selon une fenêtre glissante de taille relativement réduite (3*3, 5*5, 7*7, etc.). La valeur du pixel dans l'image résultat est alors fonction du pixel et de son voisinage dans l'image de départ. Parmi les filtres les plus utilisés : le filtre passe haut et le filtre passe bas.

En géologie, on est davantage intéressé par la découverte dans l'image des discontinuités dans les textures qu'à la définition des objets eux même. On s'intéresse aux contours de zones relativement homogènes, ce qui peut révéler la présence des fracturations. Il existe différents algorithmes de filtrages, par exemple : Laplacien, Sobel.

➤ Les traitements proprement dits

L'ensemble des données images de télédétection nécessite des traitements numériques pour pouvoir les interpréter et analyser. Le traitement numérique peut se faire par plusieurs procédés pour faciliter l'interprétation visuelle de l'image.

III.3.6 Les compositions colorées

L'information apportée par un seul canal ne permet pas toujours de donner un détail satisfaisant pouvant refléter de près ce qu'on espère faire ressortir à partir des données télédéteectées. Le principe consiste simplement en une exposition successive de films correspondants à trois bandes spectrales, avec un code de couleurs bien défini pour chacun ; nous visualisons trois canaux en affectant à chacun d'eux l'une des trois couleurs fondamentales (Bleu, Vert, Rouge). Le résultat final correspond à une image Trichromie appelée Composition Colorée, dans laquelle les thèmes se distinguent par les différentes nuances obtenues par la combinaison de ces trois couleurs de base.

III.3.7 Les ratios

Les changements météorologiques quotidiens peuvent causer des fluctuations dans le degré de luminosité du ciel qui sont parfois interprétées comme des variations de réflectance de l'objet ; variabilité de la teinte sur une image par exemple.

$$RATIO = \frac{\text{réflectance spectrale d'une région du spectre}}{\text{réflectance spectrale d'une autre région du spectre}}$$

Le ratio élimine les effets de la variabilité de l'illumination due soit à la variation de la lumière incidente, soit à l'ombre partielle de la végétation ou du relief.

III.3.8 La classification

C'est une méthode de traitement de l'information numérique. Elle s'applique à identifier puis regrouper différents thèmes selon leurs similitudes. Schématiquement on distingue deux grands types de classification suivant la volonté ou non de faire intervenir une connaissance à priori d'une vérité terrain :

Méthodes dites supervisées

Ce sont des méthodes dans lesquelles on s'inspire d'un modèle déterministe, il s'agit d'identifier et de localiser des classes, d'objets particuliers (forêt, eau, céréaliculture, etc.) dans ce cas on fournit au calculateur la vérité terrain correspondante ainsi que l'indication de l'hypothèse statistique choisie qui permettra d'explorer à partir des seuls "vérité terrain" l'ensemble des valeurs censées représenter les phénomènes recherchés.

Méthodes dites non supervisées

Elles ne font pas intervenir de "vérité terrain" dans leurs algorithmes de traitement, elles se basent sur l'arrangement des pixels selon les critères d'homogénéité des valeurs radiométriques prises dans les différentes bandes spectrales considérées. C'est l'opération qui formulera ensuite une hypothèse statistique sur la proximité des valeurs radiométriques. Elle peut être suivie d'un passage sur le terrain pour vérifier la fiabilité de la classification.

III.3.9 Création des néocanaux

C'est une pratique courante dans l'analyse multispectrale. La création de ces néocanaux est utile pour différencier des objets au sol selon leur nature. Les indices en télédétection sont des images calculées à partir d'images à plusieurs canaux. Les indices mettent en évidence un phénomène spécifique qui est présent, tout en atténuant d'autres facteurs qui altèrent les effets sur l'image.

Indices de végétation et du sol

Indice NDVI

L'indice de végétation de différence normalisée (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) est un indice normalisé qui vous permet de générer une image illustrant une couverture végétale, également appelée biomasse relative. Cet indice tire parti du contraste des caractéristiques de deux canaux d'un jeu de données raster multispectral : l'absorption de pigments chlorophylliens dans le canal rouge et la réflectivité élevée des matières végétales dans le canal proche infrarouge (NIR).

L'équation NDVI par défaut documentée est la suivante :

$$NDVI = ((NIR - Red)/(NIR + Red))$$

NIR = valeurs de pixel du canal proche infrarouge

Rouge = valeurs de pixel du canal rouge

Indices d'humidité

L'approche fondée sur les indices d'humidité reste une approche privilégiée car les zones humides présentent une relative humidité des sols, même en période sèche (Clément et al., 2008). Des recherches portant sur l'étude de zones humides de fonds de vallées dans le Massif armoricain montrent que les images THRS/HRS permettent de les localiser à partir d'un indice d'humidité (Mérot et al., 2005).

Les indices (Tableau 10) varient selon le type de capteurs utilisés, et permettent de faire ressortir des informations relatives à l'humidité des sols : le Wetness Index (Crist and Cicone, 1984), le NDWI (Normalized Difference Water Index) (Gao, 1996) et le NDWI2 (McFeeters, 1996).

Tableau 10: Indice d'humidité

Indice	Nom	Formule	Référence
NDWI	Normalized Difference Water Index	$(PIR-MIR)/(PIR+MIR)$	Gao (1996)
NDWI2	Normalized Difference Water Index 2	$(V-PIR)/(V+PIR)$	McFeeters (1996)

Avec :

MIR : réflectance au sol de la surface dans le canal du moyen infrarouge,

PIR : réflectance au sol de la surface dans le canal du proche infrarouge,

V : réflectance au sol de la surface dans le canal du vert,

III.4 Modèle numérique du terrain & réseaux hydrographique

III.4.1 Introduction

Jusqu'à très récemment, les données d'altitude n'étaient représentées et conservées que sous formes analogiques (hachures, ombrages, courbes de niveaux, points cotés, modèles physiques **3D**). Bien qu'elles donnent l'illusion tridimensionnelle et que certaines d'entre elles, en particulier, les courbes de niveaux, fournissent de l'information quantitative sur le relief, ces formes ne sont pas directement exploitables par les ordinateurs numériques. A partir des années cinquante, cependant, avec l'introduction des moyens informatiques pour le traitement des données altimétriques, une nouvelle technique est apparue, permettant d'automatiser ces procédures.

Cette nouvelle technique met en œuvre un système informatique permettant de calculer la surface mathématique du terrain sur la base d'un ensemble de données numériques (semis de points et lignes caractéristiques de terrain). On obtient ainsi ce que l'on appelle un Modèle Numérique de Terrain (**MNT**).

Dés leur apparition, les **MNT** ont joui d'une grande popularité. Ils sont utilisés dans différents secteurs (cartographie, météorologie, foresterie, exploitation minière, génie, transports, défense, etc.) et particulièrement dans l'extraction du réseau hydrographique. Les **MNT** ont ouvert des horizons nouveaux aux spécialistes en ressources environnementales dont les travaux sont reliés à la physiographie du terrain. C'est le cas de l'hydrologie, où le relief du terrain et les propriétés des sols jouent un rôle prépondérant sur le cycle hydrologique (précipitation, ruissellement, infiltration, évaporation) et le transport de matériaux solides.

III.4.2 Définition

Ce que l'on dénomme ici MNT "Modèle Numérique de Terrain" (traduit de l'anglais - digital terrain model DTM) est introduit pour la première fois dans l'histoire vers les années cinquante par les deux ingénieurs américains (Miller and Laflamme, 1958). Ils ont défini le MNT comme étant " *une représentation statistique du terrain, supposée continue, par un grand nombre de points sélectionnés dont les coordonnées (X,Y,Z) sont connues dans un système de coordonnées arbitraire*". Depuis, plusieurs termes ont été utilisés :

Modèle Numérique de Terrain MNT (DTM en anglais) correspond à une description matricielle de l'altitude absolue en chaque point du sol. L'occupation du sol (constructions, végétation, etc.) n'apparaît pas dans l'altimétrie. Le MNT est également disponible sous forme de réseau de triangles TIN (Triangular Irregular Network) issu de la saisie vectorielle des lignes de rupture.

Modèle Numérique d'Élévation MNE (DEM en anglais), désigne une mesure de l'altitude relative à une surface de référence. Il se présente sous la forme d'une grille régulière d'éléments codés par la valeur de leur altitude. Il peut être obtenu à partir de la corrélation automatique de couples stéréoscopiques.

Modèle Numérique de Surface (MNS) correspond cette fois ci au modèle 3d de la surface.

D'une manière générale, toute représentation numérique d'un champ d'altitude obtenue à partir d'un échantillon représentatif et suffisant de données planimétriques et altimétriques, peut être considérée comme un Modèle Numérique de Terrain (MNT). Le nombre et distribution des points échantillons dans le MNT sont tels que tout point de la surface représentée pourrait être automatiquement interpolé, avec la précision requise pour une application donnée.

D'après(Quinn et al., 1991), un MNT est une représentation mathématique du relief sous forme d'un champ d'altitudes connues en chaque nœud d'un maillage carré. Les informations contenues dans un MNT sont donc ponctuelles.

Du point de vue numérique les MNT sont des fichiers altimétriques, constitués par un réseau maillé régulier (Figure. 22), chaque maille étant repérée par les coordonnées de son centre (x, y, z). De l'origine des données dont ils dérivent dépend leur qualité, c'est-à-dire leur précision et leur valeur représentative.

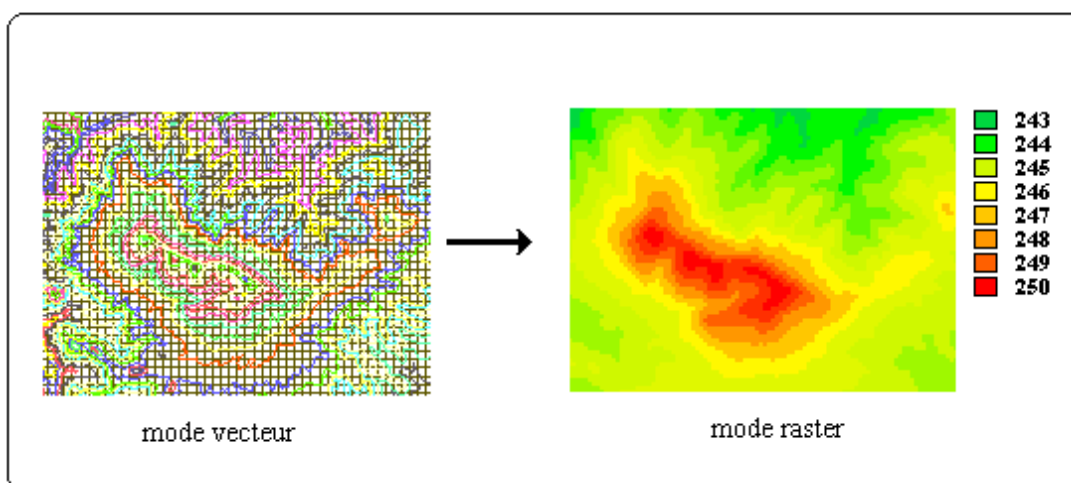


Figure 22 : Un exemple du Modèle Numérique de Terrain zone pic de Tessala (Sebka d'Oran).

III.4.3 Réseau hydrographique

L'extraction automatisée de réseaux hydrographiques est une application importante des MNT. On peut l'appliquer à la détection des thalwegs et de leurs bassins aussi bien qu'au calcul automatique de l'écoulement de l'eau. Ceci est fondamental pour toutes les études de gestion des ressources en eau : l'impact de la construction d'un barrage et en particulier des vues perspectives dynamiques des versants avec délimitation des contours et du niveau d'un futur lac artificiel sont très faciles à établir.

III.4.3.1 Définition

Le réseau hydrographique (ou réseau des talwegs) constitue l'une des données les plus importantes lors de l'étude de la topographie d'un terrain. Il est aussi à la base des études sur les phénomènes de drainage et de l'érosion (Band, 1986).

Du point de vue topologique, le réseau hydrographique peut être considéré comme un ensemble structuré de segments linéaires, chaque segment prend départ à partir d'une source ou d'une confluence pour arriver à une confluence ou à une autre confluence. (Shreve, 1967).

Sur le plan fonctionnel le réseau hydrographique est défini comme étant une structure de lignes d'écoulement organisées et hiérarchisées, qui assurent le drainage d'une portion d'un terrain délimitée par les lignes de partage des eaux (ou lignes de crêtes), appelée bassin versant. (Zehana, 1995).

III.4.4 Extraction du réseau hydrographique

Les éléments les plus remarquables dans un bassin versant sont les cours d'eau et leurs affluents. Ces éléments peuvent être extraits d'une manière automatique à partir de la carte du modèle de drainage. Cette carte constitue le produit le plus élaboré du modèle physiographique et le plus utile pour des applications hydrologiques (simulation des écoulements). Elle est obtenue à partir de la carte des orientations des pentes, en se basant sur le principe qu'une direction de pente d'un point nous donne le point dans lequel celui-ci se déverse. Ainsi, nous suivons le chemin de la descente maximale en incrémentant la valeur de chaque nouveau point dans lequel il se déverse. De ce fait, on obtient un modèle des surfaces drainées (Figure. 23).

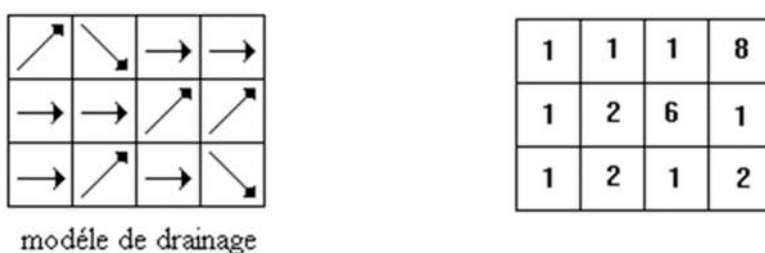


Figure 23 : Calcul de la surface drainée

Ce modèle représentera ainsi la surface exprimée en nombre de mailles situées en amont de chaque maille considérée (un sommet aura une valeur nulle, alors qu'un ravin ou un cours d'eau aura des valeurs élevées). De ceci dérive la méthode dite empirique d'extraction du réseau de talweg à partir du MNT, en appliquant un seuillage sur les valeurs de cette carte.

III.4.5 Extraction des limites des bassins versants

Contrairement aux méthodes conventionnelles, qui impliquent une délimitation manuelle des bassins et sous bassins versants sur la base d'une carte topographique, il est possible grâce à l'outil informatique de les découper d'une manière automatique et rapide à partir d'un MNT.

Grâce à la disponibilité de la carte de drainage, il est possible de produire un découpage automatique des bassins versants. L'opération de délimitation consiste à appliquer un algorithme récursif qui commence par inscrire l'exutoire dans le bassin, ensuite il considère successivement et itérativement chacun des huit (8) carreaux voisins. Si le carreau considéré est drainé vers le carreau central, et s'il n'est pas inscrit dans le bassin, l'algorithme se déplace vers ce carreau comme carreau central et répète la procédure jusqu'à ce que les bordures du MNT soient atteintes.

Les exutoires des bassins versants sont les suivants :

- Les mailles situées sur le bord de l'image et dont le drainage s'effectue vers l'extérieur de celui-ci.
- Les mailles dont le drainage s'effectue vers une maille extérieure qui correspond, soit à une zone dont la topographie est inconnue, soit à la mer ou à un lac ;
- Et enfin les mailles sans drainage correspondantes à des dépressions dont l'existence a été confirmée par l'opérateur.

A partir de ces exutoires, les bassins vont être délimités en explorant ainsi le modèle de drainage vers l'amont, en inversant ainsi le sens du modèle de drainage (Figure. 24).

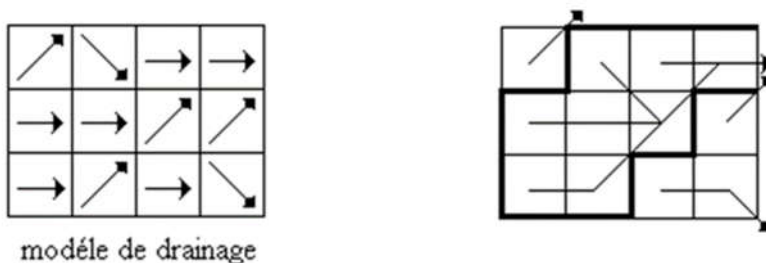


Figure 24 : Délimitation automatique d'un bassin versant.

Cette méthode de délimitation automatique du bassin versant est une approche par écoulement. Elle a l'avantage de simuler le processus hydrologique réel bien que l'écoulement soit restitué d'aval en amont, plutôt que d'amont en aval. Elle a le potentiel de contribuer à la compréhension des relations entre la topographie, le ruissellement, les sources de drainage et la structure du réseau de drainage (Marks, 1984).

III.5 Système d'Information Géographique

III.5.1 Définitions de Système d'Information Géographique (SIG)

Il existe plusieurs définitions de Système d'Information Géographique (SIG), mais nous focalisons uniquement sur les définitions les plus importantes :

- 1) La définition de l'économiste (Didier et al., 1990) « Un SIG est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision ».
- 2) Selon le Comité Fédéral de Coordination Inter-agences pour la Cartographie numérique aux États-Unis (1988) « Un SIG est un système informatique de matériels, de logiciels et de processus conçu pour permettre : la collection, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation, l'affichage des données à référence spatiale, afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion ».
- 3) Selon la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection : « Un SIG est un système informatique qui permet à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, de

combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace ».

4) Selon(Konecny, 2002) « Un SIG, dans une définition étroite, est un système informatique pour la saisie, la manipulation, le stockage et la visualisation des données spatiales numériques. Dans une définition plus large, il est un système numérique d'acquisition, de gestion, d'analyse, de modélisation et de visualisation de données spatiales aux fins de la planification, l'administration et le contrôle de l'environnement naturel et aux applications socio- économiques ».

III.5.2 Historique de SIG

Premièrement les SIG sont parus pendant les années 60 au Canada et aux Etats Unis. Les chercheurs de Canadian Geographic Information System (1964) sont les premiers qui ont utilisés les SIG pour rassembler des informations relatives à l'usage du sol, et des données concernant l'environnement, sur une grande partie de la Canada. Deux autres institutions aux Etats Unis à savoir le « New York Land Use Information System (1967) » et le « Minnesota Information System (1969) » ont aussi utilisés les SIG durant cette décade. Depuis lors, les coûts et les difficultés techniques ont largement réduit

III.5.3 L'information géographique (IG)

L'IG est une donnée ayant une référence spatiale soit sous forme de :

1. Coordonnées géographiques
2. Nom de lieu
3. L'adresse postale ou autre.

Elle peut être dupliquée sans détérioration, s'échange à haute vitesse au travers des réseaux de web, se cumule avec différentes informations en vue d'en produire de nouvelle. L'IG est obtenue, déposée, analysée, affichée et partagée à l'aide de système d'information géographique (SIG). C'est une information liée à un objet ou à un phénomène, décrit plus ou moins complètement :

1. Par ses caractéristiques diverses (c.-à-d. sa nature et son aspect).
2. Par son emplacement sur la terre

Le premier groupe de données est appelé aussi attributs, alors que le second groupe est appelé données géométriques. Par exemple l'IG sur une route se définit par son nombre de voies, son revêtement, son nom, sa grandeur et son positionnement sur la surface terrestre. Il faut signaler que l'IG est de plus en plus présente dans notre vie sous une forme numérique (Figure. 25).



Figure 25 : exemple de système de location par satellite (GPS)

III.5.4 Les principales composantes d'un SIG

Selon ESRI France (ESRI, 2018) un Système d'Information Géographique est composé de :

A/ Matériel informatique (hardware)

Les SIG marchent sur une très grande panoplie d'ordinateurs (pc de bureaux raccordés en réseau ou exploités de manière autonome).

B/ Logiciels (software)

Les logiciels de SIG offrent les outils nécessaires pour sauvegarder, examiner et visualiser l'information géographique.

C/ Données (Information Géographique)

Les données constituent la composante maîtresse des SIG. L'information géographique peut, soit être constituée en interne, soit acquise auprès de producteurs de données.

D/ Personnel formé

Un SIG étant avant tout un outil, donc c'est à l'utilisateur « expert en SIG » de l'exploiter. Il faut signaler que les SIG sont élaborés d'une manière qui leurs permettent d'être manipulés par plusieurs types d'utilisateurs, depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux utilisateurs de logiciel pour le traitement de l'information géographique. Actuellement, grâce à l'accès des SIG sur Internet, le nombre d'utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante. (Figure. 26)

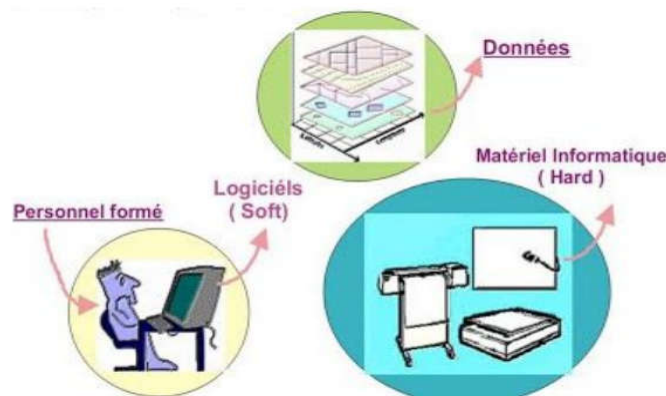


Figure 26 : les principales composantes de SIG (<https://sites.google.com/site/pastoraldz>)

III.5.5 Les fonctionnalités d'un SIG (les 5 A)

Les SIG sont créés pour répondre à différentes demandes et comme le système commun n'existe pas, il faut les ajuster selon les objectifs établis. Néanmoins il faut dire qu'il y'a 5 fonctionnalités « on les appelle les 5A » que tous les SIG doivent assurer :

Abstraire :

Concevoir un modèle qui arrange les données par constituants géométriques et par attributs descriptifs, et qui permet aussi d'établir des relations entre les objets

Acquérir : Le logiciel doit posséder des fonctionnalités de digitalisation et d'importation de données.

Archiver : Le logiciel doit avoir une grande capacité de stockage des données

Analyser : Capacité d'analyser les données géographiques (méthodes quantitatives et statistiques, opérateurs topologiques, etc.).

Afficher : Capacité d'affichage de l'information géographique sous forme de Cartes, tables, graphes, etc.

III.5.6 Domaines d'application des SIG

Les SIG peuvent être utilisés pour étudier plusieurs phénomènes, entre autres on peut citer

- Pour les grandes échelles
 - La gestion foncière et cadastrale : ex. recensement des propriétés privées et le calcul de leurs surfaces.
 - La planification urbaine : ex. réalisation des cartes d'occupation des sols et plans d'aménagement urbain.
 - La gestion des réseaux : ex. réseau d'assainissement, approvisionnement en eau potable, gaz, électricité, téléphone, etc.
 - La gestion des espaces verts naturels ou urbains : ex. parcs naturels et jardins publics.
- Pour les échelles moyennes et petite
 - L'identification des meilleurs endroits pour l'emplacement d'une nouvelle ressource ou ce que n'appelle carte d'aptitude.
 - Les études d'ingénierie routière : ex. constructions de routes ou d'autoroutes.
 - Les applications liées à la prévention des risques naturels

III.5.7 Les données dans les SIG

III.5.7.1 Types de données dans les SIG

Toutes les géométries spatiales peuvent être décrites par 4 types de propriétés:

- Leur position à la surface de la terre
- Les relations spatiales (topologie).
- Leurs attributs.
- Leurs métadonnées

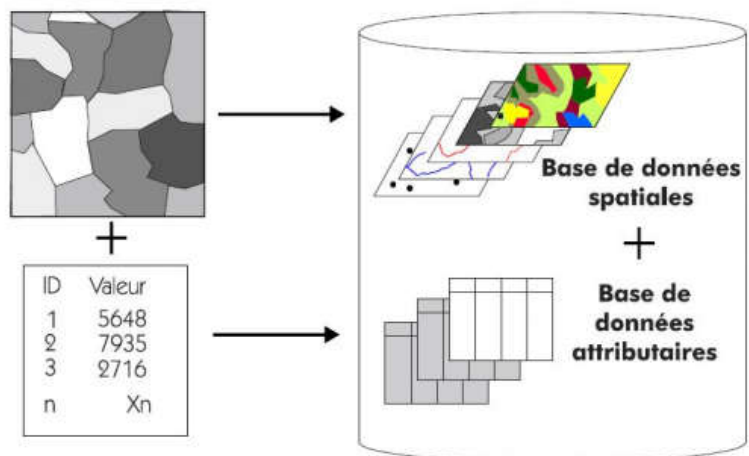


Figure 27 : types de données dans un SIG (<https://www.esrifrance.fr>)

➤ Données spatiales

Elles déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique où sont figurés et reconnus tous les objets graphiques (Figure 27) :

- La localisation : sont les coordonnées de l'objet par rapport à un référentiel (méridien de référence).
- La forme : peut-être un point, une ligne, ou un polygone.
- La taille : longueur, périmètre, surface.

Dans les SIG, il y a 2 modes de projection des données géographiques :

➤ Mode vecteur :

Les données vectrices sont un ensemble d'objets spatiaux représentés chacun par les éléments suivants : point, ligne et polygone.

Exemples de données vectorielles :

- a) Les données surfaciques : comme un parcellaire ou tout autre zonage thématique, sont représentés par des polygones (Figures. 28).

- b) Les données linières ou filaires : comme les réseaux techniques, les cours d'eau ou les voies, sont représentés par des lignes (Figure. 29).
- c) Les données ponctuelles : comme les puits, les points de sondage, les sièges d'exploitation, sont représentés par des points (Figure. 30)

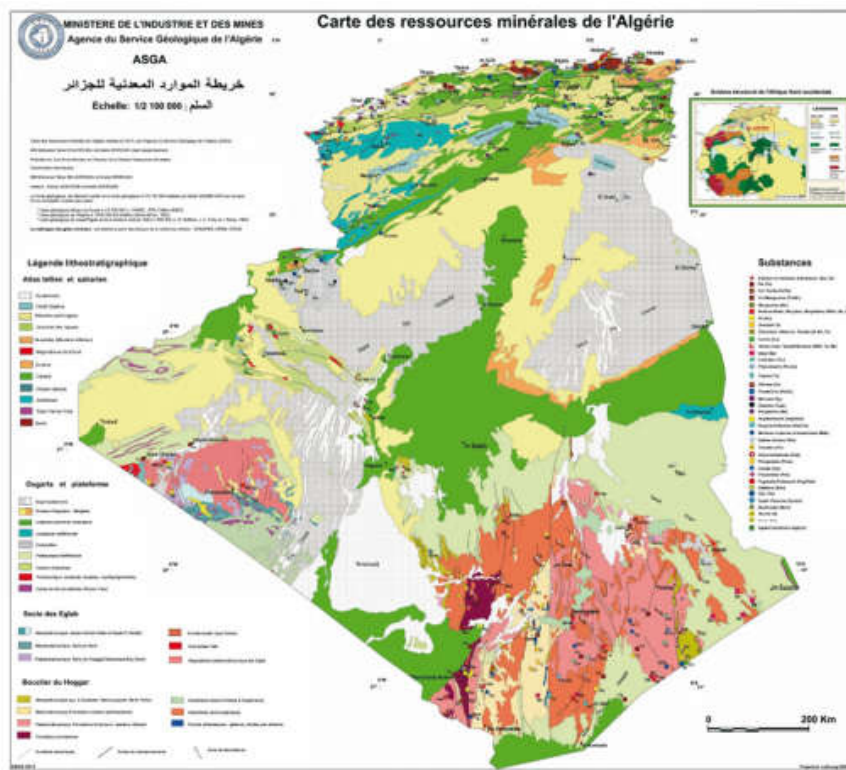


Figure 28 : exemples de données surfacique : carte des ressources minières de l'Algérie (<http://www.asga.dz>)

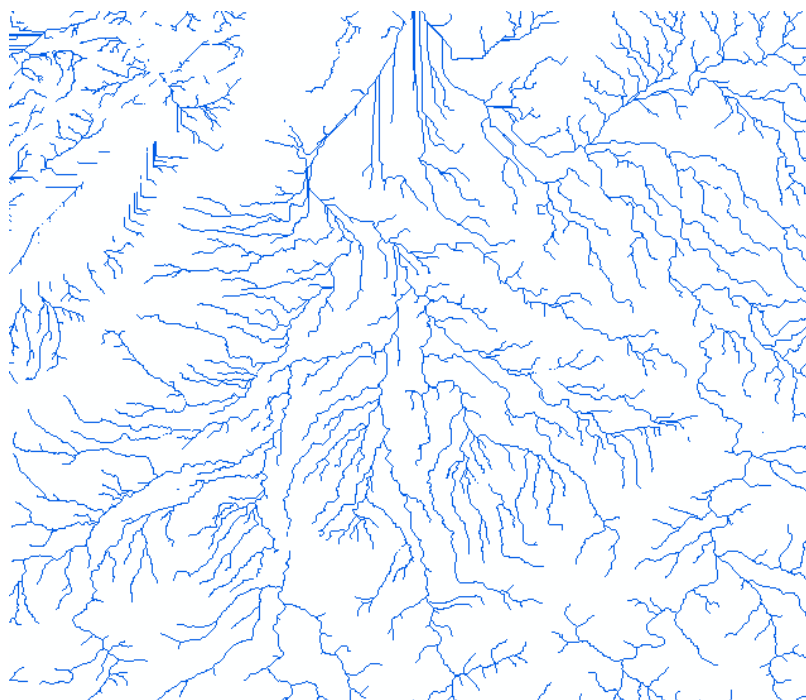


Figure 29 : exemple de données linières (carte de réseau hydrographique dans la partie de la MACTA)

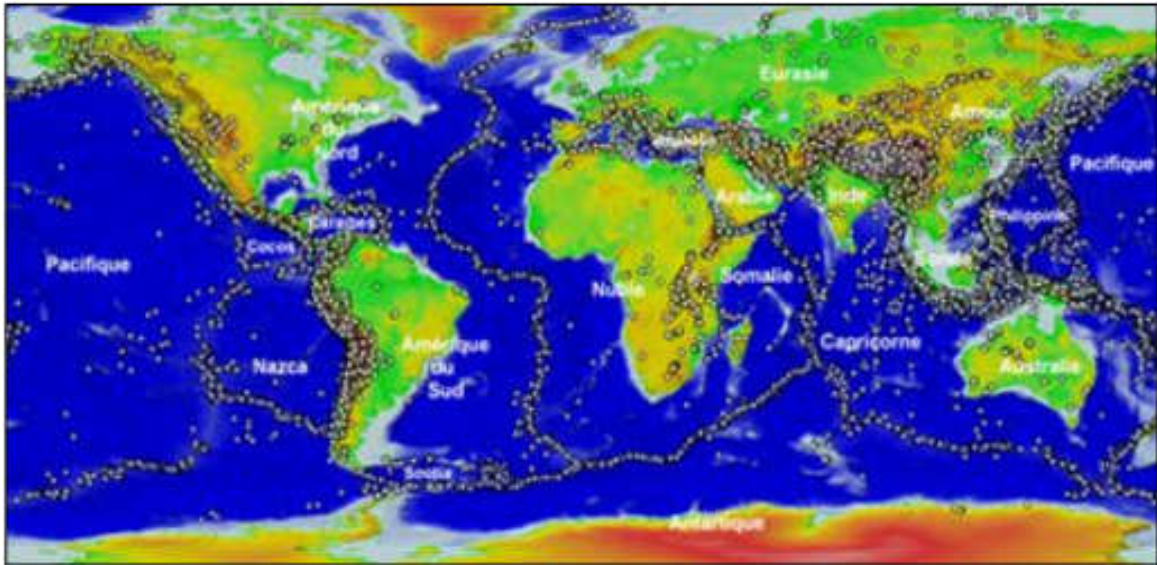


Figure 30 : Exemple de données ponctuelles (Carte de la sismicité mondiale. Les épicentres sont issus du catalogue de l'United States Geological Survey, pour la période 1973-2008 et pour tous les séismes de magnitude supérieure à 5 ; <https://www.irsn.fr>)

➤ **Mode raster :**

La réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur. La juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Une forêt sera "représentée" par un ensemble de points d'intensité identique (Figure. 31).

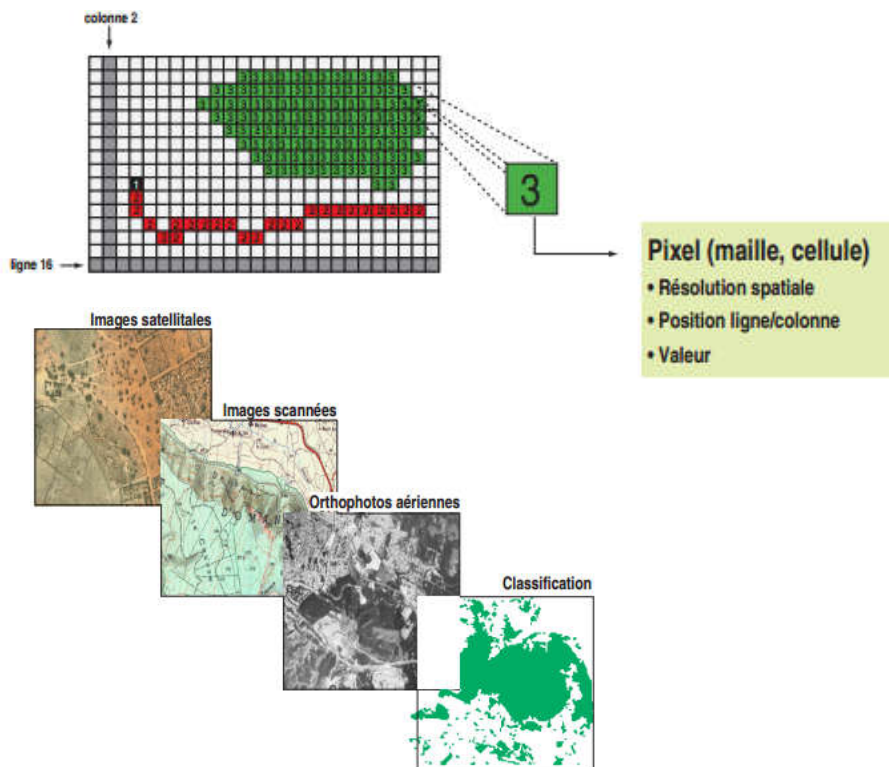


Figure 31 : Exemple données raster

➤ Données associées

Les données associées des objets spatiaux complètent la représentation géométrique de l'entité spatiale. En fait, chaque élément de l'espace (c.à.d. point, ligne, ou polygone) reçoit un code d'identification (ID) qui peut être numérique ou littéral. Ce dernier compose en une étiquette déterminant l'entité spatiale. Parmi les données associées on distingue :

- a) Données de classification Permettent de classer le point, la ligne, ou le polygone dans une classe déterminé tel que le type de parcelle (irrigué, non irrigué), type de route (primaire secondaire), etc.
- b) Données d'identification donnent la possibilité de distinguer chaque objet Figureront sur la carte, par exemple nom de la commune, numéro de parcelle, numéro de vanne, etc.
- c) Données attributaires porter une information complémentaire propre à chaque objet identifié, tel que le possesseur de la parcelle, la superficie de la parcelle, etc

III.5.8 Mode d'acquisition des données géographiques

L'obtention des données spatiales consiste au rassemblement de différentes sources permettant la saisie des données dans le but de leurs intégrations dans un SIG. Nous exposons dans ce qui suit les différentes méthodes d'acquisition de données spatiales.

➤ Import des fichiers

Il y a généralement trois manières pour importer les données spatiales :

- Importer une base de données arrangée dans un format interne à un SIG. Cette méthode est valable entre les SIG d'un même type mais elle est compliquée entre des SIG de types ou de versions distinctes.
- Importer un fichier texte (txt) contenant tous les renseignements structurés de manière primitive. Il faut note que cette méthode nécessite un arrangement des données importés pour qu'elles concordent avec la structure interne du SIG.
- Passer par une des normes d'échange disponible sur le marché. Ce troisième moyen est le plus économique à long terme.

➤ Levés topographiques

Un théodolite (Figure. 32) est un appareil de géodésie parachevé d'un dispositif d'optique, calculant des angles dans les deux plans horizontal et vertical pour identifier une direction. Il est employé pour effectuer les mesures d'une triangulation. Cet instrument permet d'obtenir le tracé de voisin en voisin à partir d'un point d'origine.



Figure 32 : exemple d'un levé

➤ **Photos aériennes**

L'ensemble de clichés fusionnés permet d'obtenir une photo complète d'une zone (Figures 33, 34).
 Les clichés photographiques obtenus nous permettent de déterminer les coordonnées et l'altimétrie des points.

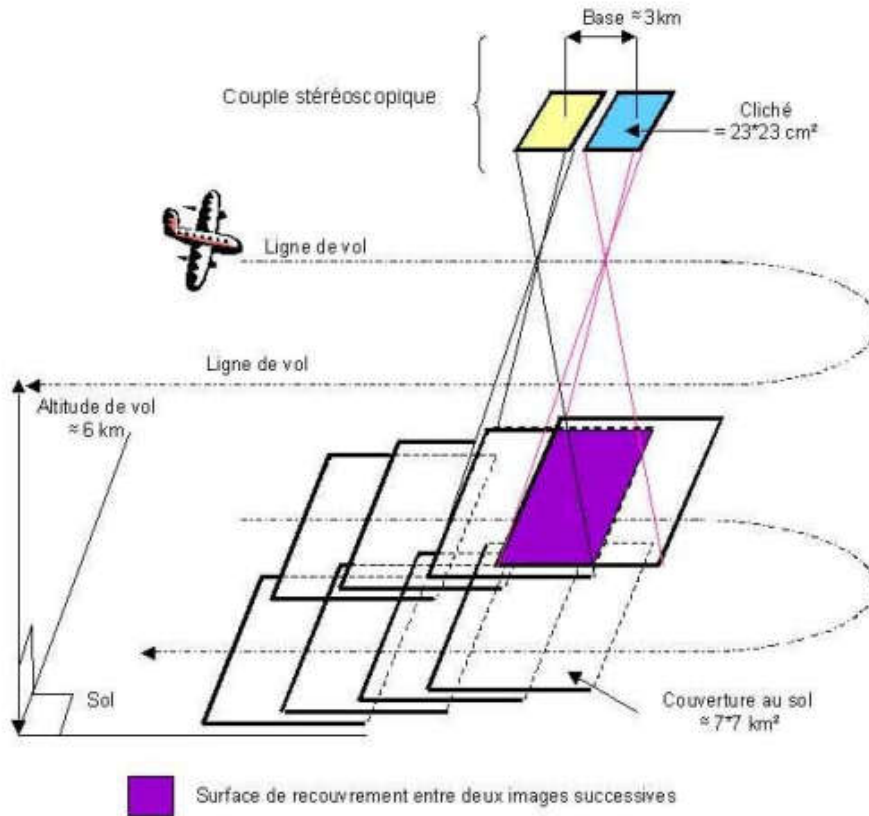


Figure 33 : plan de vol d'un avion d'acquisition de photos aériennes
 (<http://perso-sdt.univ-brest.fr>)

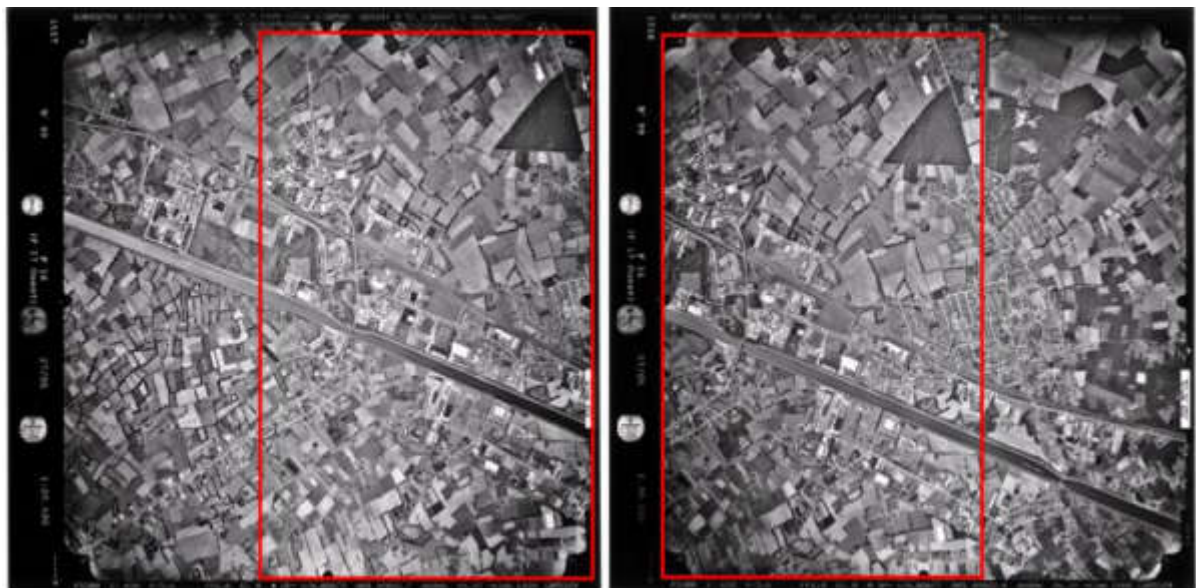


Figure 34 : couple stéréoscopique de Tongerlo, Belgique, 17-05-1999. le recouvrement est indiqué par les rectangles rouge (<http://www.seos-project.eu>)

➤ **Images satellites**

Les satellites d'observation de la terre, fournissent des données transmises sous forme d'images numériques en mode raster (Figure.35). Les données doivent subir certains traitements rectificatifs avant de les intégrer dans un SIG.



Figure 35 : image satellite du capteur Sentinel 2 de la région d'oran

➤ **Global Positioning System (GPS)**

Le système GPS (Figure 36 (a)) permet le calcul à l'aide des satellites (Figure. 42 (b, c)) la position (coordonnées avec une précision de quelques centimètres voire même quelques millimètres)

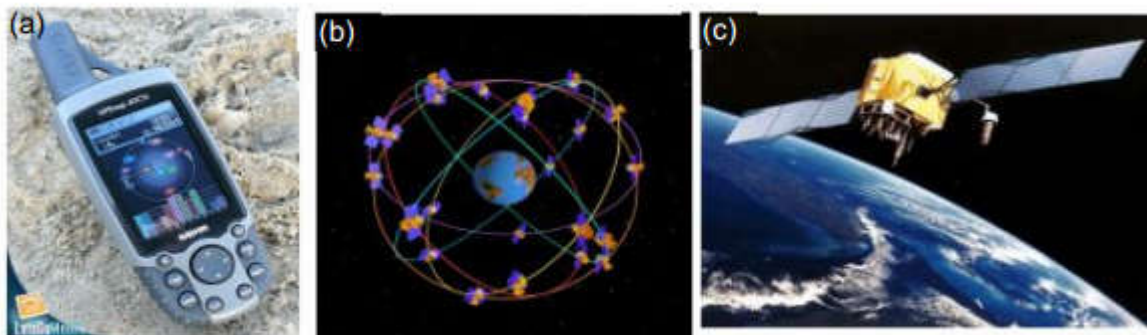


Figure 36 : (a) système de localisation par satellite (GPS) et satellites (b et c)

➤ Digitalisation

La digitalisation (Figure. 37) est adaptée à la représentation vectorielle. Cette technique assure la préservation des informations présentées dans le document de base. Un traitement préalable sur les documents de base peut s'avérer nécessaire si ceux-ci sont trop chargés.



Figure 37 : une Table de digitalisation

➤ Scannage de plans

Convient parfaitement à la représentation raster (Figure 38). Ce mode de saisie est rapide et peu coûteux. Si la donnée est scannée et géoréférencée c'est de la donnée « raster ». Le seul problème de cette méthode est la réécriture des erreurs dues au support d'origine.



Figure 38 : Scanner automatique, utiliser pour le scannage de plans

III.5.9 Notion de base de données géographique

Les SIG stockent les données spatiales et les données attributaires sous forme d'une base de données géographique (Figure.39), cette dernière est composée d'une série de couches d'information géographique ordonnées de manière efficace pour être utilisées par une ou plusieurs applications. Il faut noter que les données doivent être rendues « superposables », c'est-à-dire dans le même système de coordonnées ou dans des systèmes compatibles (une « transformation géographique » permettant de passer d'un système à l'autre).

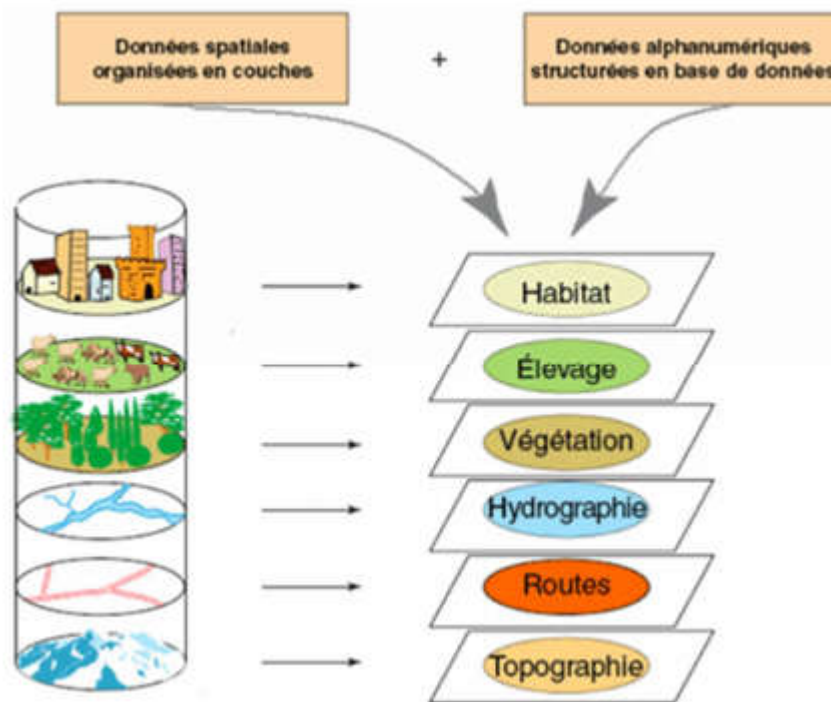


Figure 39 : représentation schématique d'une base de données géographique : ensemble de couches superposables

III.5.10 Les domaines d'application des SIG

Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés. Citons cependant :

- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques)
- Marketing (localisation des clients, analyse du site)
- Planification urbaine (cadastre, POS, voirie, réseaux assainissement)
- Protection civile (gestion et prévention des catastrophes)
- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires)
- Hydrologie
- Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture)
- Géologie (prospection minière)
- Biologie (études du déplacement des populations animales)
- Télécoms (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles)

III.5.11 Apporte du système d'information géographique

- les informations sont stockées de façon claire et définitive
- gérer une multiplicité d'informations attributaires sur des objets
- comprendre les phénomènes, prévoir les risques (simulations)
- établir des cartographies rapides
- localiser dans l'espace et dans le temps
- réagir rapidement après des événements ayant un impact sur le territoire
- calculer des coûts ou des bénéfices
- associer un plus grand nombre de partenaires aux choix d'aménagement
- fournir des itinéraires, des plans adaptés

Quelques exemples de questions auxquelles un SIG peut répondre

- Quel est l'état des routes sur une commune ?
- Qu'est-ce qui a changé depuis 1952 ?
- Quelles sont les parcelles concernées par une inondation éventuelle ?
- Quelles sont les zones sensibles en cas d'avalanches ou de glissement de terrain ?
- Quel est le chemin le plus rapide pour aller de la caserne des pompiers à l'incendie ?
- Que se passe-t-il si une substance toxique se déverse à tel endroit ?
- Où implanter des postes de surveillance d'incendie de forêt ?
- Trouver les zones favorables à la culture du riz ?
- Comment évolue la déforestation en Amazonie ?
- Recherche de sites propices à la culture des algues sur la côte atlantique ?

Les Systèmes d'Information géographique vous permettent

- de disposer les objets dans un système de référence géo référencé,
- de convertir les objets graphiques d'un système à un autre
- de faciliter la superposition de cartes de sources différentes
- d'extraire tous les objets géographiques situés à une distance donnée d'une route
- de fusionner des objets ayant une caractéristique commune
(Par exemple : toutes les maisons raccordées à un réseau d'eau potable)
- de déterminer l'itinéraire le plus court pour se rendre à un endroit précis
- de définir des zones en combinant plusieurs critères (par exemple : définir les zones Inondables en fonction de la nature du sol, du relief, de la proximité d'une rivière)

IV.1 Introduction

Les zones humides, par l'enjeu sociétal qu'elles représentent, requièrent d'être inventoriées à l'échelle du territoire national. Une approche régionale, par télédétection spatiale de moyenne résolution spatiale, est une bonne échelle d'investigation. Pour cela, nous proposons de maximiser les possibilités d'identification des zones humides en sélectionnant des images représentatives du capteur Sentinel 2 favorables à la détection d'humidité de surface. Elle conduit à mettre en évidence les zones humides.

IV.2 Présentation de la zone d'étude

Notre secteur d'étude est limité sur l'image satellitaire sentinel2 de 10m de résolution. La région d'Oran est située au nord-ouest de l'Algérie (Fig. 40). En coordonnées géographiques exprimées DMS, est comprise entre $1^{\circ} 16' 8.75''$ W et $0^{\circ} 16' 16.24''$ E pour les longitudes et entre $35^{\circ} 58' 48.76''$ N et $35^{\circ} 20' 49.23''$ N pour les latitudes.

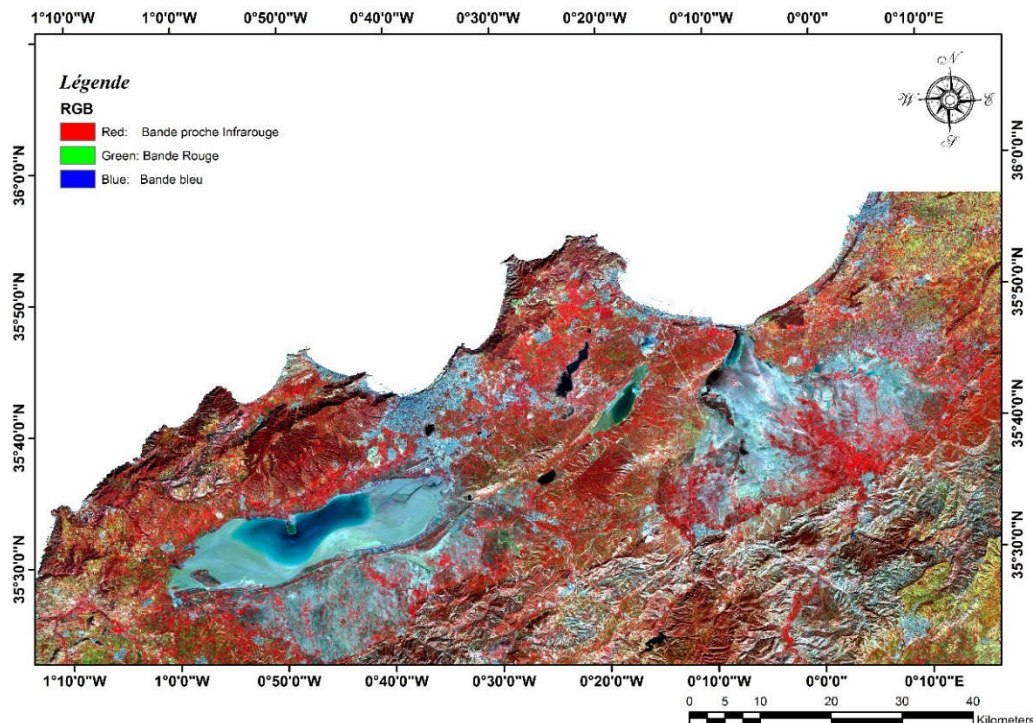


Figure 40 : carte de la zone d'étude (région d'Oran)

IV.3 Approche méthodologique

Le travail mené sur la zone d'étude, en utilisant l'outil télédétection et système d'information géographique, a fait l'objet de :

- Délimité les zones humides de la région d'Oran
- Réalisée un atlas numérique sur les zones humides

Ces deux objectifs préconisés sont représentés par les deux organigrammes illustrant les différentes tâches suivies pour l'une ou l'autre.

La Télédétection spatiales a servi comme un document de base pour l'établissement d'un atlas des zones humides de la région d'Oran. Le premier organigramme résume les différentes étapes et traitement des images satellitaires pour la délimitation des zones humides. (Figure 41)

La réalisation des atlas des zones humides nécessite l'intégration de plusieurs données et techniques, tel que les MNT les cartes topographiques et les donnée terrain, l'organigramme (Figure 42) illustre les étapes pour l'établissement d'un atlas numérique sur les zones humides de la région d'Oran.

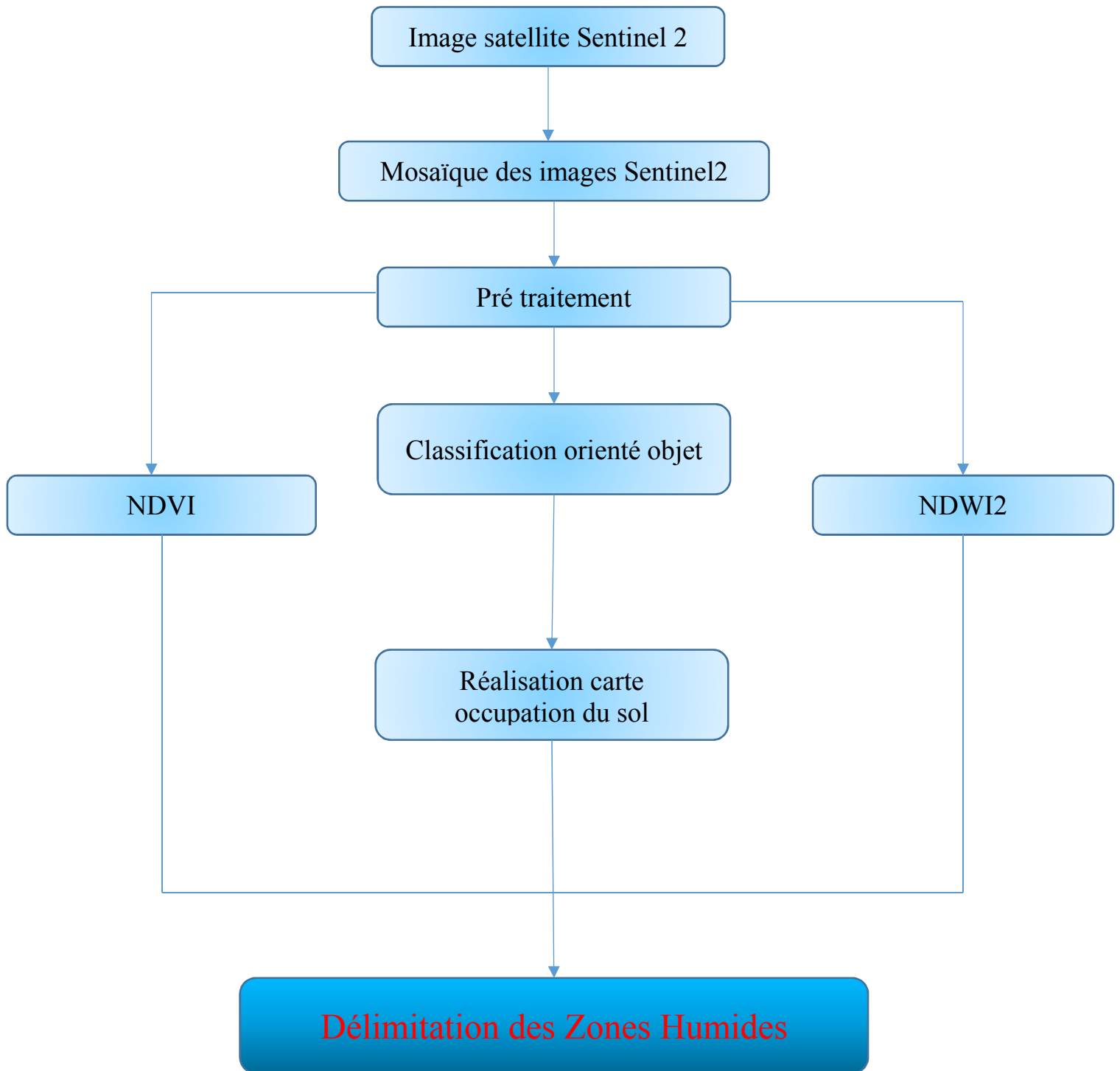


Figure 41: Organigramme de la méthodologie de délimitaion des zones humides

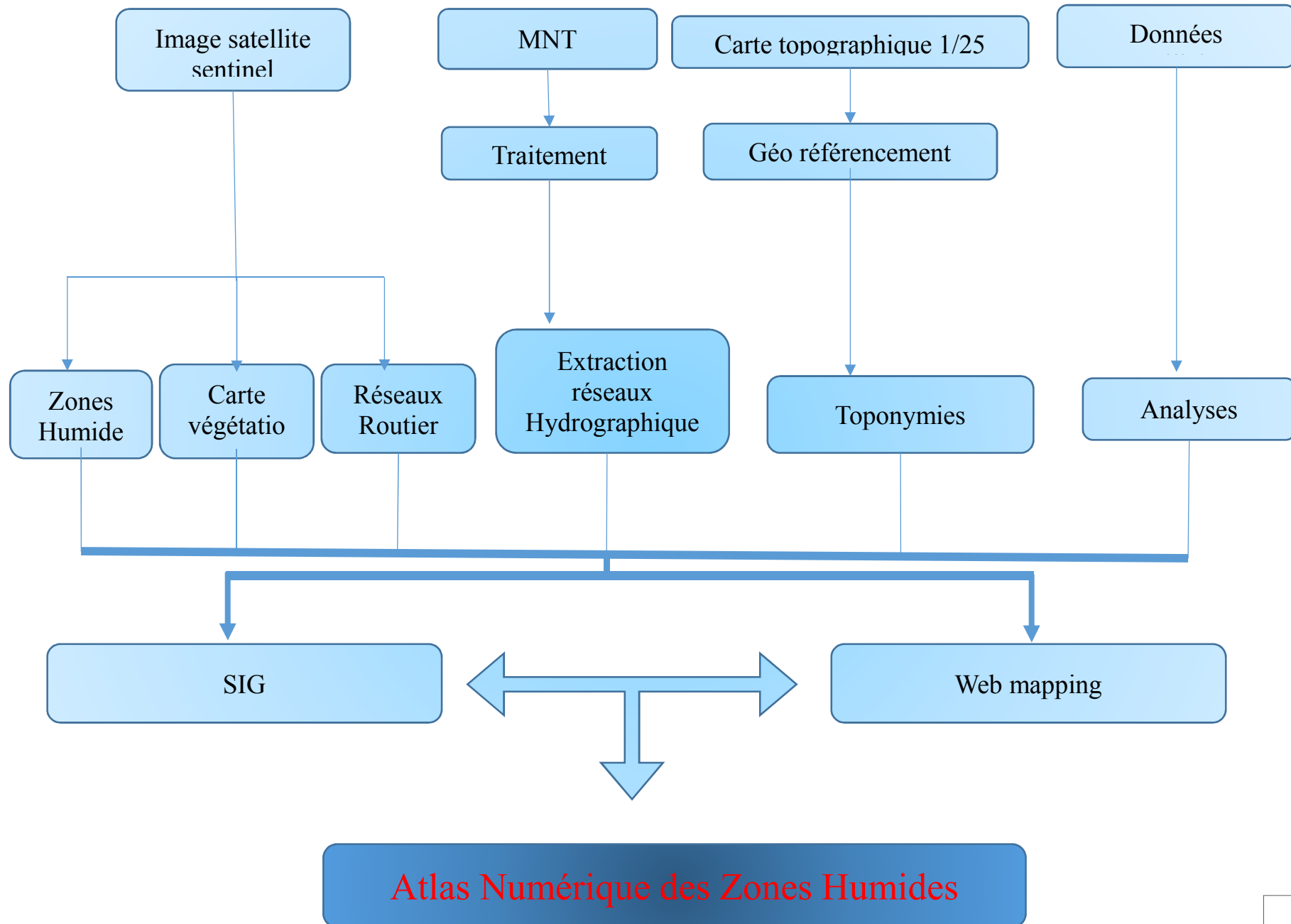


Figure 42 : Organigramme de la méthodologie de réalisation de l'Atlas des zones humides

IV.4 Cartographie des zones humides de la région d'Oran

IV.4.1 Traitement des images satellitaire

De nos jours, la plupart des données de télédétection étant enregistrées en format numérique, presque toutes les interprétations et analyses d'images requièrent une partie de traitement numérique. Le traitement numérique des images peut recourir à divers procédés dont le formatage et la correction des données, le rehaussement numérique pour faciliter l'interprétation visuelle ou même la classification automatique des cibles et des structures entièrement par ordinateur.

Le traitement d'images numériques nécessite évidemment un système informatique (ou système d'analyse d'images) ainsi que l'équipement et les logiciels pour traiter les données. Plusieurs systèmes de logiciels en citant ENVI, ERDAS et GLOBAL MAPPER ont été développés spécifiquement pour le traitement et l'analyse des images de télédétection.

Pour notre besoin nous regrouperons les fonctions de traitement des images sentinel 2 en trois catégories :

- 1- Rehaussement de l'image
- 2- Mosaïque des scènes sentinel 2
- 3- Classification et analyse de l'image

IV.4.2 Rehaussement des images satellitaire

Les fonctions de rehaussement ont pour but d'améliorer l'apparence de l'imagerie pour aider l'interprétation et l'analyse visuelles. Les fonctions de rehaussement permettent l'étirement des contrastes pour augmenter la distinction des tons entre les différents éléments d'une scène, et le filtrage spatial pour rehausser (ou éliminer) les patrons spatiaux spécifiques sur une image. (Figure :43 et 44)



Figure 43 : image avant rehaussement

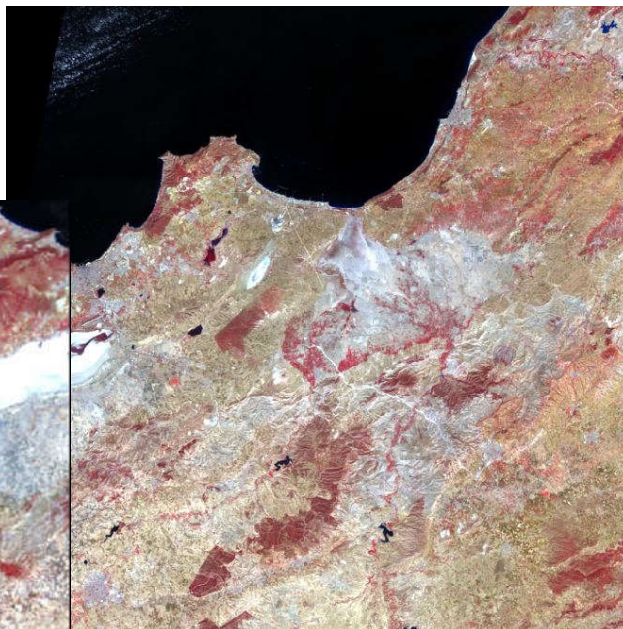


Figure 44 : image Après rehaussement

IV.4.3 Mosaïque des scènes sentinel 2

Lorsque toutes les images sont rehaussées, l'agencement et la superposition de toutes les parties d'images utilisables des deux scènes permettent de générer la mosaïque qui couvre la zones étude. (Figure 45,46 et 47)

*Figure 45 : scène sentinel
" 20180824t1050195"*



*Figure 46 : scène sentinel
" 20180826t104021 "*



Figure 47 : Mosaïque des image sentinel 2 de la zone d'étude

IV.5 Inventaires et délimitation des zones humides :

IV.5.1 Historique et données de télédétection

Les relevés de terrain sont majoritairement utilisés pour réaliser les inventaires des zones humides, leur état et les menaces pesant sur elles afin de les insérer ou non dans des programmes de gestion (Ramsar, 2005). Bien qu'ils permettent une connaissance exhaustive des milieux recensés, leur coût – temps et moyens humains – reste important. L'usage de la télédétection pour leur inventaire remonte aux années 1970. L'USFWS (U.S. Fish and Wildlife Service) avait alors développé une méthodologie reposant sur l'analyse de photographies aériennes infrarouge et d'une validation ensuite par des relevés terrains. Si elle présente une précision globale estimée à 90 %, elle reste difficile à mettre en œuvre : plus de 350 personnes mobilisées, coût des couvertures aériennes, temps nécessaire à prospecter l'ensemble du territoire national et digitaliser les zones humides.

Avec l'évolution récente des technologies satellitaires et aéroportées, la télédétection propose aux scientifiques des potentialités d'analyse inédites (Hubert-Moy et al., 2003). Les données de télédétection offrent en effet de nombreux avantages, à commencer par leur couverture spatiale qui permet de collecter des informations homogènes sur plusieurs dizaines voire centaines de km² sans considération de l'accessibilité physique de la zone et cela de manière périodique (Puissant, 2003). L'imagerie satellitaire offre également des caractéristiques spectrales et spatiales permettant la distinction et l'identification de certains types de végétations spécifiques aux milieux humides.

IV.5.2 Méthodes utilisées pour la détection des zones humides

L'étude bibliographique, peu développée en raison de la difficulté de la problématique, s'est également inspirée des méthodes utilisées en télédétection pour la détection de petits éléments paysagers à forte valeur écologique et environnementale. Elles s'appuient pour la plupart sur des données de télédétection THRS/HRS et différentes méthodes de classifications. Plusieurs travaux montrent ainsi des taux de détection plus précis à partir de données THRS, comparativement à l'évaluation de la THRS pour la cartographie de zones humides des données HRS (Nabucet, 2005) ; (Vannier and Hubert-Moy, 2008), confirmant l'idée que la THRS permettrait une meilleure identification des zones humides. Les résultats varient selon les méthodes utilisées. La détection des zones humides par télédétection renvoie à deux approches : celles reposant sur des indices d'humidité et de végétation,

➤ Indices d'humidité

L'approche fondée sur les indices d'humidité reste une approche privilégiée car les zones humides présentent une relative humidité des sols, même en période sèche (Clément et al., 2008). Des recherches portant sur l'étude de zones humides de fonds de vallées dans le Massif armoricain montrent que les images THRS/HRS permettent de les localiser à partir d'un indice d'humidité (Mérot et al., 2005). NDWI2 cet indice permet de mettre en évidence la présence d'eau à partir des bandes du vert et proche infrarouge. (Figure 48).

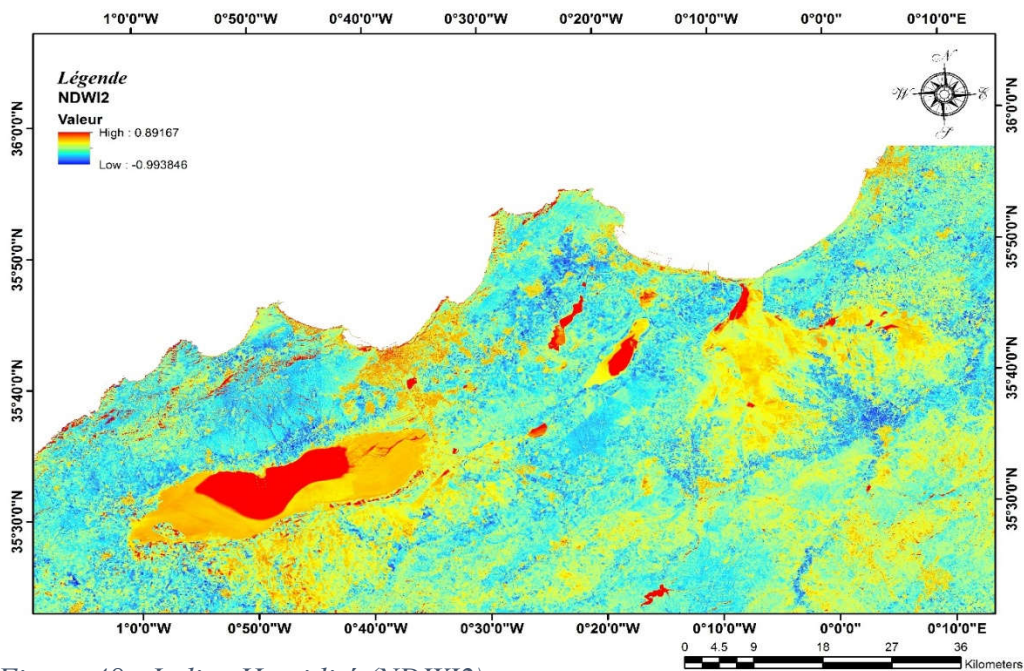


Figure 48 : Indice Humidité (NDWI2)

➤ **Indices de végétation**

Des indices de végétation peuvent également être employés pour différencier les zones humides à partir des types de végétation. Des indices indépendants des types de sols sont à privilégier NDVI (normalized difference vegetation index), (Figure 49).

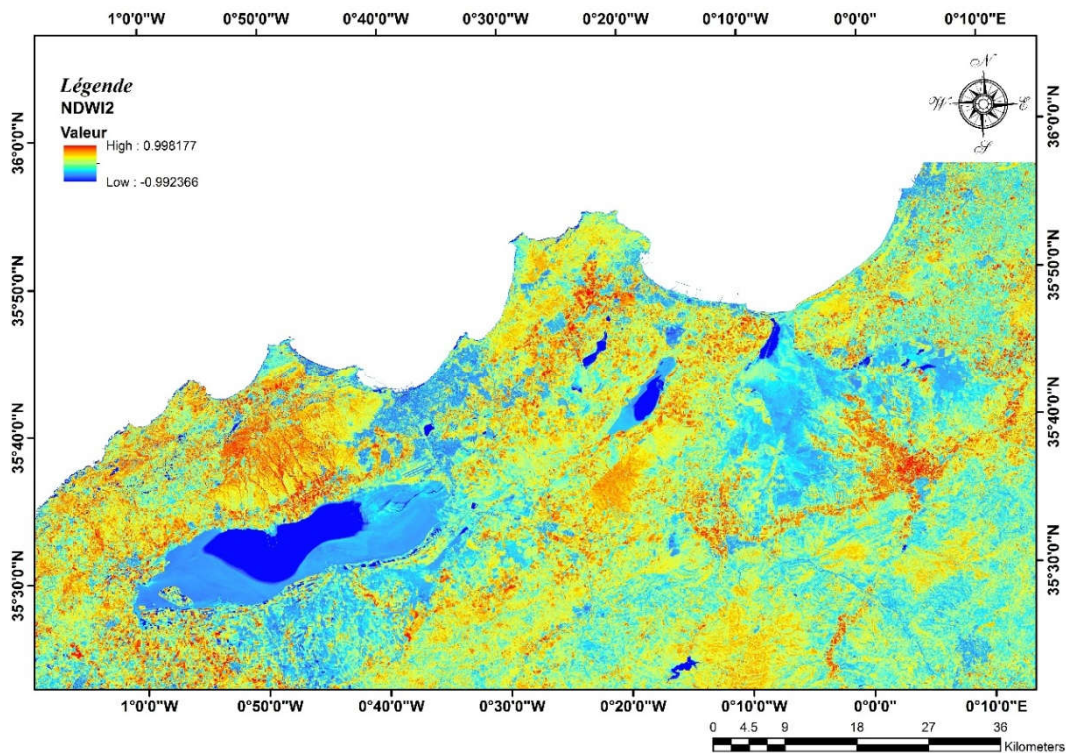


Figure 49 : Indice de Végétation normalisée (NDVI)

IV.6 Délimitation des zones humides

IV.6.1 Méthodes de classification : approches orientées pixels vs. Orientées objets

Deux types d'approches de classification se distinguent : celles reposant sur les informations spectrales des pixels, dites orientées pixels, et celles tenant compte de groupes de pixels homogènes et de leur contexte spatial avoisinant, englobant ou englobés, dites méthodes orientées objets. Les méthodes orientées pixels ne peuvent prendre en compte la grande quantité d'information contenue dans les images THRS (informations contextuelles, de texture, etc.), aboutissant à des résultats inconsistants et loin des attentes en termes d'extraction d'informations (Oruc et al., 2004). Du fait de l'extrême hétérogénéité des zones humides et de leur dissémination dans le paysage, les classifications orientées objets s'avèrent plus efficaces pour les extraire et les caractériser (Hubert-Moy et al., 2003). Toutefois, certaines méthodes orientées pixels récentes et performantes (méthodes Support Vector Machine, méthodes neuronales, etc.) doivent être testées. En effet, les résultats de classification peuvent varier suivant les types de milieux et les travaux de Lennon et al. (2002) ont démontré les performances des méthodes SVM pour leur détection. Une approche orientée objet, à partir de critères de similitude basés sur les réponses spectrales, la texture et le voisinage est a priori plus appropriée pour délimiter et caractériser des zones humides (Meinel and Neubert, 2004). Ce type de méthode permet d'inventorier (délimitation et identification) avec précision de petites zones humides.

➤ Segmentation de l'image sentinel2

La segmentation est le processus consistant à diviser une image en segments ayant des spectres similaires, caractéristiques spatiales et / ou de texture. Les segments de l'image correspondent idéalement aux caractéristiques du monde réel. Une segmentation efficace garantit que vos résultats de classification sont plus précis. (Figure 50,51,52 et 53)

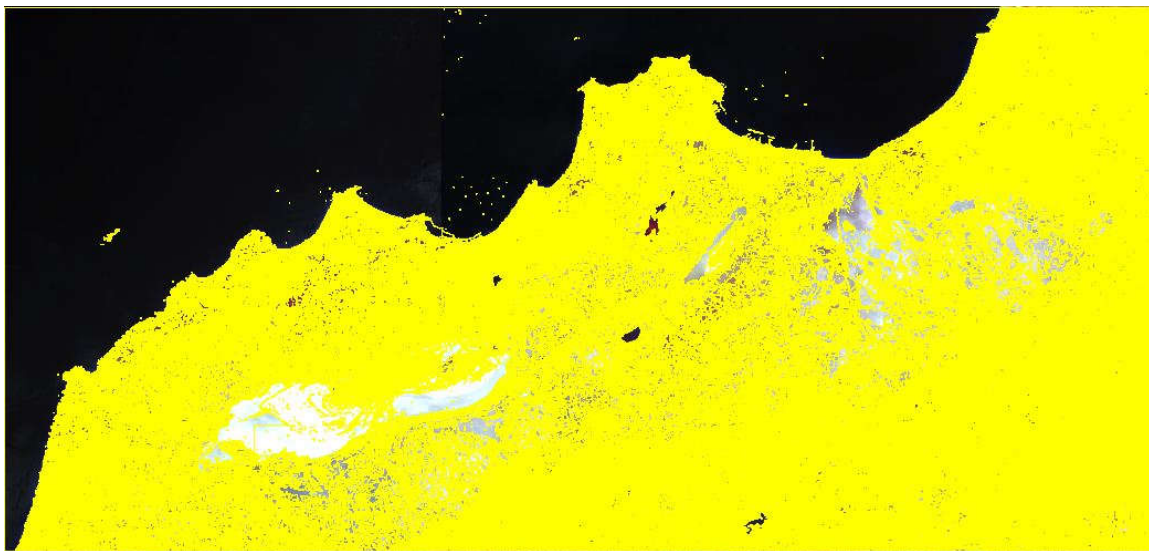


Figure 50 : segmentation de l'image de la zone d'étude

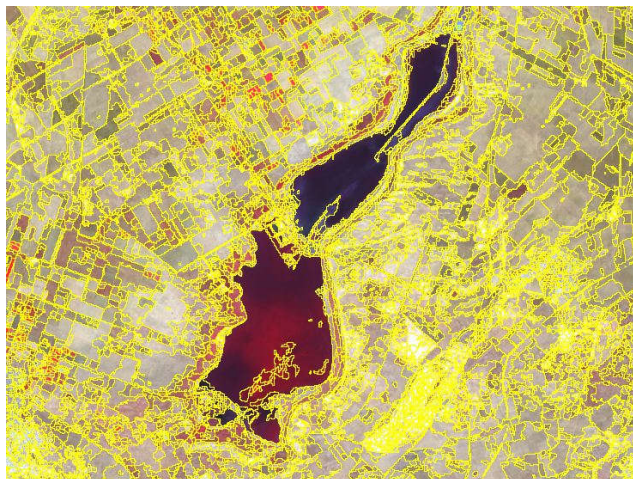


Figure 51: zoom sur l'image segmenté de la région du lac de Télamine

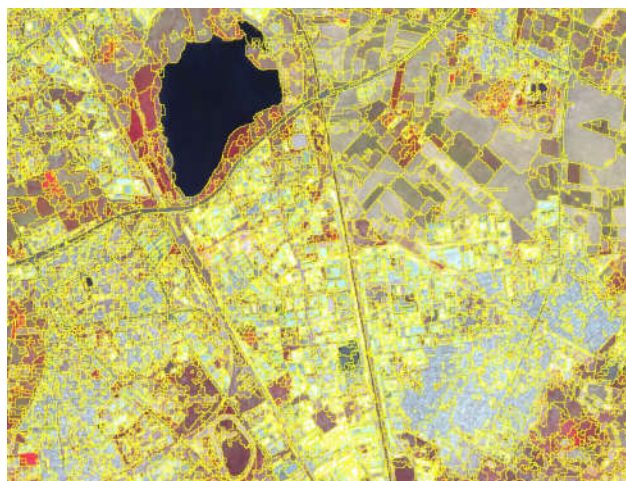


Figure 52 : zoom sur l'image segmenté de la région de senia

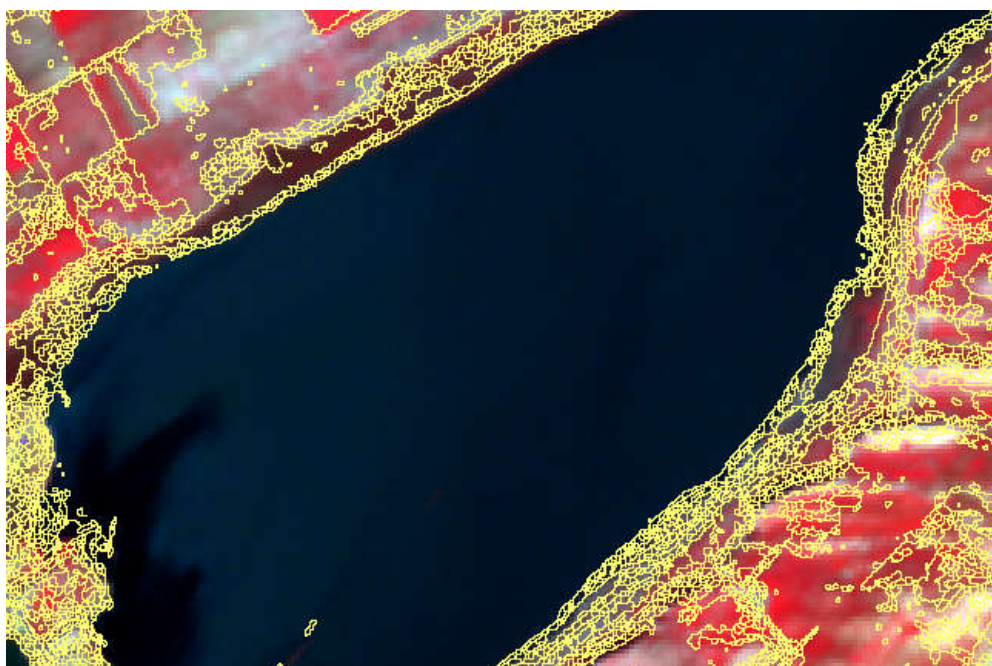


Figure 53 : zoom sur l'image segmenté du Lac Télamine

➤ **Délimitation multi date des zones humides de la région d'Oran**

L'intérêt d'exploiter des données satellitaires, leur intérêt repose sur l'existence de données à différentes dates, et l'automatisation de l'analyse. L'avantage de leur exploitation est réel à l'échelle du bassin-versant, pour identifier et cartographier les zones humides et l'occupation des sols environnants.

Le traitement et la classification des trois mosaïque d'images sentinel2 des années 2015,2016 et 2018. Montre que la variation rest peu pas significative concernant les limites des zones humides car elle est limité entre seulement trois date notamment entre 2016 et 2018. (Figure 54,55 et 56).

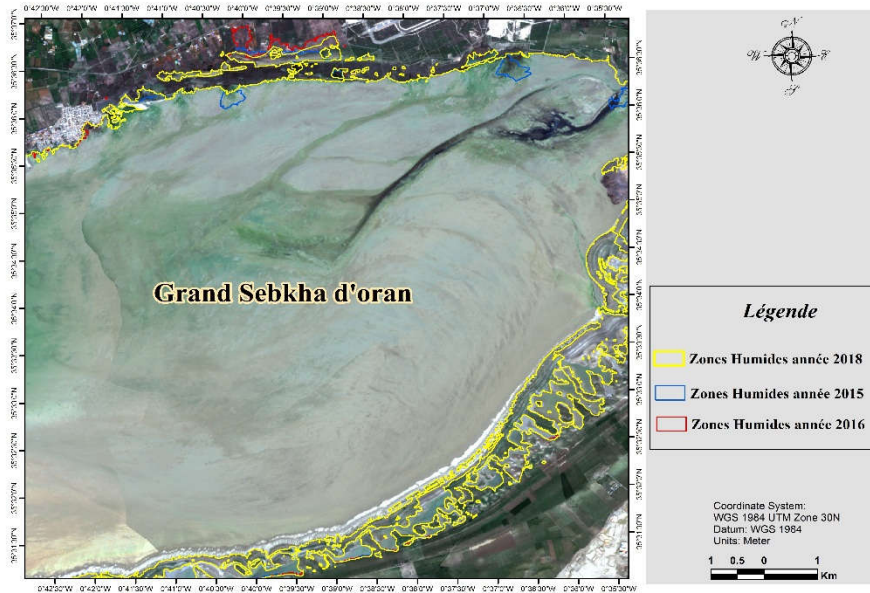


Figure 54 : variation des limites de la zone humide « grand Sebka d'oran

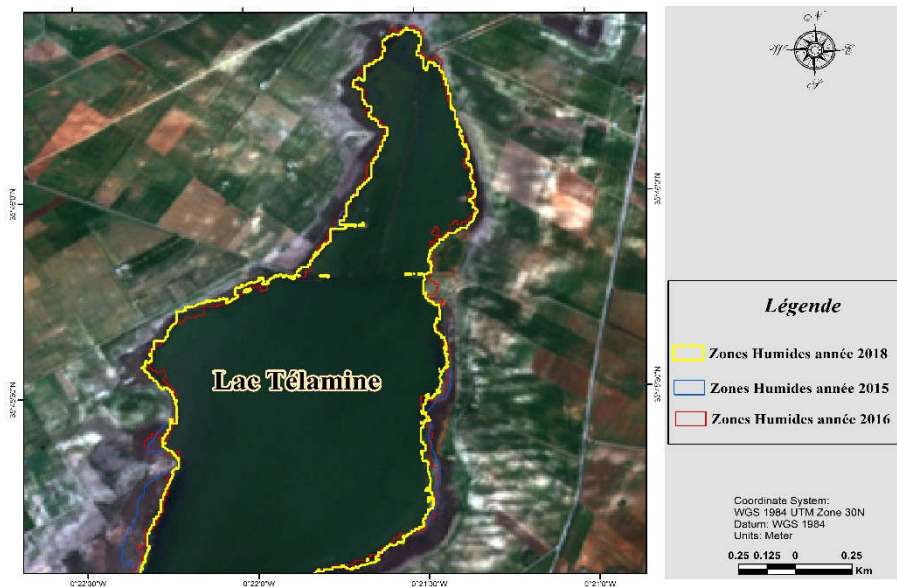


Figure 55: variation des limites de la zone humide « Lac Têlamine »

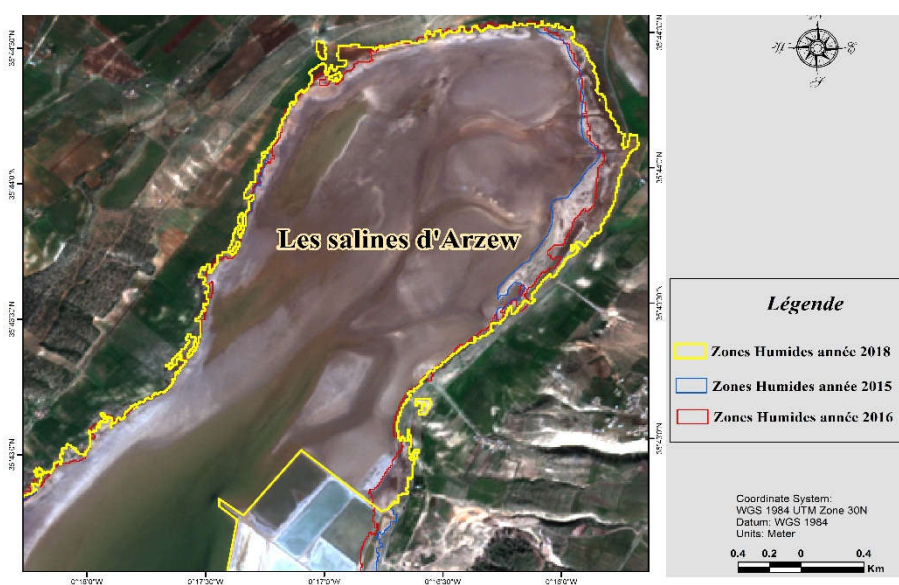


Figure 56 : variation des limites de la zone humide « Les Salines d'Arzew »

IV.7 Mis en œuvre de la base de données géo spatiales de l'Atlas des zones humides

IV.7.1 Extraction du réseau hydrographique

L'eau est naturellement l'élément fondamental de la vie des milieux humides. Elle alimente les écosystèmes, apporte des matières fertilisantes et bien souvent sculpte le paysage. Mais si tous les milieux humides sont marqués par l'abondance fluctuante de l'eau, leur dynamique hydrologique est en revanche très variable d'un milieu à l'autre, selon le climat, la localisation géographique et l'histoire des sites.

Dans notre étude le réseau hydrographique nous avons utilisé les donnée du Model Numérique de terrain (MNT) de précision de 12 m de résolution spatiale (figure 57)

On désigne par réseau hydrographique un ensemble hiérarchisé et structuré de chenaux qui assurent le drainage superficiel, permanent ou temporaire, d'un bassin versant ou d'une région donnée. Afin de mieux appréhender le fonctionnement hydrologique et les flux hydriques des milieux humides (figure 58).

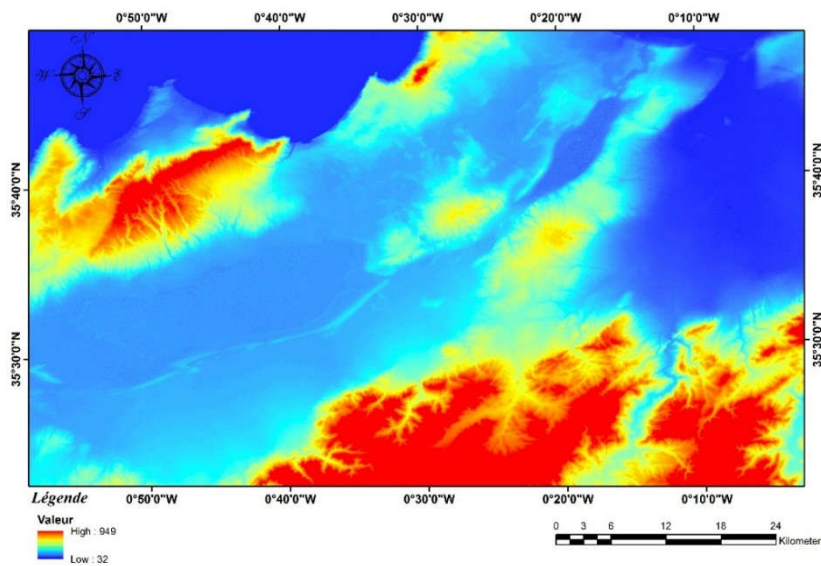


Figure 57 : MNT de la région d'étude (12m de précision)

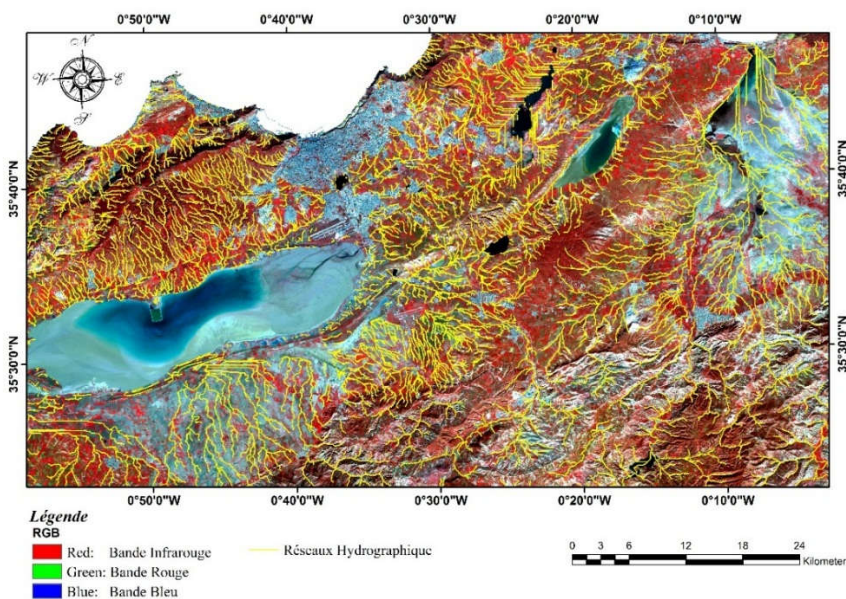


Figure 58 : réseaux hydrographique de la zones d'étude

L'eau captée par les milieux humides permet le développement de plantes et d'animaux. Adaptés aux conditions singulières de variation de niveaux d'eau Elle apporte des éléments minéraux et organiques qui favorisent cette vie. Cette biodiversité est à l'origine d'un très grand nombre de services rendus par ces milieux humides. (Figure 59)

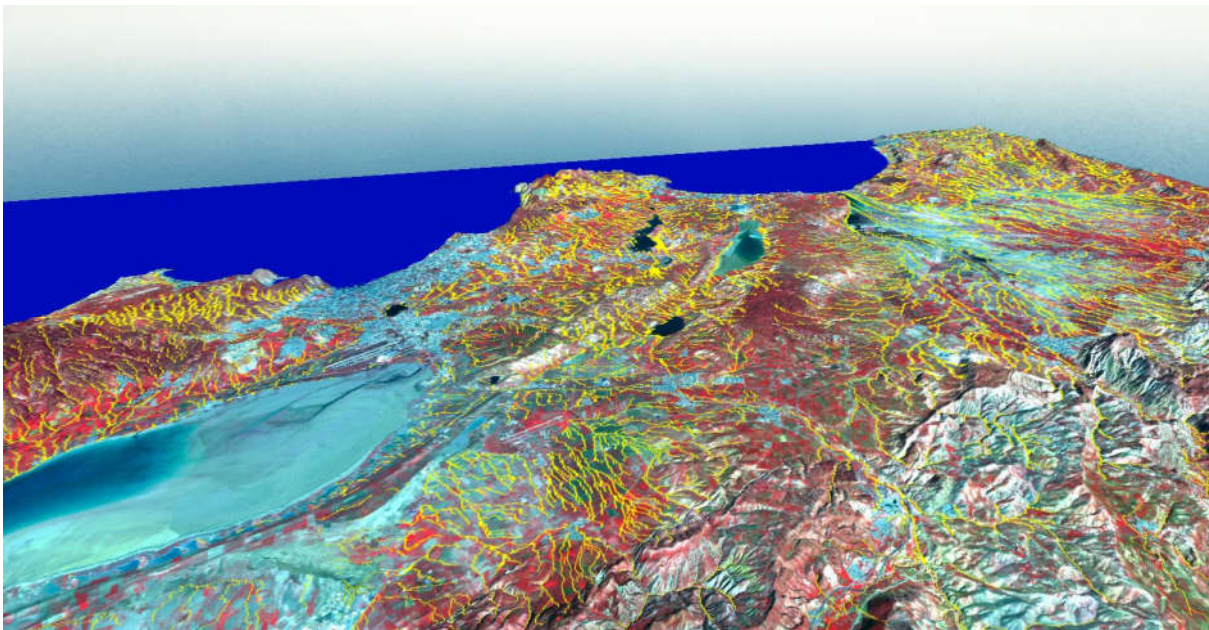


Figure 59 : Visualisation 3D de la zone étude

IV.7.2 Réseaux routiers

Afin d'enrichir la base de données de l'atlas numérique, la cartographie du réseau routier qui assure l'accessibilité à ces zones et examiner lorsqu'un projet est susceptible de traverser des zones humides, de manière à émettre des préconisations adaptées pour s'assurer que les infrastructures ne remettent pas en cause les fonctionnalités de ces milieux. Figure 60

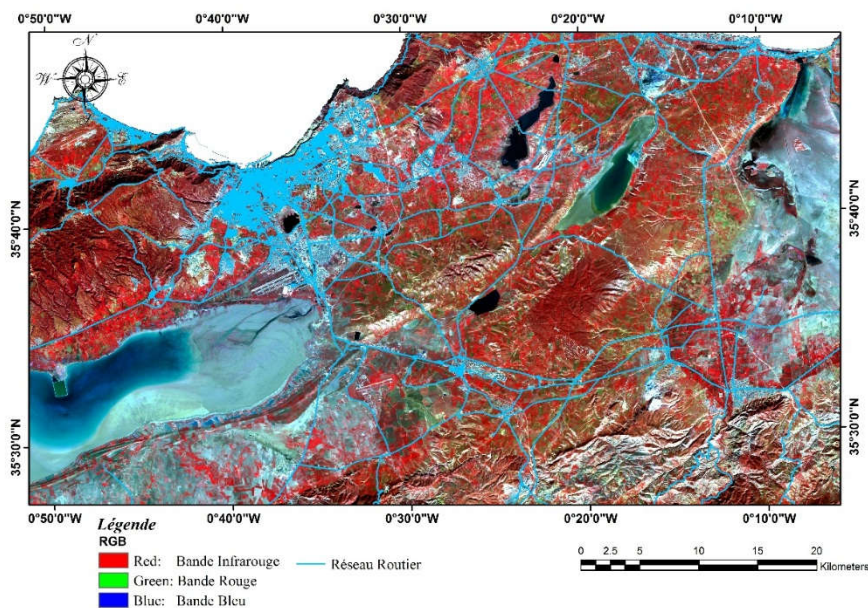


Figure 60 : réseaux Routier de la zone d'étude

IV.7.3 Cartes topographiques et la création de Toponymie

En prenant une carte et en regardant les noms des lieux-dits nous retrouvons la plupart du temps une présence ancienne de zones humides.

Les cartes topographiques sont également un fond cartographique de référence, précis et homogène, qui permet d'avoir une vision et une analyse d'ensemble sur un territoire intercommunal ou régional. Sa structuration topologique sa précision permettent notamment le couplage avec les moyens télédétection pour la réalisation de la base de données géo spatiale.

Création du système géodésique Nord Sahara 59 en utilisant les Paramètres de passage du WGS 84 au Nord Sahara 1959 fournie par l'Institut Nationale de cartographie et Télédétection. Figure 61. Et les paramètres primaires du Clarke 1880 existant dans le journal officiel de la republique algerienne(JORA n° 30) :

Demi-grand axe a : 6378249, 154 m ;

Aplatissement f : 1/293,4660208

Le système géodésique Nord Sahara 59 et crée sur logiciel de traitement d'image global Mapper à fin de calé les cartes dans leur propre projection Figure 62.

Translation en X [m]	209.362198
Translation en Y [m]	87.816200
Translation en Z [m]	-404.619830
Rotation en X [sec]	-0.00461215
Rotation en Y [sec]	-3.47842207
Rotation en Z [sec]	-0.58048472
Correction sur le facteur d'échelle [ppm]	1.4547220

Figure 61 : Paramètre de passage de WGS 84 au Nord Sahara 59

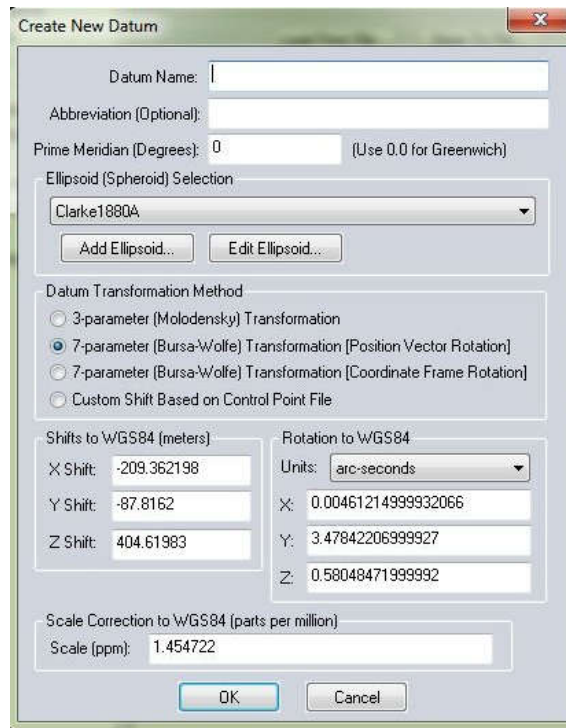


Figure 62 : création du projection logiciel Global Mapper

IV.7.4 Calage des cartes topographique

Géo référencement des cartes topographiques et réalisée avec logiciel Global Mapper 19. Figure 63

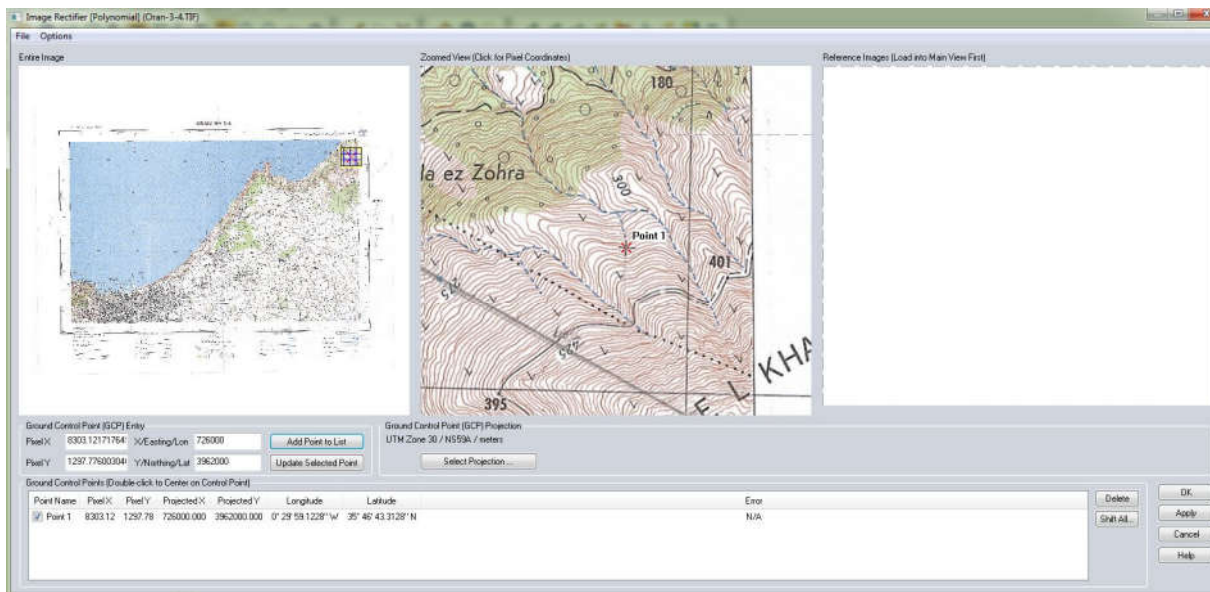


Figure 63 : calage des cartes topographiques

IV.7.5 Mosaïqué les cartes topographique 1/25000

Afin d'exploité toute la couverture de la région d'étude par les cartes topographiques la réalisation de la mosaïque est indispensable figure 64,65 et 66.

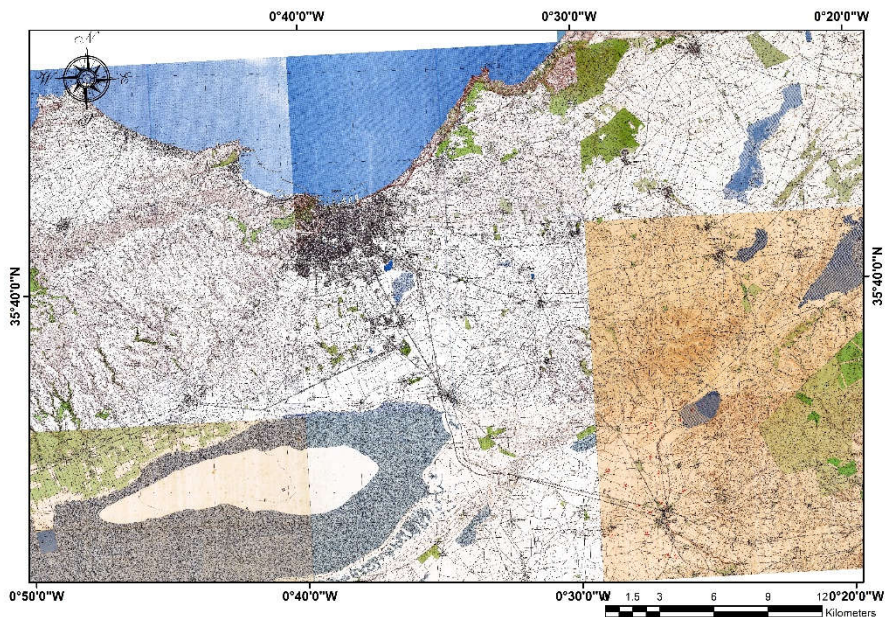


Figure 64: Mosaïque des cartes

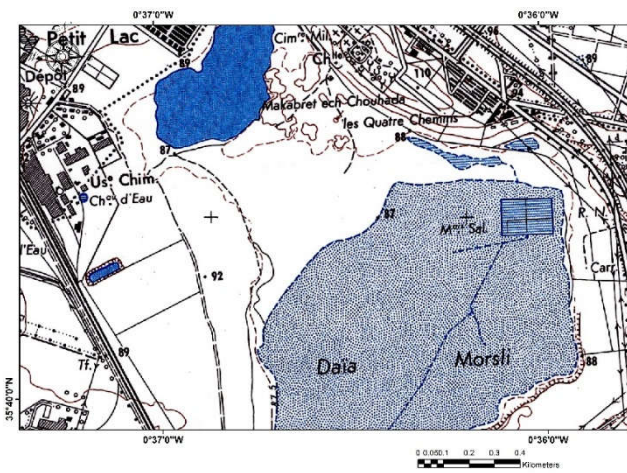


Figure 65 : Zoom sur la région de Dayet Morsli

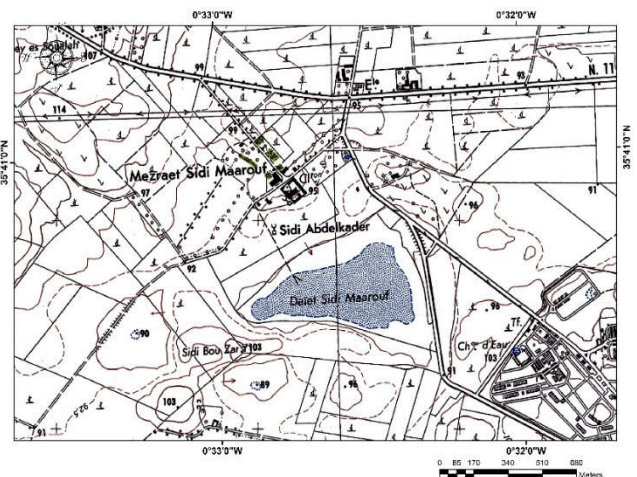


Figure 66 : zoom sur la région de dayet sidi marouf

IV.8 Réalisation de l'Atlas numérique des zones Humides de la région d'Oran

IV.8.1 Atlas des zones humides sous le système information géographique :

ZHumif-GIS est un système d'information géographique réalisé sous le langage C++ du RAD Studio 2010 avec le TatumGIS_DK. Il est conçu pour digitaliser efficacement les cartes d'emplacement requises par des directeurs de ressource naturelle. Une analyse spatiale de base peut être accomplie avec des fonctionnalités robustes de recherche et d'analyse de propriétés, et des cartes de haute qualité peuvent être imprimées ou sauvegardées en tant qu'images numériques.

Avec ZHumif-GIS, la création des données géographiques se traduit en localisation de points ou dessin de lignes vectorielles et d'entités surfaciques à l'écran. Les photographies aériennes et les données vectorielles préexistantes constituent généralement les fonds cartographiques de référence. ZHumif-GIS utilise également les données spatiales issues de sources telles que les unités de GPS, le géocodage de fichiers plats, les scanners, la télédétection, etc. qui sont dans les formats de vecteur et d'images supportés par le programme.

➤ Plateforme

Le logiciel est compatible avec tout les système d'exploitation 32 bits de MS Windows (WINDOWS 95/98/2000/NT/ME/XP). Le système est autonome. Aucun autre logiciel de SIG ou de DAO n'est exigé.

➤ Conditions (Mémoire, Processeur)

Les mêmes que les conditions du logiciel d'exploitation de MS Windows (bien que l'exécution soit plus souple avec au moins un processeur de 1 Gigahertz et 256 Mo de RAM). Figure 67

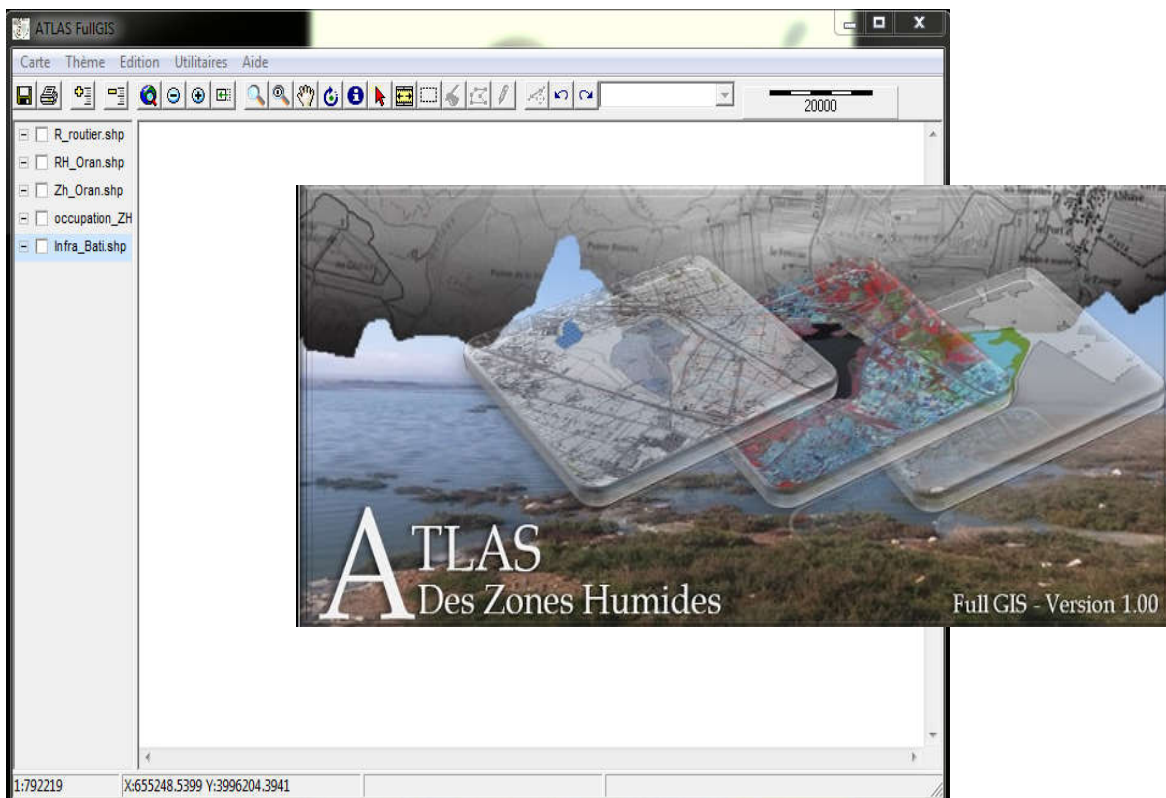


Figure 67 : interface graphique du logiciel ATLAS DES ZONES HUMIDES

IV.8.2 Atlas des zones humides sous Web mapping

la conception de la plateforme, ainsi que l'implémentation des différentes composantes de l'application, commence par l'intégration des données dans le SGBDR ainsi que le serveur cartographique utilisé. A la fin la réalisation d'interfaces de l'application.

IV.8.2.1 L'architecture proposée

L'architecture adoptée pour ce projet se compose de plusieurs éléments. le premier élément est un serveur de données postgresSQL et sa composante spatiale postGIS , le second élément est un serveur cartographique Geoserver qui publie la majorité des sources de données spatiales et a la fin l'intégration de la bibliothèque OpenLayers qui est une bibliothèque écrite en JavaScript qui permet de développer facilement et rapidement une interface cliente indépendante de tout serveur cartographique. Figure 68

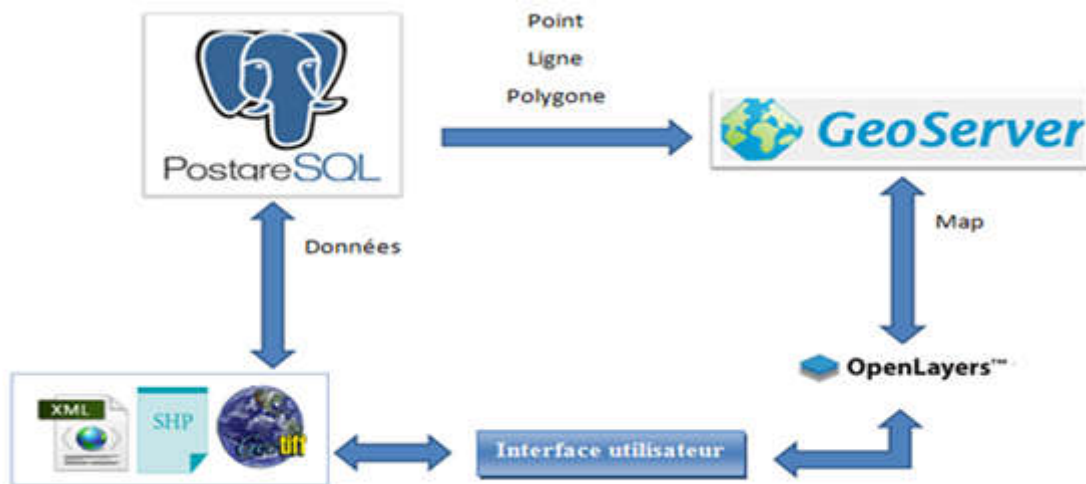


Figure 68: Architecture proposée

IV.8.2.2 Caractéristiques des données :

Pour bien structurer le SGBD, les différents fichiers n'ont pas été regroupés ensemble. Le système est par conséquent composé sous bases regroupant les cartes d'infrastructure (agglomération et réseaux routier), les réseaux hydrographiques, les cartes d'occupation du sol des zones humides (les salines d'Arzew , sebkha d'Oran , les lacs télamine et la marais de la macta) .

IV.8.2.3 La structuration de données :

La structuration des données nécessite la mise en œuvre d'une base de données spécifique capable de considérer les besoins géographiques. Pour se faire, on doit respecter quelques règles :



IV.8.2.4 Installation et configuration de serveur de données postgresql et postgis

La version 9.1 a été téléchargée à partir du site officiel du postgresQL puis installée avec la configuration suivante : Port : **5432** ; Nom d'utilisateur : **postgres** ; mot de passe : *********.

Après l'installation et la configuration de postgresQL, l'extension spatiale postgis version 2.0 a également été installée.

IV.8.2.5 Publication des données :

Le serveur cartographique est le guichet automatique auquel l'utilisateur fait appel pour afficher des cartes sur son poste informatique par le protocole de communication internet TCP/IP.

GeoServer est un serveur informatique open source et donc libre. Il permet aux utilisateurs de partager et de modifier des données géospatiales. Il publie la majorité des sources de données spatiales en utilisant des normes ouvertes. Figure 69

Pour des raisons de sécurité,
GeoServer exige une identification

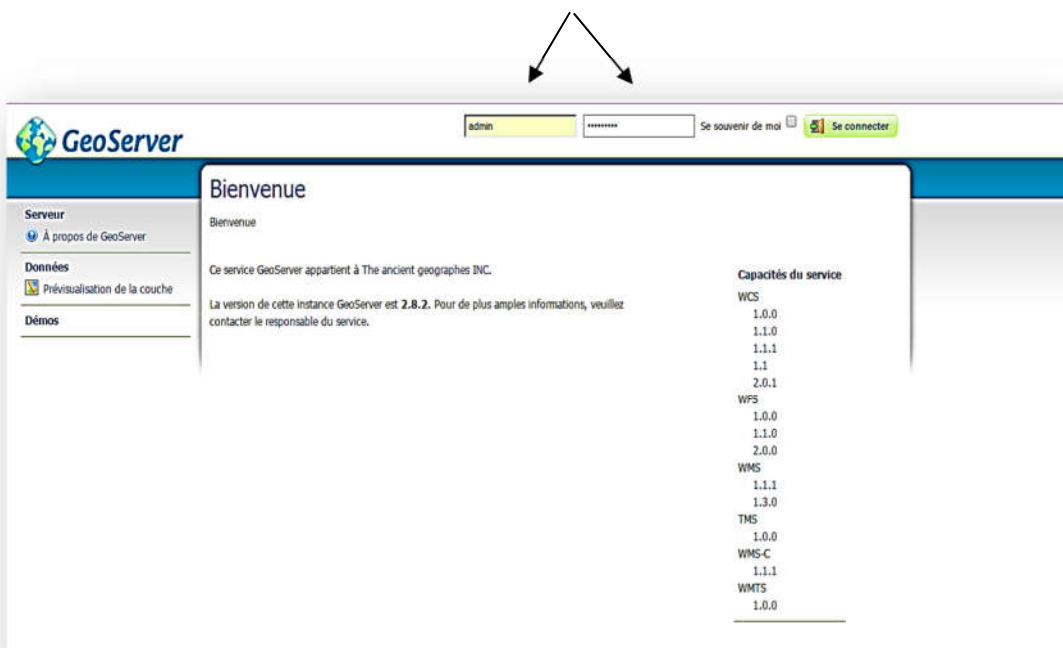


Figure 69 : interface Geoserver

V.1 Introduction

La télédétection permet d'améliorer considérablement les connaissances en matière d'inventaire, de délimitation, de caractérisation et exploitation des données sur des zones humides

L'Atlas des zones humides de la région d'Oran donne une vision de la connaissance. A noter toutefois que les régions est potentiellement riches en zones humides à forte valeur patrimoniale.

V.2 Réalisation du logiciel Atlas des zones Humides de la région d'Oran

Le Système d'Information géographique est un "système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, et l'affichage de données et cartes réalisé sur les zones humides Figures 70 et 71 .

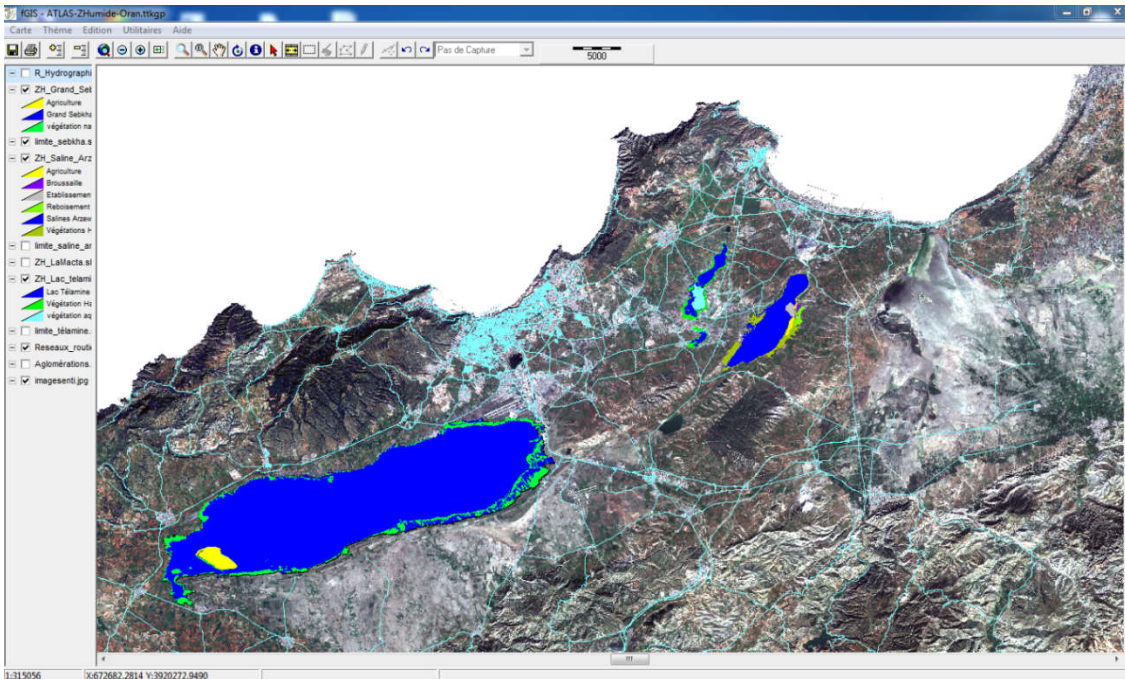


Figure 70 : Logiciel atlas des zones Humides

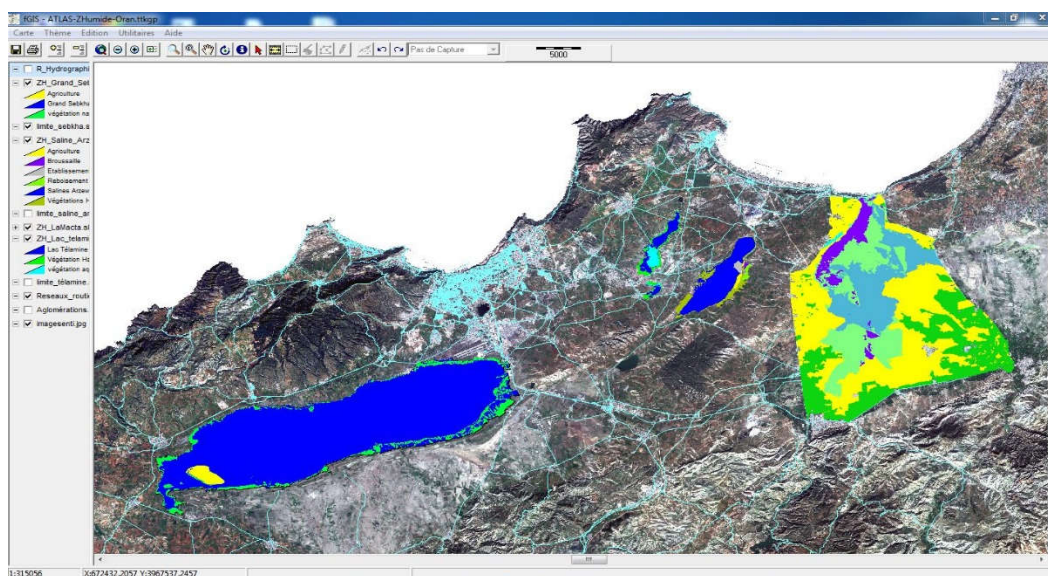


Figure 71 : Affichage des donnée sous le système

V.3 Développement de l'interface cartographique sous Web Mapping

V.3.1 Utilisation de l'API openlayers :

L'interface cartographique de notre application, est une fenêtre interactive qui offre la possibilité de naviguer entre les différents fonds cartographiques, ainsi que sur les différentes couches d'information. Ceci s'effectue à travers des services web cartographique comme les services WMS et WFS. Il est également à noter que cette interface a été développée en utilisant la bibliothèque Openlayers.

V.3.2 Description de l'interface cartographique interactive :

Cette interface est composée d'un étendu de la carte et des outils qui permettent de la manipuler. Le volet gauche représente les différentes couches (Vectorielles et Raster) ainsi que les légendes associées. Figures 72, 73 et 74



Figure 72 : interface cartographique interactive

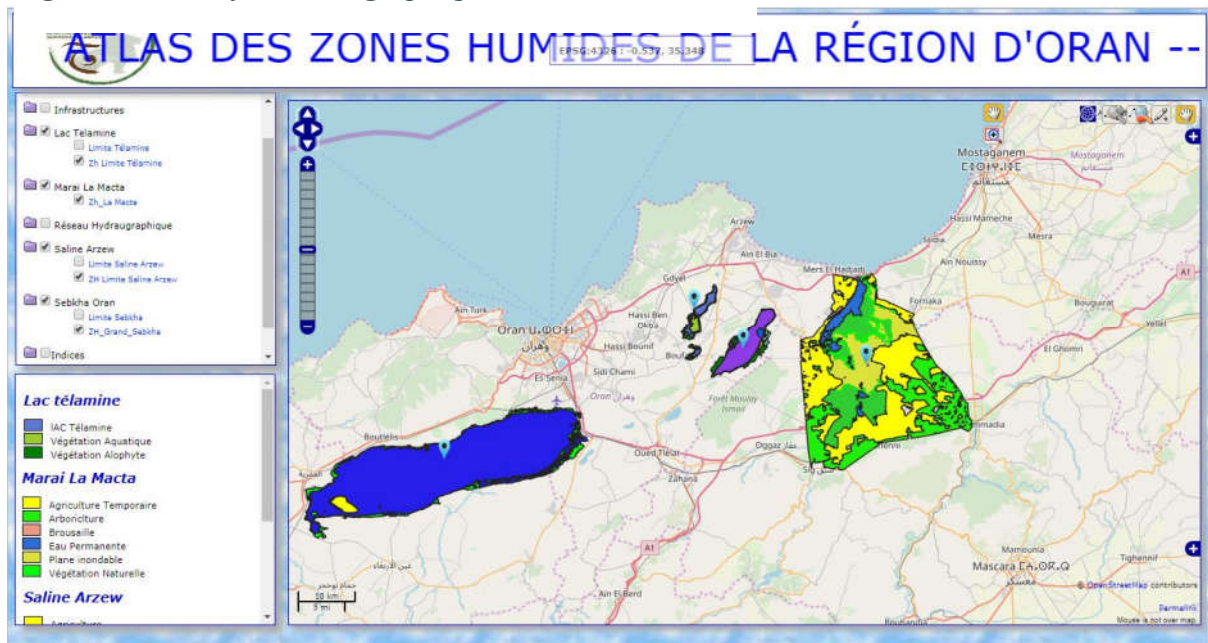


Figure 73 : Affichage des données vecteurs sous l'application (web mapping)



Figure 74 : Affichage des données Denombrement des oiseaux sous l'application (web mapping)

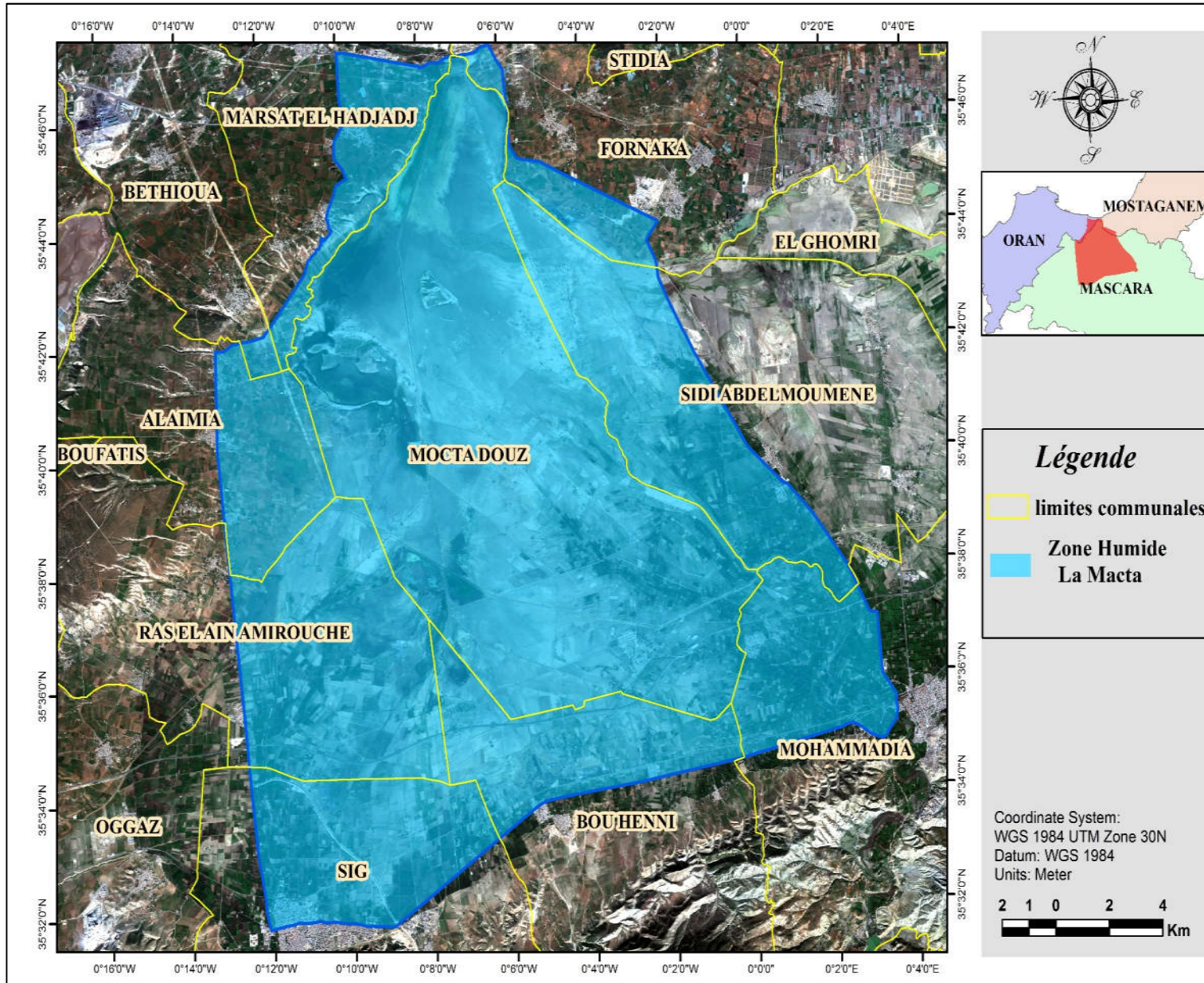


ZONE HUMIDE MARAIS DE LA MACTA



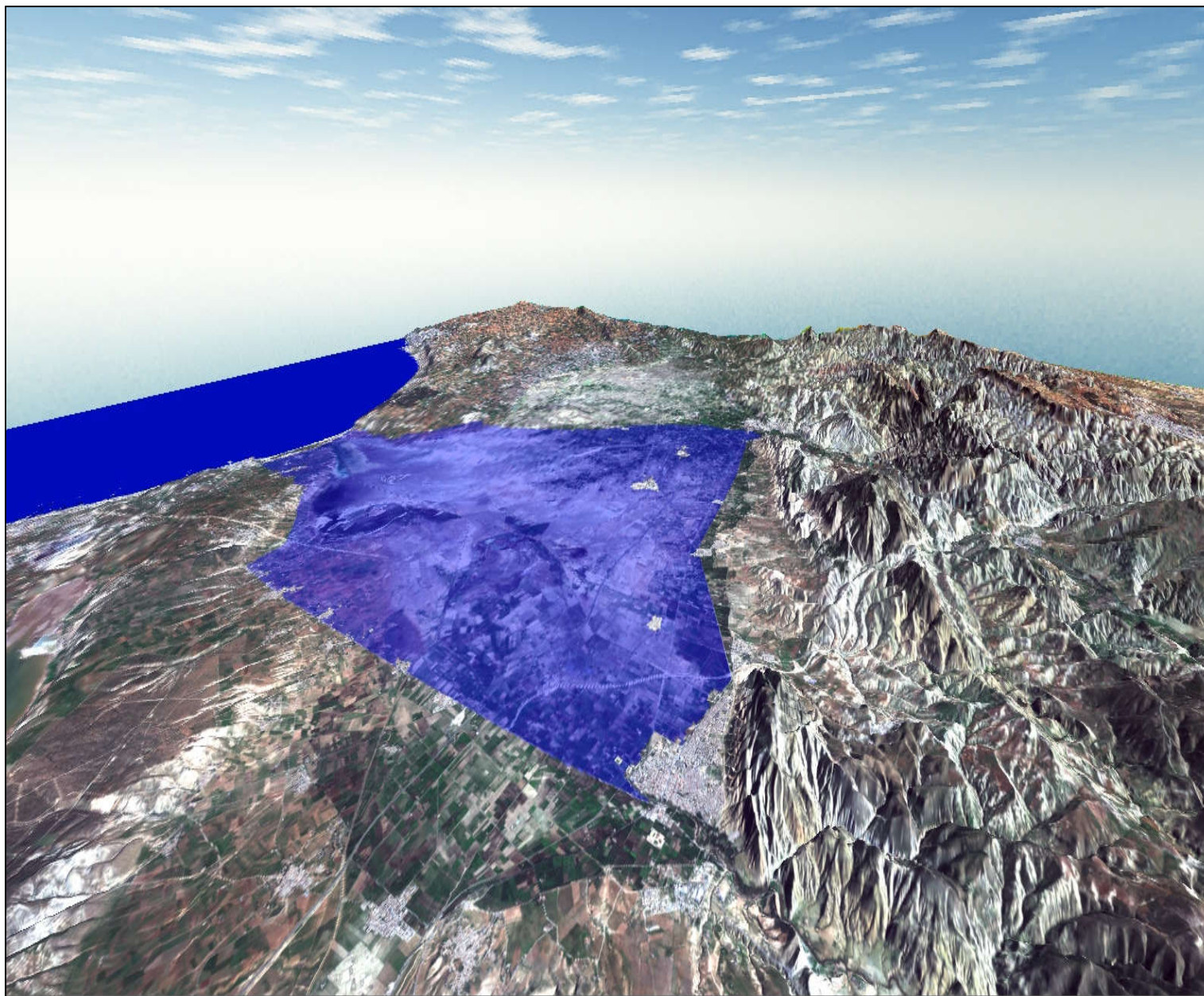
Carte situation géographique

La Plaine de la Macta est une dépression triangulaire séparée du golfe d'Arzew par un cordon dunaire bordé au Nord Ouest par le massif de la Sebkhia d'Arzew et au Nord Est par la retombée sud du plateau de Mostaghanem, la plaine de Sig et de l'Habra qui la prolonge s'élargit fortement dans le sens Est Ouest et atteint au sud les contreforts de l'Atlas Tellien les Monts de Ouled Ali et des Béni Chougrane à Mohammadia. Ces plaines reçoivent toute une série d'Oueds dont les plus importants sont, d'Ouest en Est l'Oued Sig, l'Oued Habra et l'Oued Tinn



La plaine de la Macta comporte à la fois des plans d'eau, des marais et des steppes plus ou moins humides situées en général en dessous de la cote des 9 m.

Les marais de la Macta se trouvent pour leur plus grande partie dans la wilaya de Mascara, le reste des territoires est partagé entre les wilayas de Mostaganem et Oran. Les marais sont localisés à 17 km de la ville de Mohammadia et à une cinquantaine de kilomètres à l'est d'Oran.

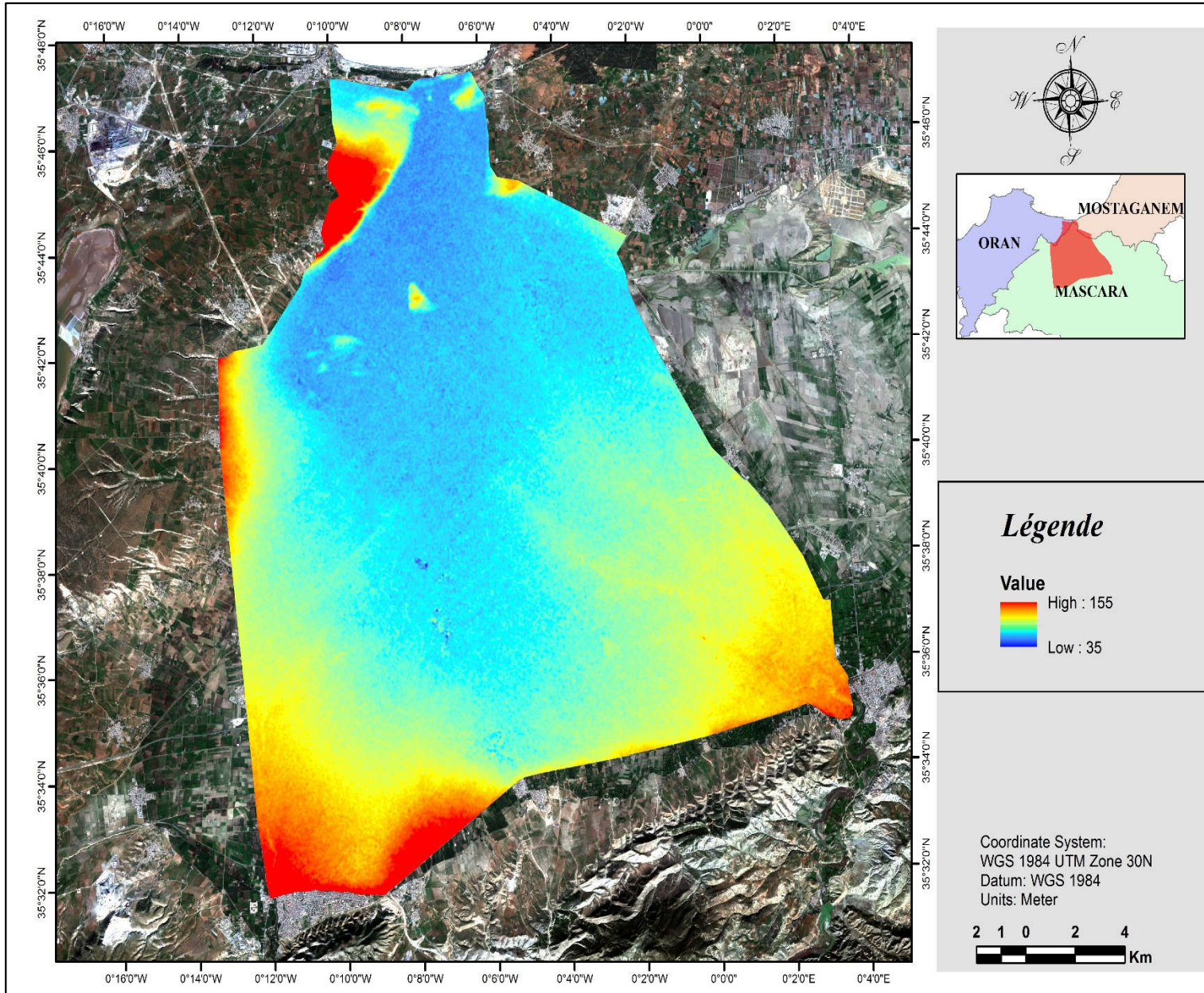


Carte Hypsométrique

La géomorphologie. Le relief conditionne largement la présence des zones humides.

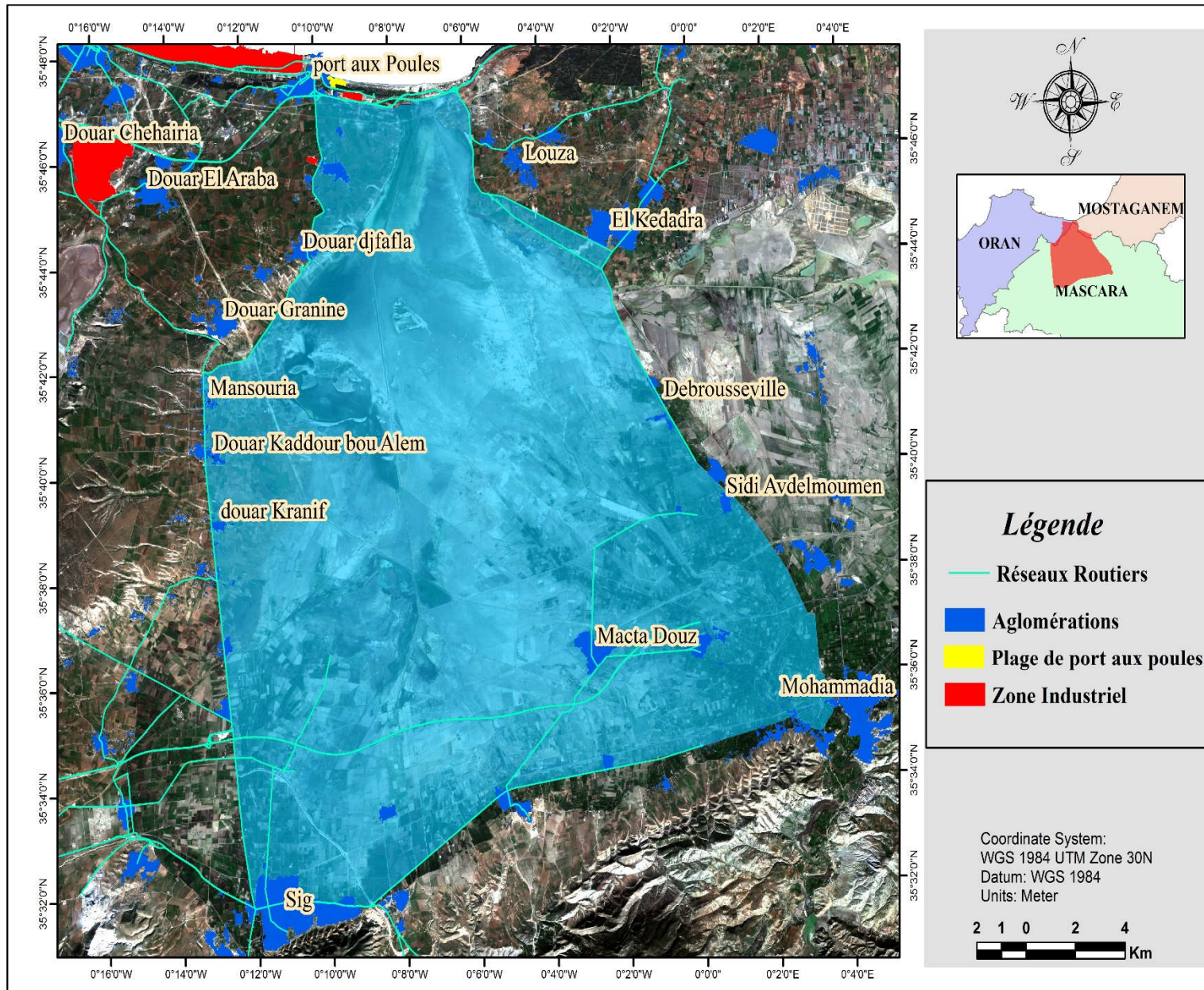
L'altitude du marais de la Macta varie entre 35 et 155m.

Cet zone est caractérisé par des pente varie entre 0 et 33 degrés avec une dominance des pentes Horizontales et subhorizontal. et des pentes très faible. Des pentes forts a coté du Douar djfafla



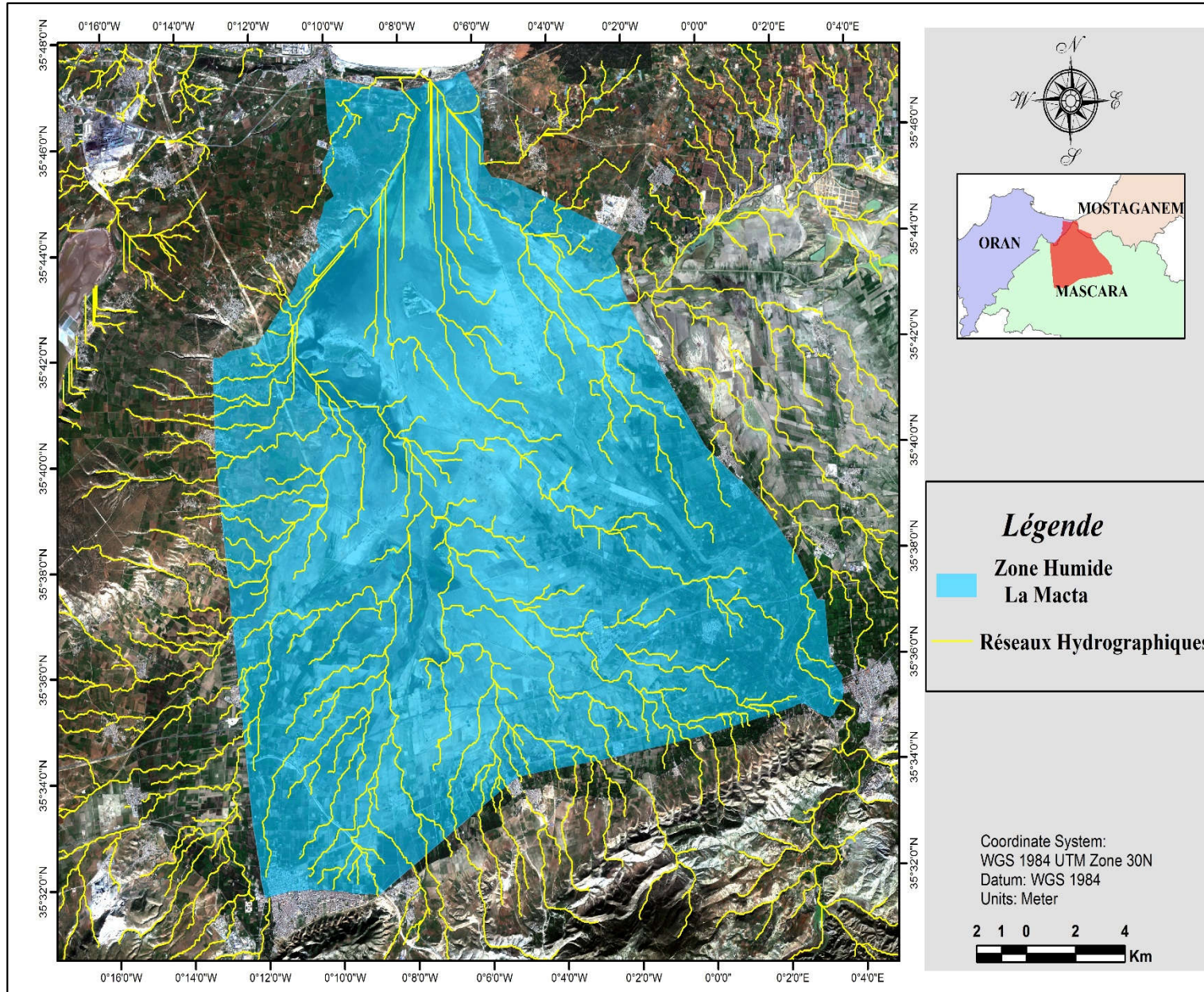
Carte Infrastructure

Le marais de la Macta et traversé par l'autoroute Est ouest, et à proximité Passent de nombreuses routes, nationales et de chemins wilaya comme la RN N°97, RN 4, RN17 et le CWN°82



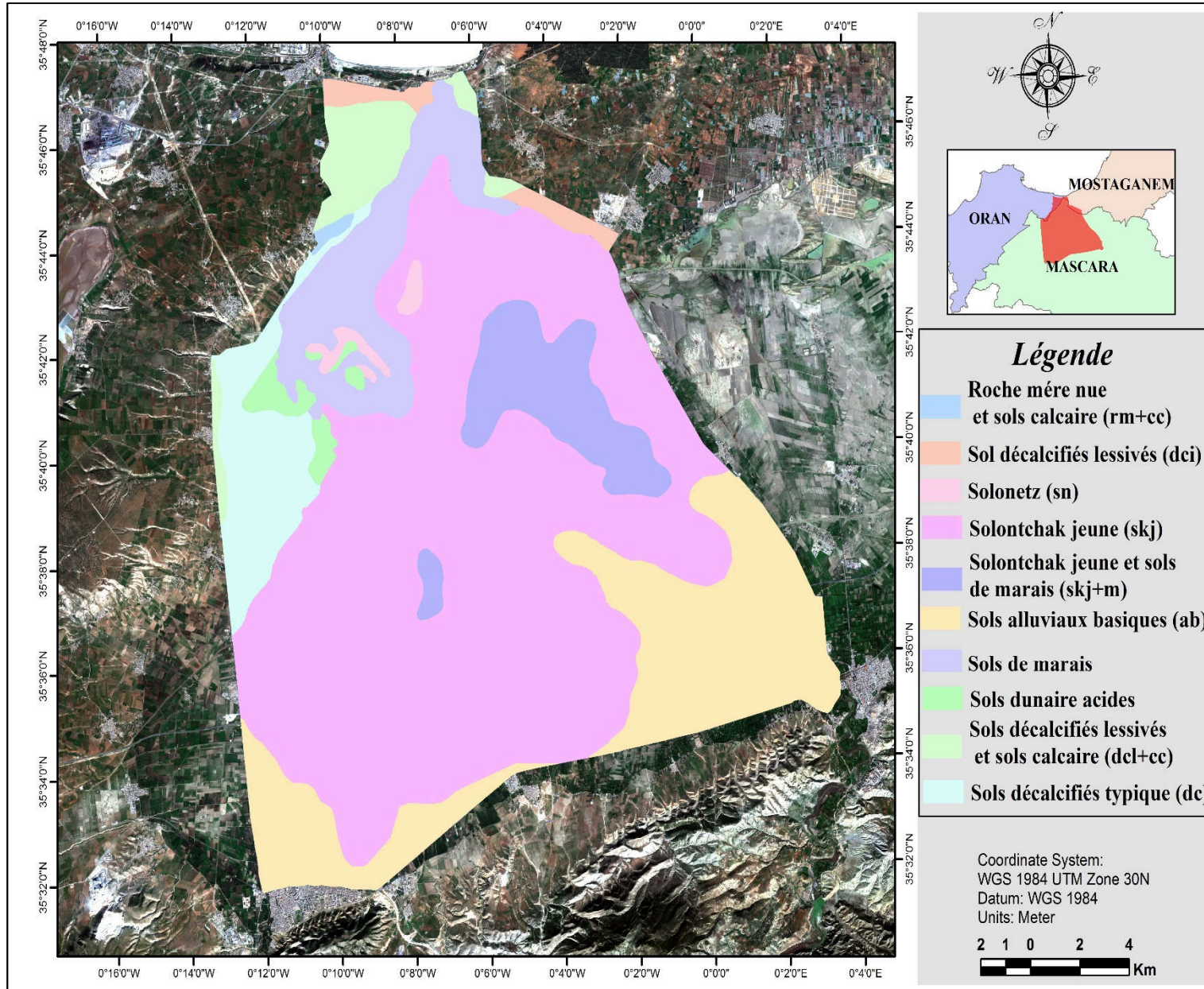
Carte du réseau hydrographique

Les marais de la Macta font partie du grand bassin versant de la Macta qui fait 1.368 677 ha, ils sont alimentés par trois oueds permanents, l'oued Tinn, l'oued Habra et l'oued Sig . Ce dernier alimente davantage la basse plaine que les deux autres qui sont partiellement canalisés jusqu'à la rivière Macta, de nos jours celle-ci se jette directement dans la Méditerranée. La situation topographique basse de cette plaine ne lui permet pas de drainer facilement les eaux de pluie ramenées par un réseau hydrographique dense, ce qui facilite une submersion de la partie nord où l'altitude est inférieure à 1 mètre



Carte pédologique

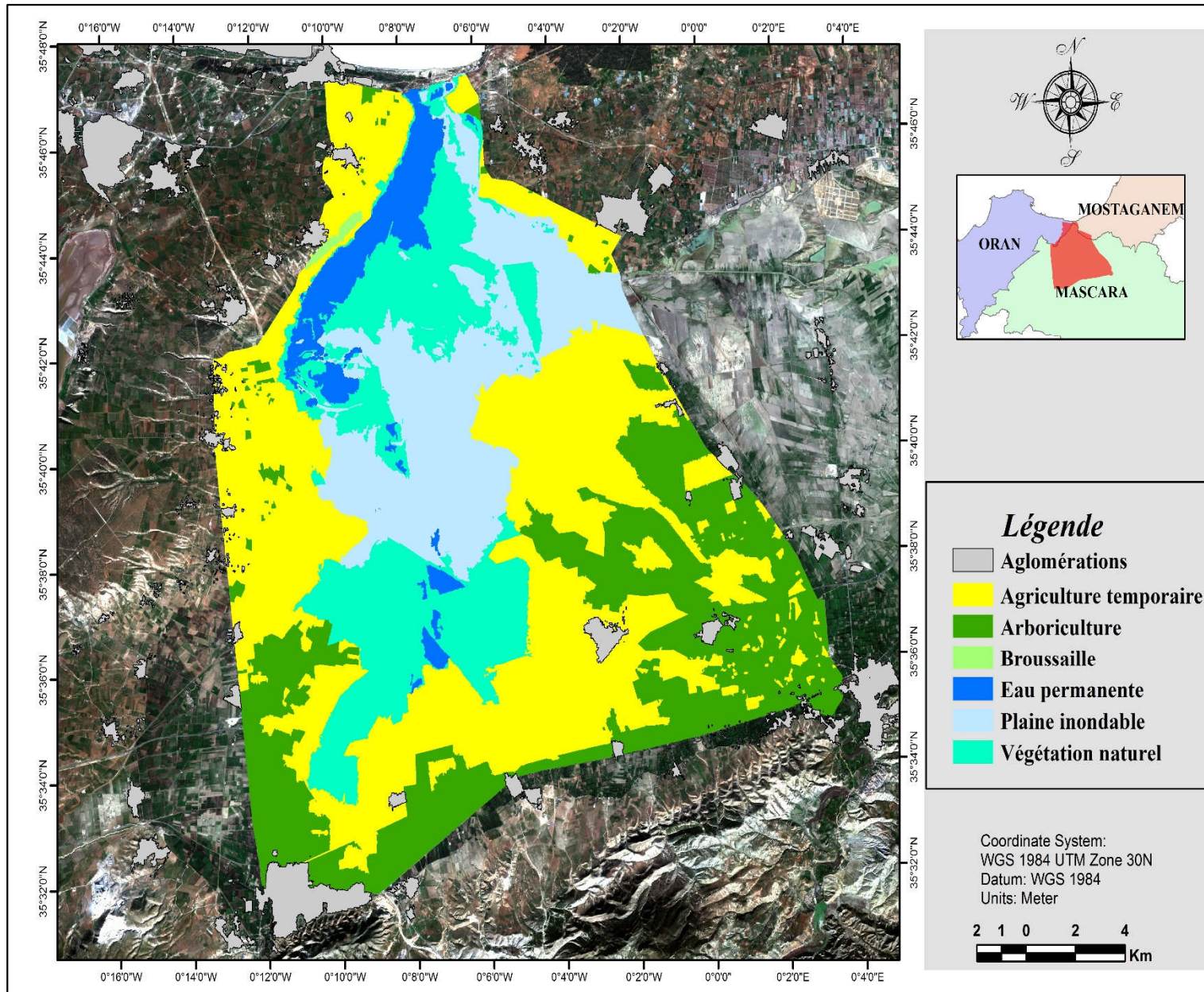
La plaine (dépression) de la Macta est occupée par des sols hydromorphes. Très argileux et donc imperméables, ces sols qui en occupent une grande partie, s'enfoncent profondément dans la plaine atteignant dans certains secteurs le piedmont nord des Béni Chougrane. Cette liaison s'effectue par des sols limono-argileux ou limoneux plus perméables et profonds, tandis qu'au Nord-est, dans la plaine des Bordjias, le contact s'effectue par des sols hydromorphes à encroûtement calcaire ou gypseux.



Carte d'occupation des sols

En termes d'occupation des sols il est possible de diviser l'aire d'étude en deux unités territoriales distinct, notamment une zone Nord et Centrale dominé par les espaces naturels, et une zone Sud ou prédomine les espaces agricoles.

On peut distinguer au niveau de la plaine plusieurs habitats, les zones humides qui sont constituées de marais et de basse plaine, des lacs de petites superficies ou sebkhass ainsi que des zones steppiques formées par des groupements végétaux halophiles, des zones boisées et enfin des zones cultivées.



Les marais de la Macta abritent une flore diversifiée représentée par des groupements de salsolacées annuelles considérées par Simmoneau comme étant rare au niveau de l'Afrique du Nord. On y retrouve selon ce même auteur *Salicornia europaea* qui est extrêmement rare en Afrique du Nord et en Algérie en particulier, ainsi que *Spergularia Doumerguaei*, endémique à l'Oranie littorale, qui n'a été rencontrée que dans 2 ou 3 localités, *Sueda maritima* forme rarement des peuplement aussi importants.



Atriplex halimus



Sueda fruticosa



Inula crithmoides



Salicornia fruticosa

Le groupement à *Scirpus maritimus* qui renferme de nombreuses espèces tels que *Ranunculus aquatilis*, *Rumex Crispus*, *Juncus subulatus* et *Juncus maritus*.

- Le groupement à *Scirpus maritimus* et *Juncus subulatus*.
- Le groupement à *Tamarix africana* et *Salsola oppositifolia*.
- Le groupement à *Atriplex halimus*.
- Le groupement à *Sueda fruticosa*.
- Le groupement à *Inula crithmoides*.
- Le groupement à *Salicornia fruticosa*.
- Le groupement à *Arthrocnemum macrostachyum*.

Dans les parties inondées poussent *Potamogeton pectinatus*, *Ruppia maritima* et

- Effectif total d'oiseaux d'eau observés..... 20 180
- Nombre d'espèces protégées..... 14
- Nombre d'espèces de gibier18



Canard souchet



Bécassine des marais

Espèces recensées

Famille ANATIDAE	
Canard souchet	4627
Canard Colvert.....	438
Canard Siffleur.....	3600
Fuligule milouin	2570
Fuligule nyroca	19
Sarcelle d'hiver	50
Sarcelle marbré.....	65
Tadorne de belon	2455
Erismature à tête blanche.....	01
Famille PODICIPEDIDAE	
Grebe castagneux.....	34
Grebe à queue noire.....	24
Grebe huppé.....	16
Famille SCOLOPACIDAE	
Chevalier aboyeur.....	03
Chevalier combattant.....	10
Barge à queue noire.....	08
Courlis cendré.....	04
Famille ARDEIDAE	
Aigrette garzette.....	19
Héron cendré	24
Famille RALLIDAE	
Foulque macroule.....	4762
Poule d'eau.....	04
Poule Sultate.....	02
Famille PHOENICOPTERIDAE	
Flamant rose.....	324
Famille LARIDAE	
Mouette rieuse.....	290
Goeland Argenté	400



Chevalier cul blanc

Famille CHARADRIIDAE	
Vanneau huppé.....	453
Gravelot à collier interrompu.....	350
Famille RECURVIROSTRIDAE	
Echasse blanche.....	242
Avocette	700
Famille ACCIPITRIDAE	
Busard des roseaux (harpay).....	03
Famille THRESKIORNITHIDAE	
Ibis Falcinelle.....	25
Famille PHALACROCORACIDAE	
Grand cormoran.....	12
Famille GRUIDAE	
Grue cendrée.....	20



Foulque macroule



Flamant rose

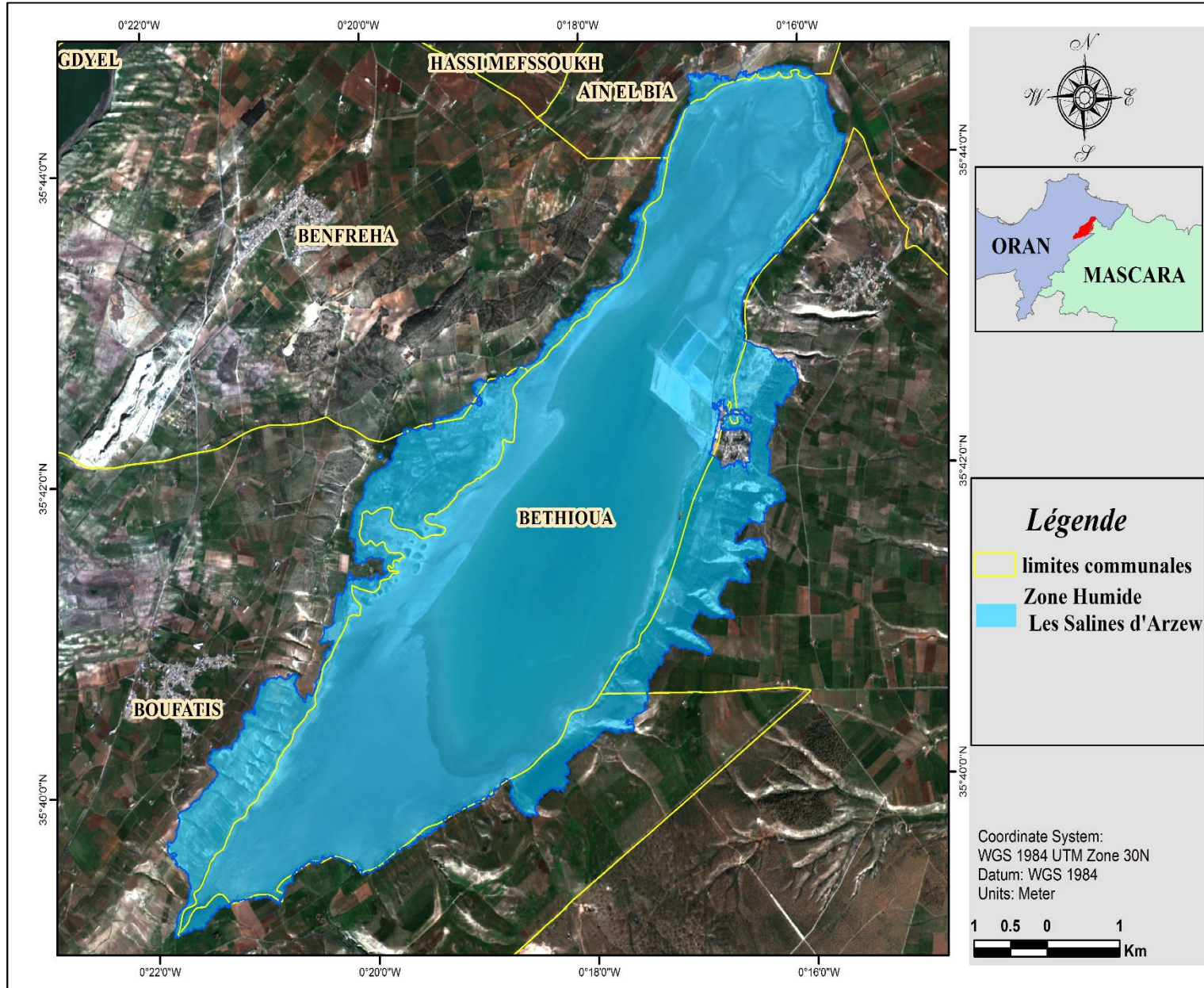
ZONE HUMIDE

LES SALINES D'ARZEW



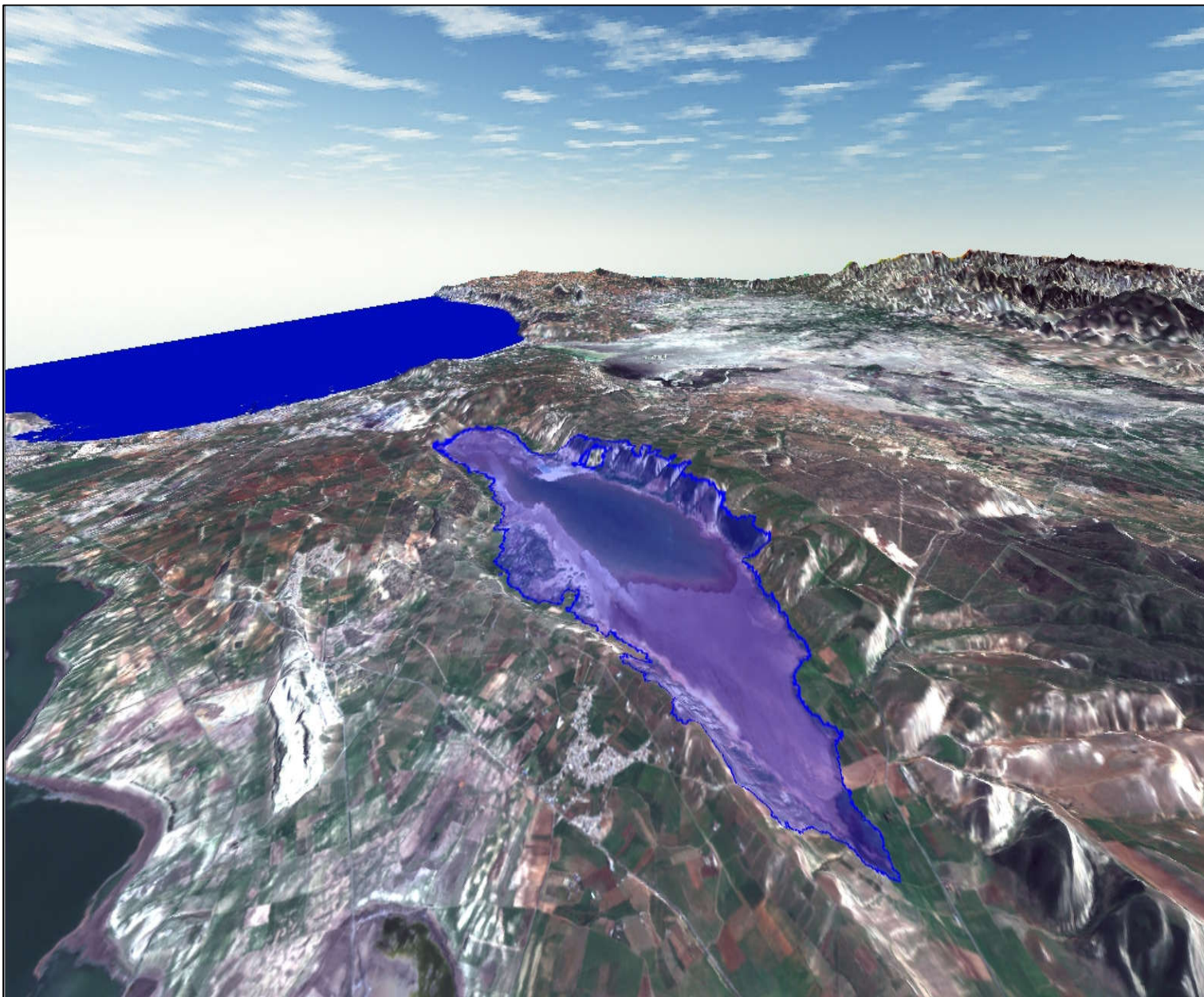
Carte Localisation géographique

Le site présente une physionomie monotone d'habitats peu diversifiés caractérisant en général les milieux salés, il fait partie du complexe de zones humides de l'ouest algérien qui englobe principalement la Sebkha d'Oran, les Marais de la Macta, le Lac Télamine, Dayet Oum El Ghellaz, Dayet Morsli et Dayet Bagra. Ces sites accueillent de grands effectifs d'oiseaux migrateurs qui les fréquentent soit pendant toute la période d'hivernage soit uniquement aux passages en migration vers des contrées plus au sud et servent également de lieux de nidification.



Indiquer dans quelle partie du pays et dans quelle(s) grande(s) région(s) administrative(s) elle se trouve ainsi que la localisation de la grande ville la plus proche.

Le site fait partie sur le plan administratif de la Wilaya d'Oran, Daïra de Bethioua et communes de Bethioua, Boufatis, Aïn Biya et Benfreha et de la wilaya de Mascara.

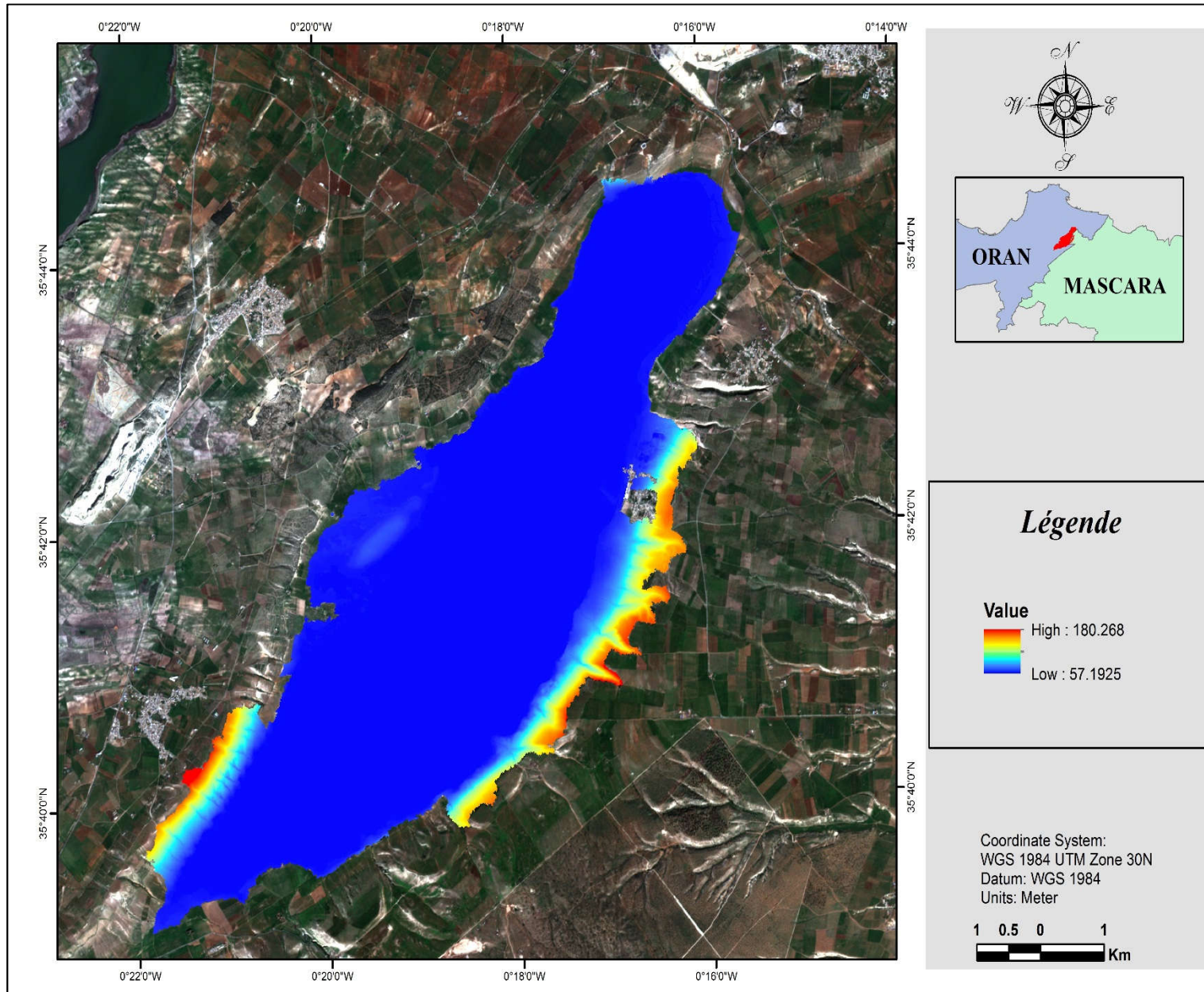


Carte Hypsométrique

La géomorphologie. Le relief conditionne largement la présence des zones humides.

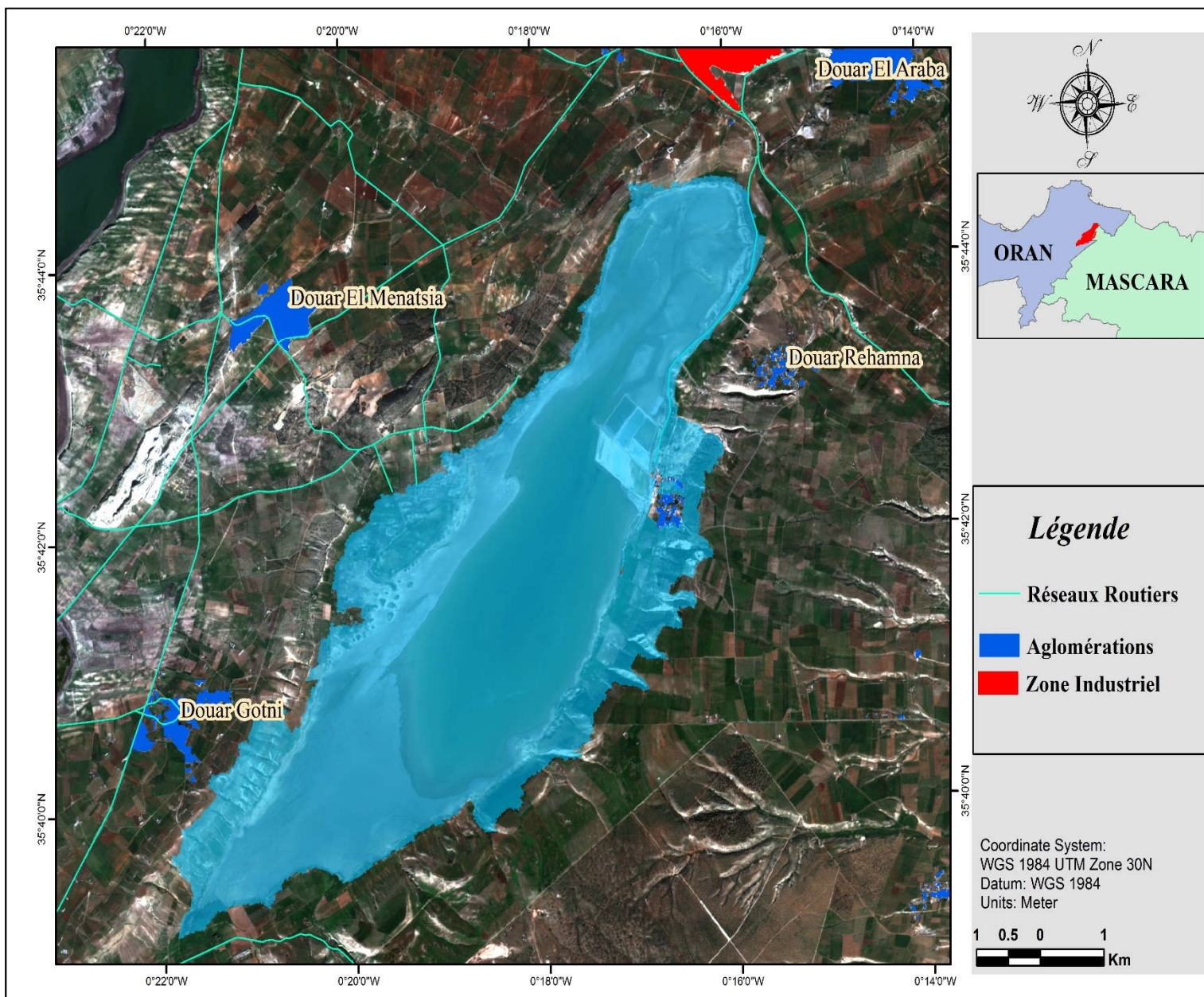
L'altitude des salines d'Arzew varie entre 57 et 180m.

Cet zone est caractérisé par une faible pente varie entre 0 et 38.42 degrés avec une dominance des pentes Horizontales et subhorizontal. et des pentes extrême sur les coté varie entre 24° et 35°.



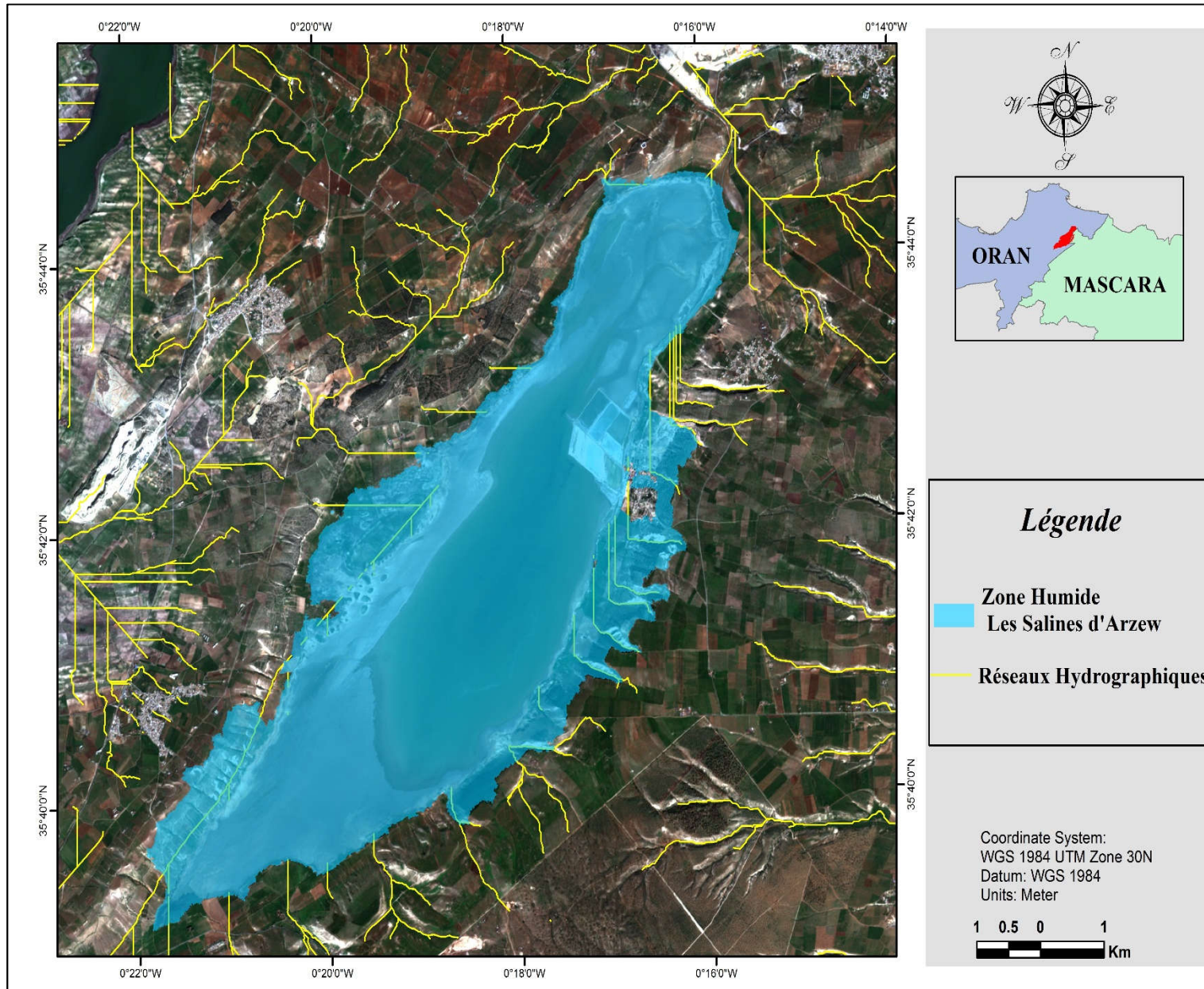
Carte Infrastructure

A proximité des salines d'Arzew passent de nombreuses routes, nationales et de wilaya comme la RN N°97, RN 13 et le CWN°41



Carte du réseau hydrographique

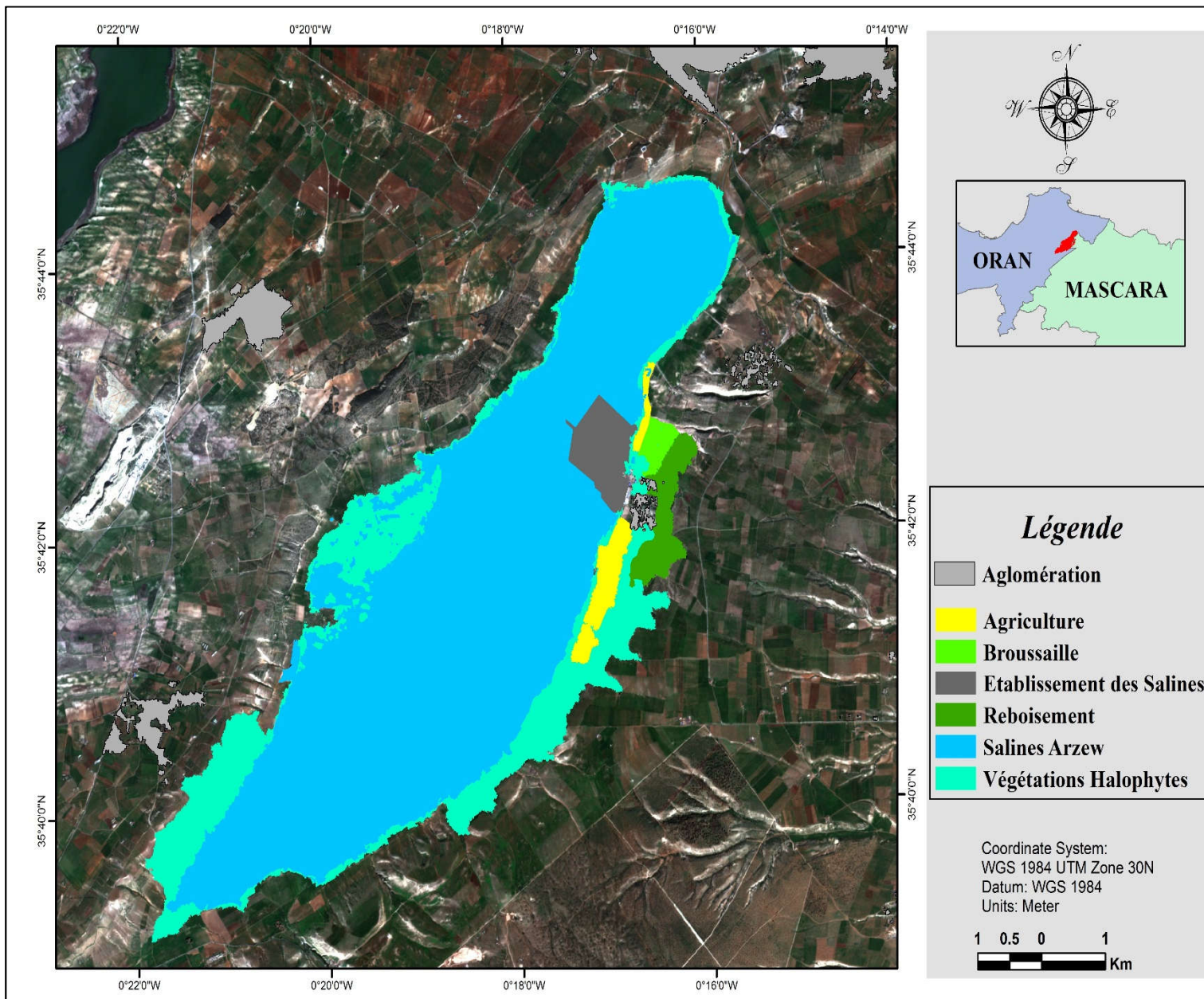
Le lac joue un rôle important dans la recharge, le renouvellement et l'alimentation des nappes phréatiques. Les eaux de ruissellement favorisant le captage des sédiments et la prévention contre l'érosion hydrique.



Carte d'occupation des sols

En termes d'occupation des sols il est possible de diviser les salines d'arzew en deux unités les salines notamment la partie centrale dominé et qui constitue la plaine inondable, et une zone entourent renferme de l'agriculture, la végétation halophytes broussaille et un espace reboisé.

Le site présente une physionomie monotone d'habitats peu diversifiés caractérisant en général les milieux salés



CHAPITRE V : RESULTAS ET DISCUSSIONS

La végétation naturelle halophyle, presque absente, est composée de touffes de *Chamaerops humilis* sur les talus, de *Juncus sp.*, *Sueda sp.* et de quelques sujets de *Tamarix sp.* sur les bords. Le plan d'eau est entouré par des cultures sur la majeure partie de son périmètre. Dans les endroits où débouchent les ruisseaux ou les rejets d'eaux usées du village voisin, se forment des vasières entourées d'une végétation herbacée. Sur les berges sèches on rencontre des sansouires, végétation salée inondée au gré des précipitations et couvertes de salicornes (*Salicornia sp.* et *Arthrocnemum sp.*) qui colonisent les terres immergées dès le retrait de l'eau.



Chamaerops humilis



Juncus sp



Tamarix



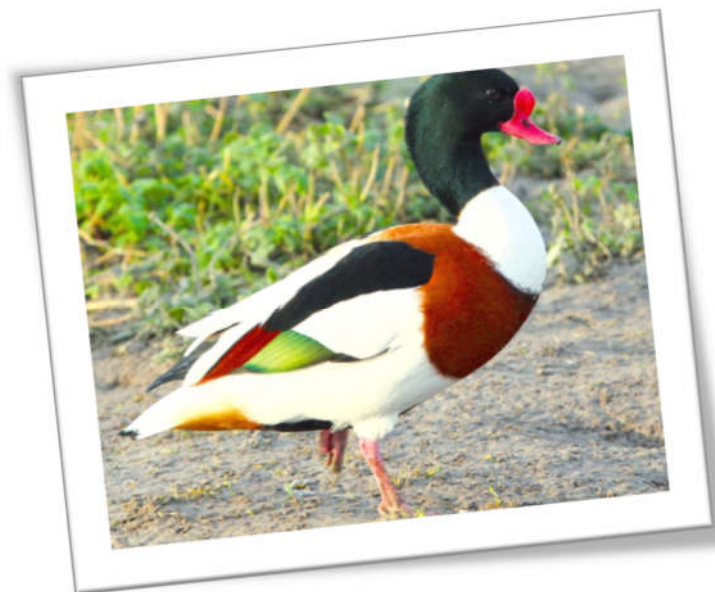
Salicornia sp

- Effectif total d'oiseaux d'eau observés..... 1206
- Nombre d'espèces protégées..... 02

- Espèces recensées
- Famille ANATIDAE
- Tadorne de belon1200
- Famille CHARADRIIDAE
- Gravelot à collier interrompu.....06



Canard souchet



Foulque macroule

ZONE HUMIDE LAC TELAMINE

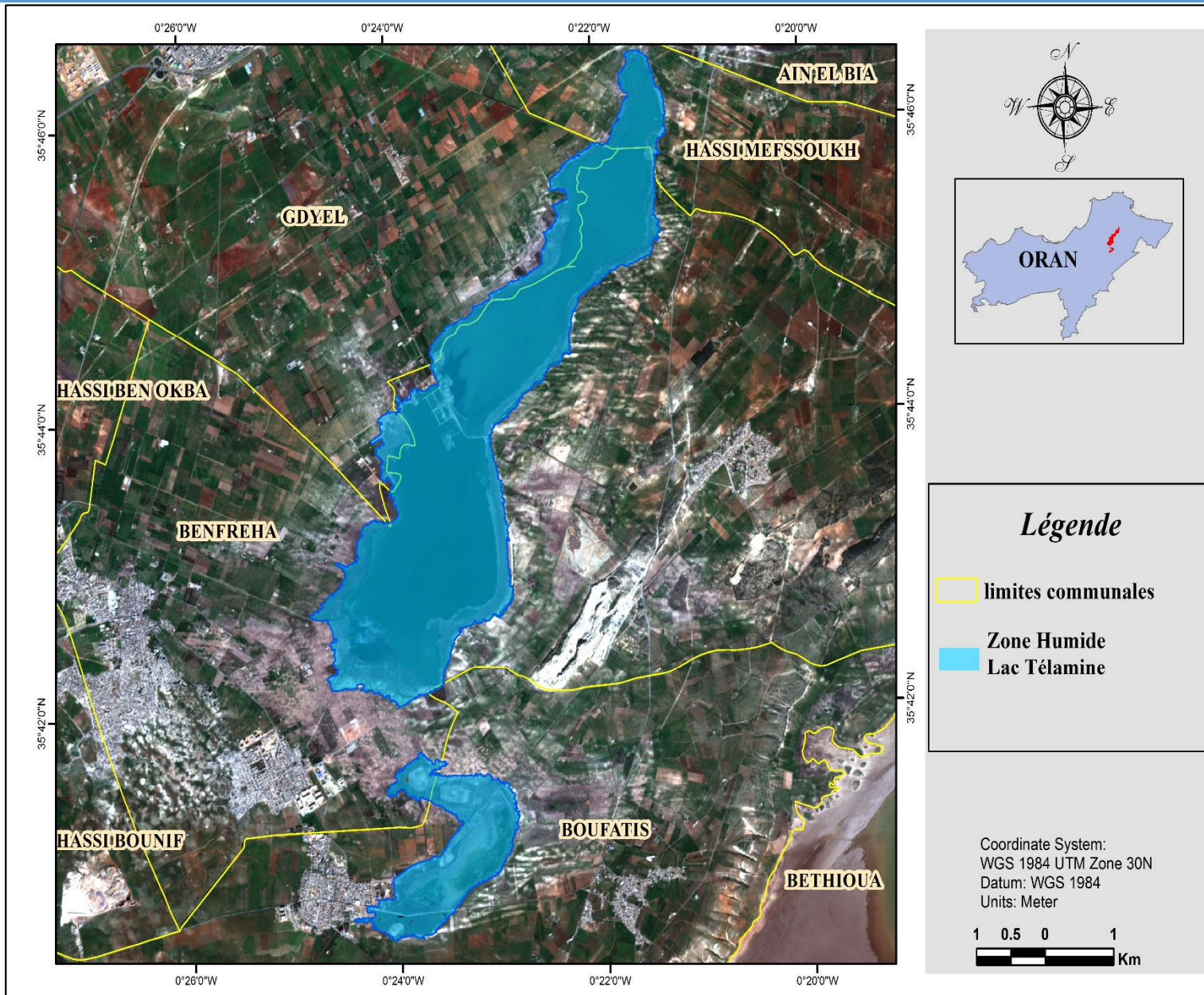


Carte Localisation géographique

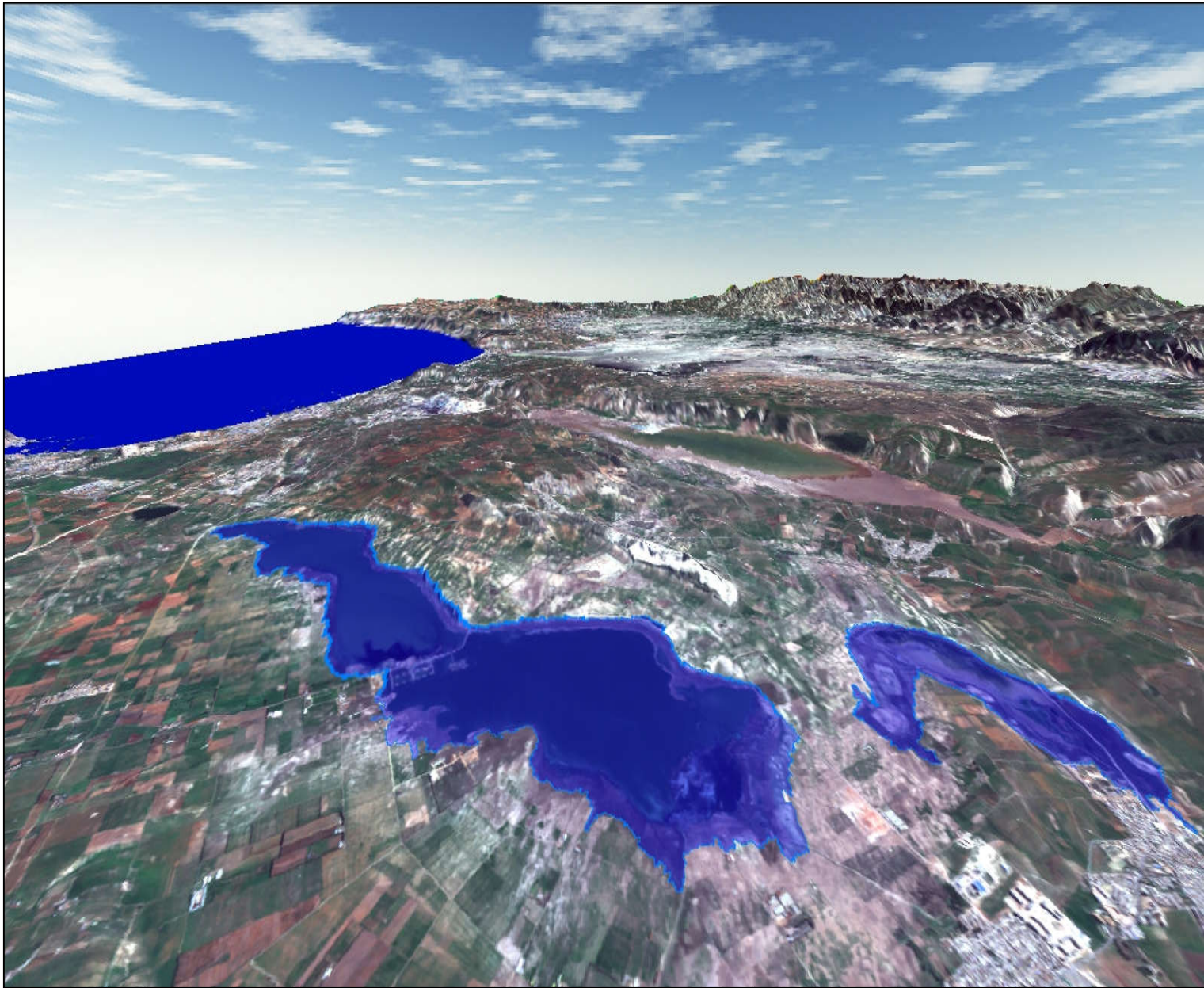
A une dizaine de kilomètres d'Oran, deuxième plus grande ville du pays, un lac salé, Télamine, est chaque année le théâtre d'une belle histoire naturelle : le regroupement de milliers de flamants roses

Le site fait partie sur le plan administratif de la Wilaya d'Oran, Daïra de Gdyel, communes de Gdyel et Ben Freha, lieu-dit Télamine.

Le lac de Telamine était constitué par deux mares, nettement séparées s'étendant sur 2399 ha.

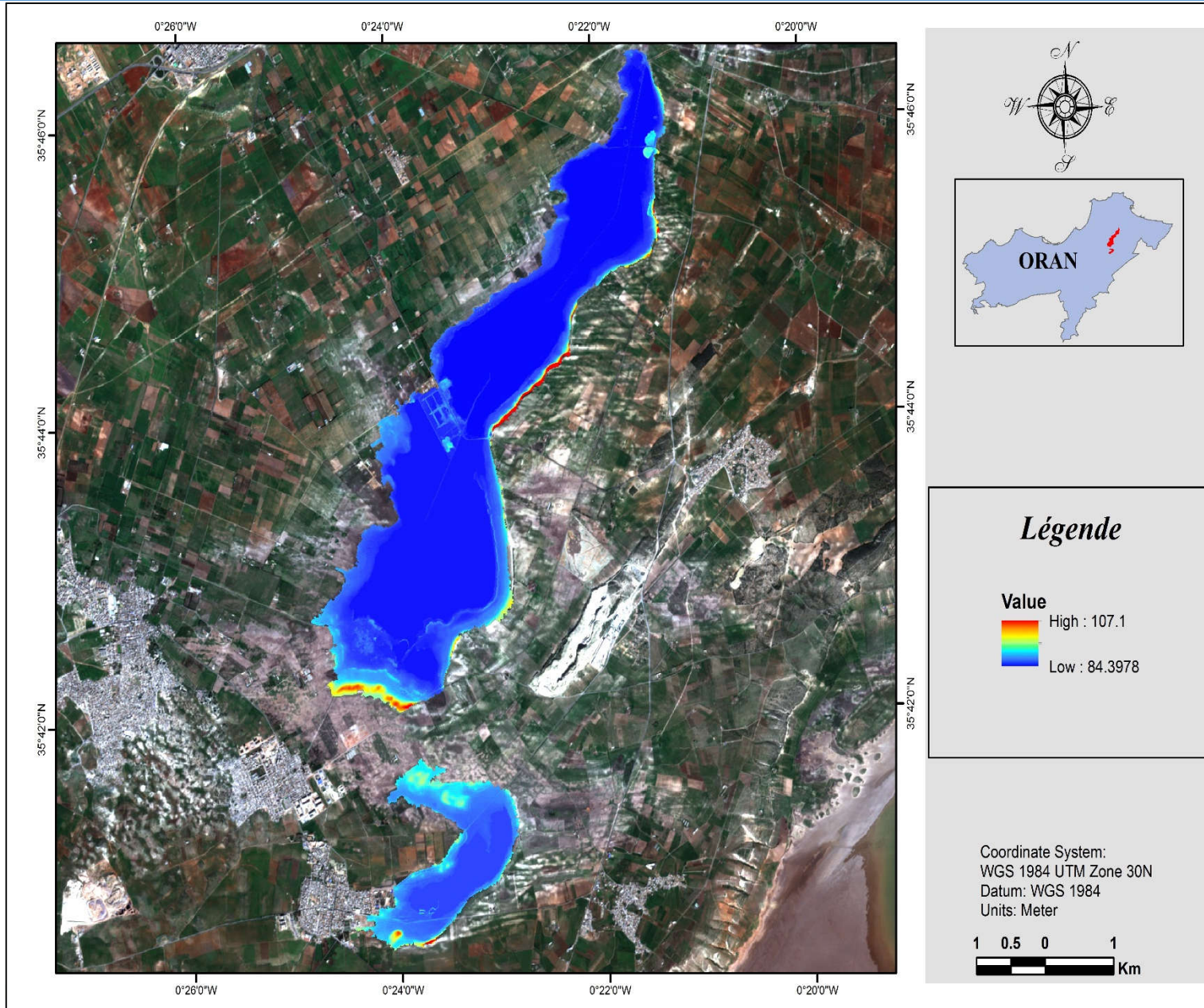


La dépression du lac de Telamine est le plus vaste bassin fermé du plateau d'Oran après celui occupé par la sebkha d'Arzew. Situé à l'est d'Oran à 84,50 m d'altitude,



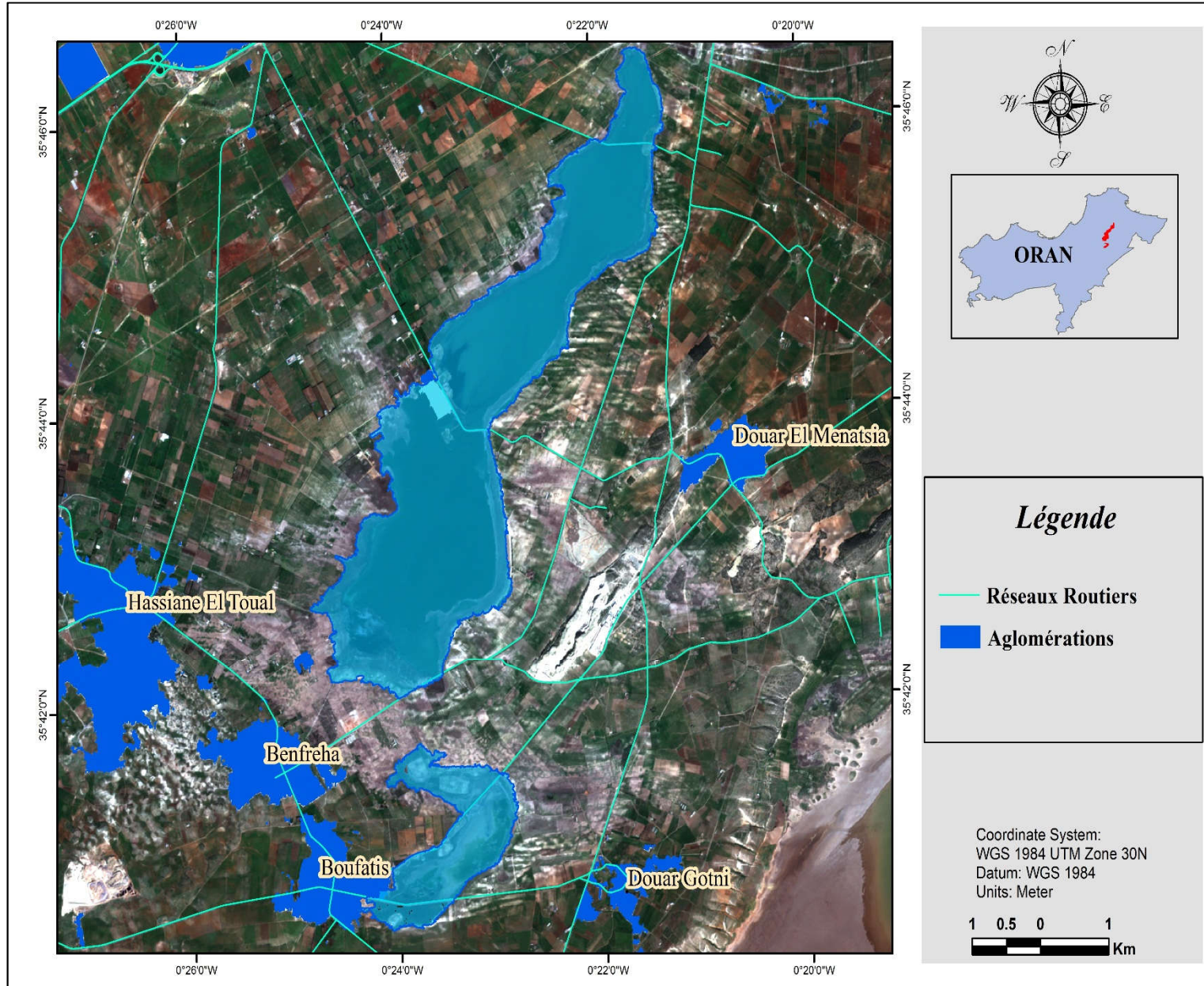
Carte Hypsométrique

Le lac occupe une dépression elliptique orienté SSO-NNE. Elle est creusée dans les poudingues . Le lac de Telamine est limité par : - A l'ouest et au Nord-Ouest par les hauteurs dominantes de 100m, les villages Boufatis et Benfreha, Hassiane Ettoual et Hassi – Benokba et par les contre forts méridionaux de la montagne des lions et du sahel d'Arzew. - A l'est par les collines 107.1 m séparant le lac des salines d'Arzew. - Au sud-ouest, par la petite bulle de l'ancien moulin de Hassiane Ettoual qui l'isole de la dépression de Hassi-Ameur. - Au nord, par un léger soulèvement qui, pour Tinthoin « parait avoir supprimé son ancienne communication avec la mer par les petites dayas R'dir el Akhal



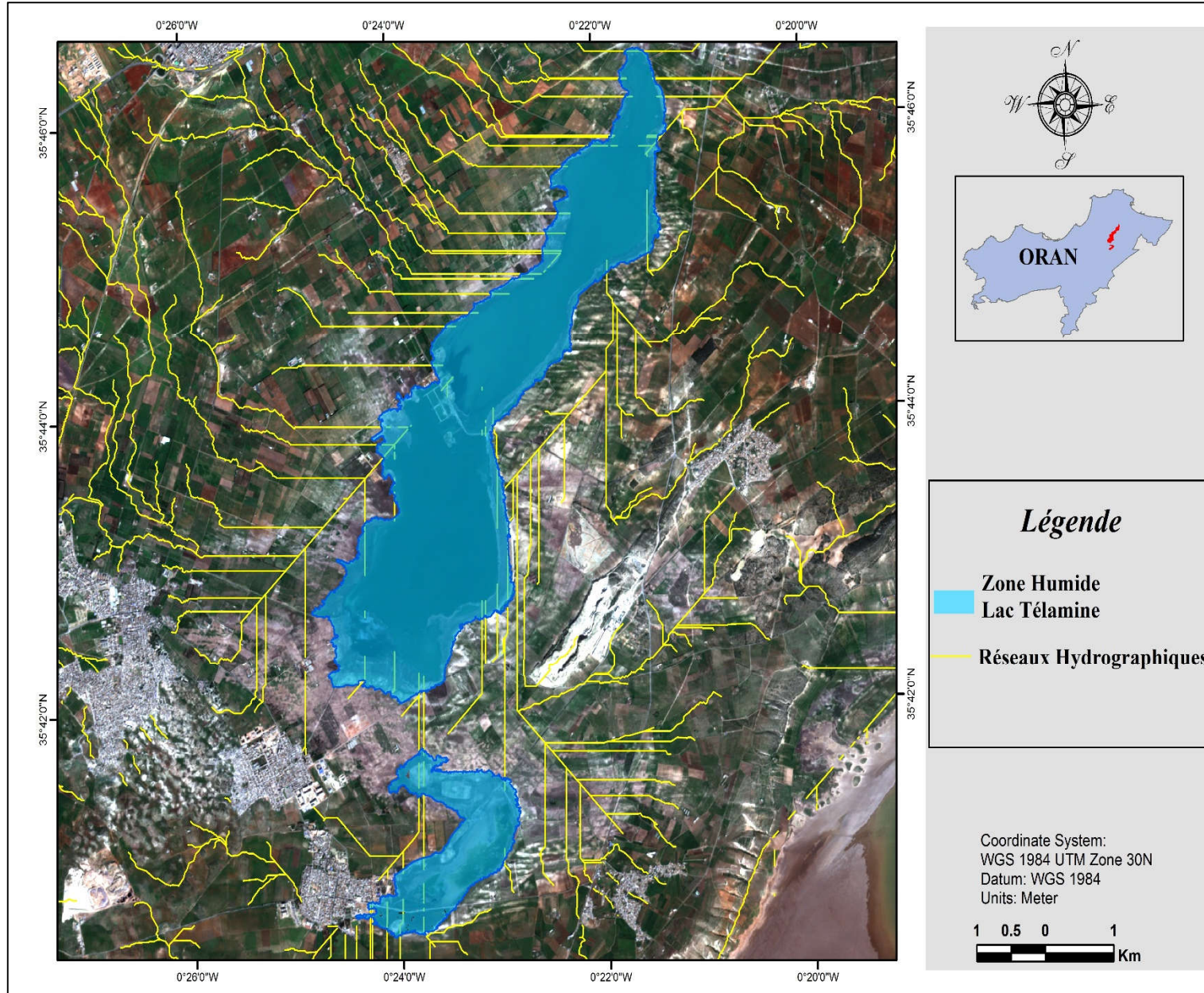
Carte Infrastructure

A proximité du lac de Télamine passent de nombreuses routes, nationales et de wilaya comme la RN N°13, RN 13 et le CWN°41 et traversé par le chemin wilaya N 27.



Carte du réseaux Hydrographiques

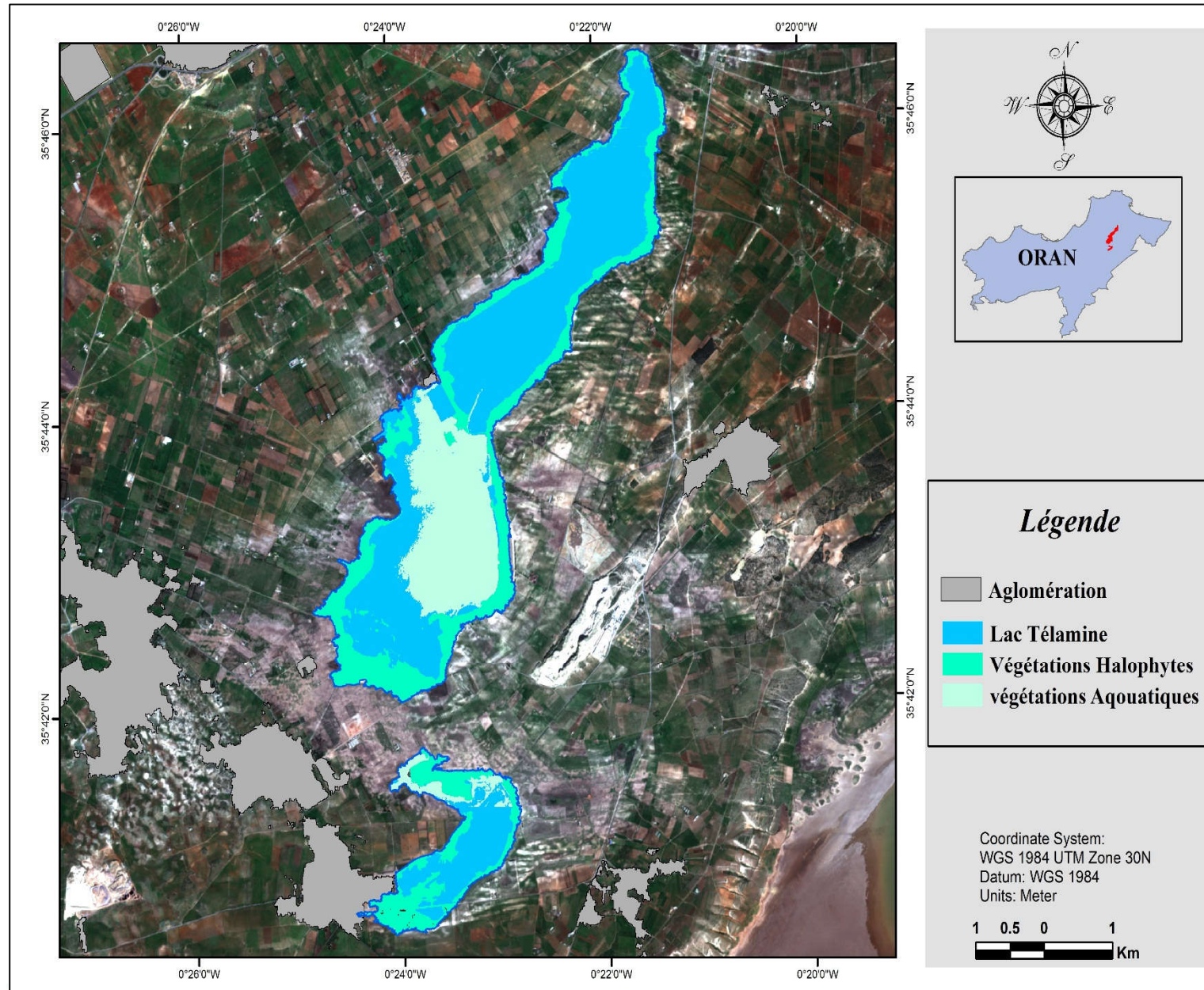
Composé d'amas éolien avec du gypse, le bassin versant a un débit de 10.000 mètres cubes dont l'eau est salée, temporaire. Le climat répond à l'étage bioclimatique semi-aride avec une pluviométrie annuelle comprise entre 300 et 400 mm et des T° avec 9° pour janvier, le mois le plus froid, et 32° en août, le mois le plus chaud.



Carte d'occupation des sols

Le Lac Télamine présente une physionomie d'habitats divers caractérisant en général les milieux salés dont la végétation naturelle est composée de plantes herbacées adaptées à la forte salinité du milieu

En décrit le site comme un plan d'eau entouré par des cultures céréalières parsemées d'oliviers sur la majeure partie de son périmètre. Sur les talus on retrouve des friches à chardons.



La végétation naturelle est composée de plantes herbacées adaptées à la forte salinité du milieu. Il s'agit de sansouires caractérisées par la salicorne (*Salicornia* sp.), une plante halophile dont les taux de recouvrement atteignent 100% en certains endroits.

Le plan d'eau est entouré par des espèces tel que Coussinet d'Arthrocnemum, Glaucun, Tamarix, et *Juncus acutus*



Juncus acutus



Tamarix



Salicornia fruticosa

- Effectif total d'oiseaux d'eau observés..... 22031
- Nombre d'espèces protégées..... 11
- Nombre d'espèces de gibier12

Espèces recensées

Famille ANATIDAE

Canard souchet1010

Canard Colvert..... 111

Canard Siffleur.....1460

chipeau95

Sarcelle d'hiver80

Tadorne de belon880

Famille PODICIPEDIDAE

Grèbe castagneux.....10

Grèbe a cou noir06

Famille SCOLOPACIDAE

Chevalier Aboyeur.....04

Chevalier Arlequin 80

Famille ARDEIDAE

Aigrette garzette.....20

Héron Cendré74

Héron Garde - Bœufs.....82

Famille PHOENICOPTERIDAE

Flamant rose.....16.350

Famille LARIDAE

Mouette rieuse.....350

Goéland Argenté.....950

Famille CHARADRIIDAE

Grand Gravelot120

Gravelot à collier interrompu..... 150

Famille RECURVIROSTRIDAE

Echasse blanche.....122

Famille ACCIPITRIDAE

Busard des roseaux (harpay).....06

Famille THRESKIORNITHIDAE

Ibis Falcinelle.....18

Famille BURHINIDAE

Oeudicneme criard.....06

Famille CICONIIDAE

Cigogne Blanche47



Tadorne de belon



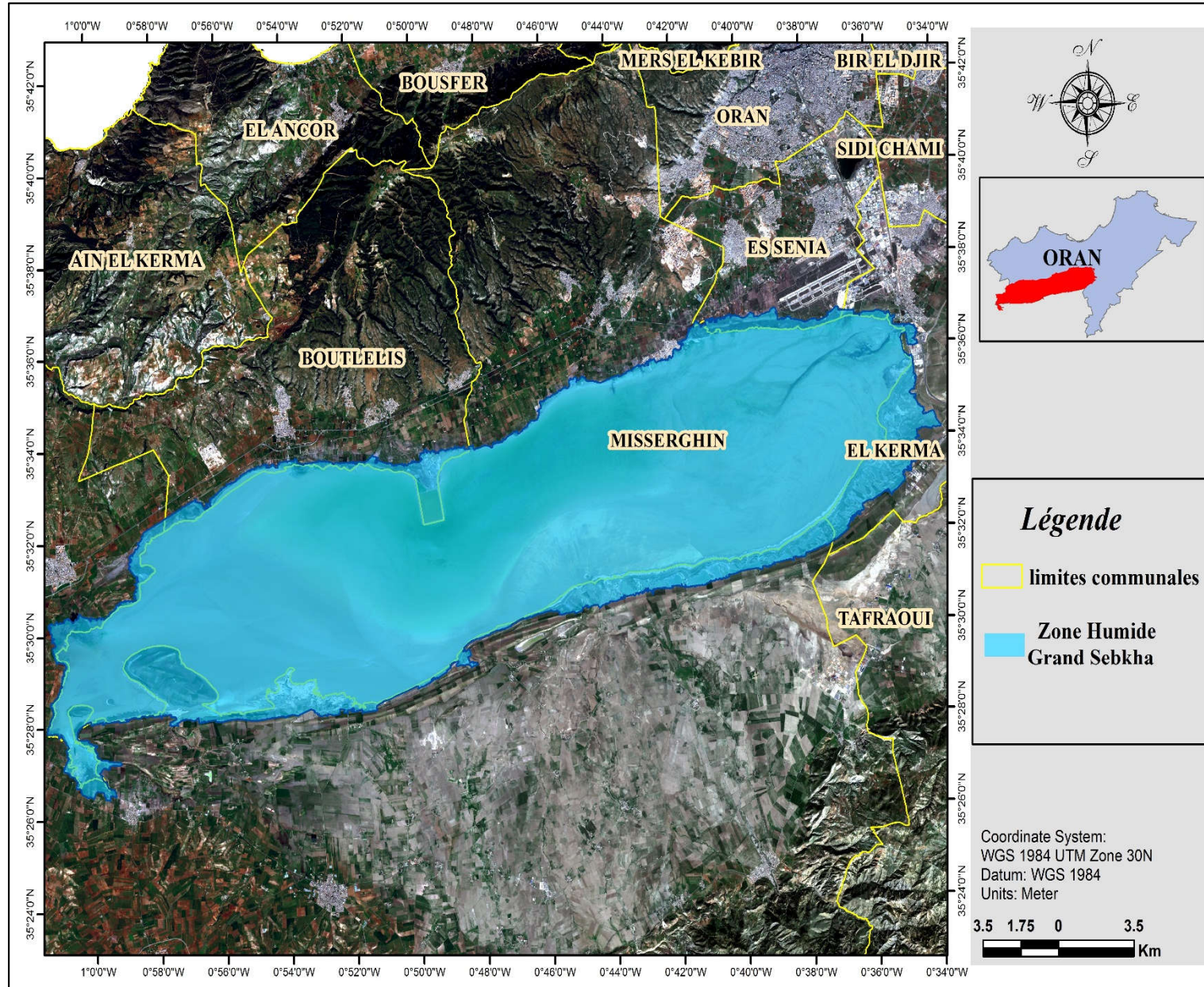
Flamant rose

ZONE HUMIDE GRAND SEBKHA

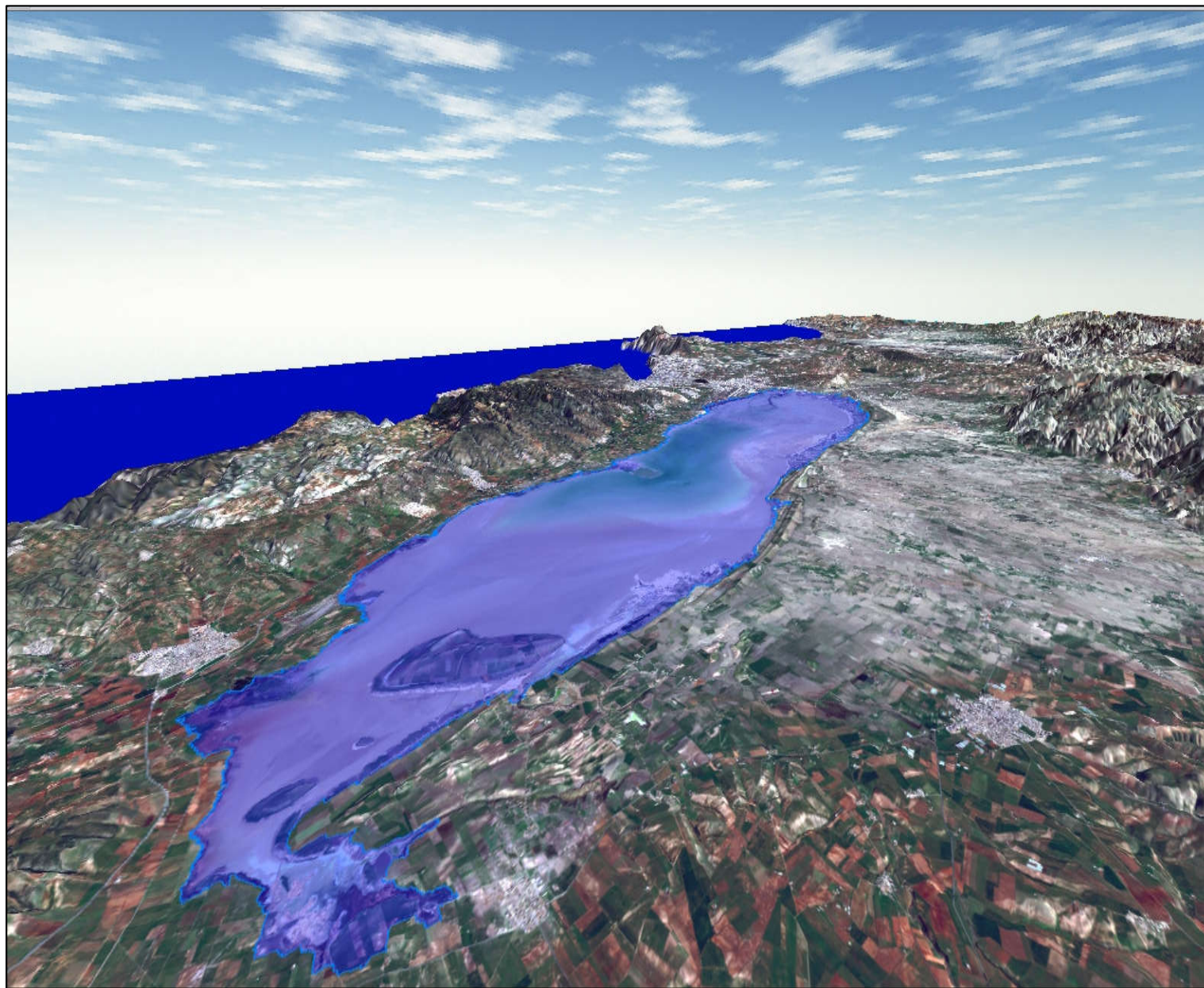


Carte Localisation géographique

La sebkha d'Oran qui s'étend au sud d'Oran à 110 mètres d'altitude, est une dépression fermée, limitée au Nord par le massif du Mardjadjo dont l'altitude maximale est de 589 mètres, au Sud par le massif de Tessala dont l'altitude maximale est de 1061 mètres. Les alluvions ont nivelé le fond de cette dépression à 80 mètres avec une légère dissymétrie dans la partie orientale. La Sebkha est alimentée par les eaux de ruissellement du bassin hydrographique, l'eau de cette zone humide est salée.

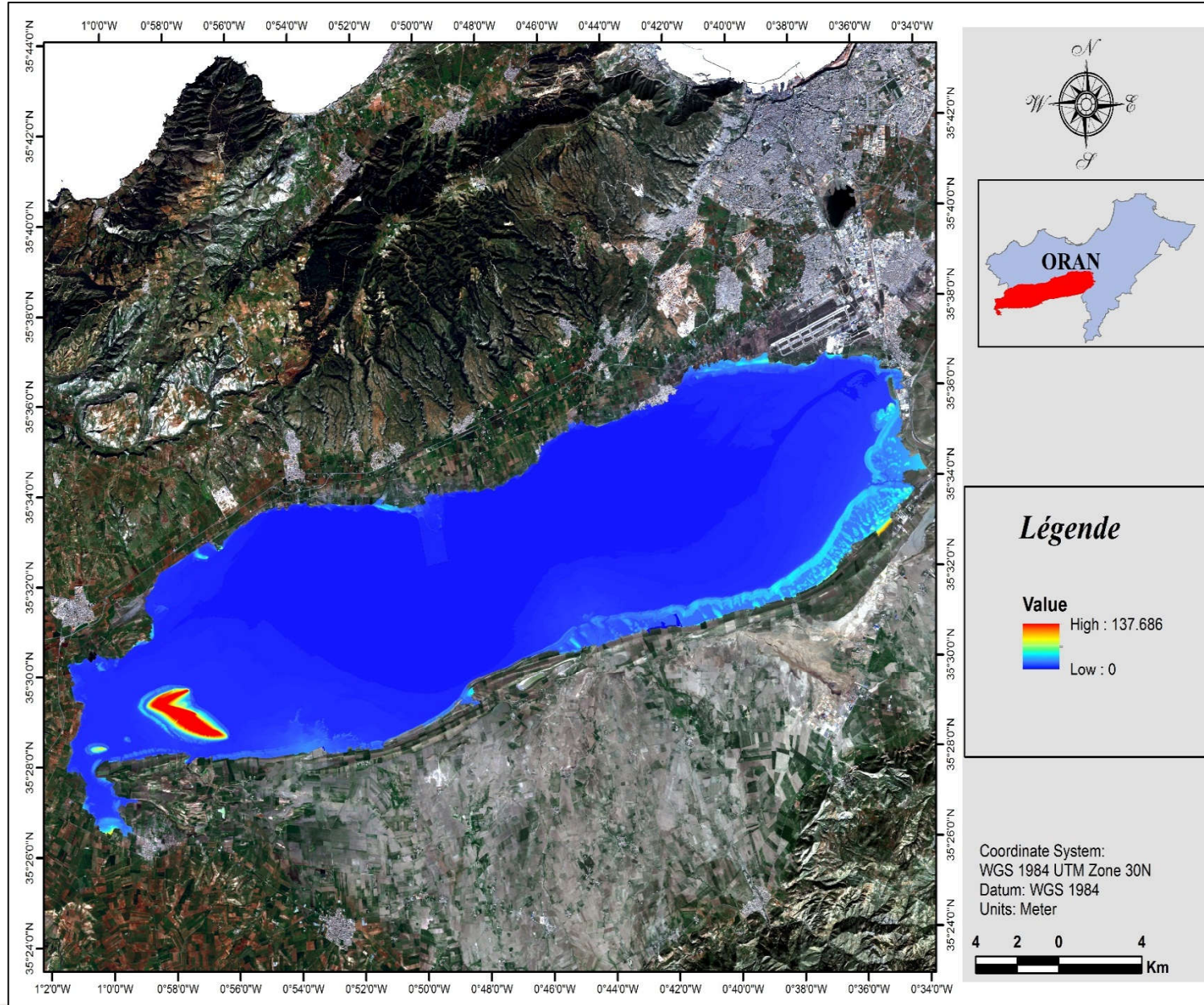


La grande Sebka située dans la wilaya d'Oran, Daira de Boutlelis, Commune de Messerghine, est distante de 12 km de la mer méditerranéen et de 15 Km de la ville d'Oran.



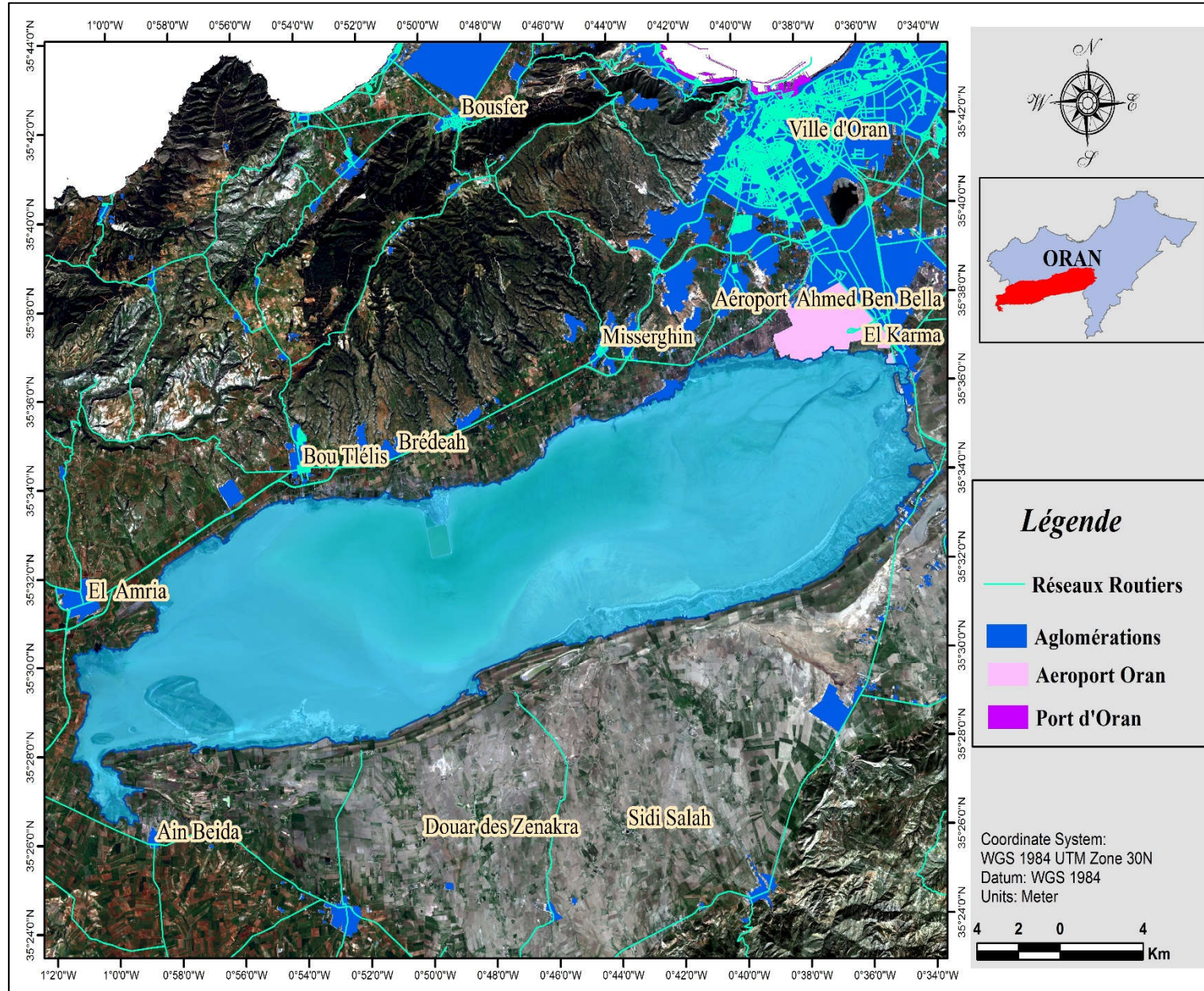
Carte Hypsométrique

La grande Sebkhia est une vaste dépression avec un écoulement endoréique .d'origine tectonique. Elle est apparue à la fin du pliocène (villafranchien) et du début du quaternaire, époque ou dominait dans le Tell oranais une topographie en bassins fermés (les deux anticlinaux du Murdjadjo au nord et le Tessala au sud). Les eaux qui s'écoulent des deux massifs se sont rassemblées dans le synclinal qui forme aujourd'hui la grande Sebkhia. Les dépôts continentaux du pliocène et du quaternaire ont contribué à combler et à niveler la plus grande partie de la plaine de la M'Leta .Ces dépôts ont été repris et entraînés dans la cuvette de la Sebkhia dont le nivellement est à 80 m d'altitude. Les grandes unités du bassin versant de la Sebkhia sont représentées par les monts de Tessala .



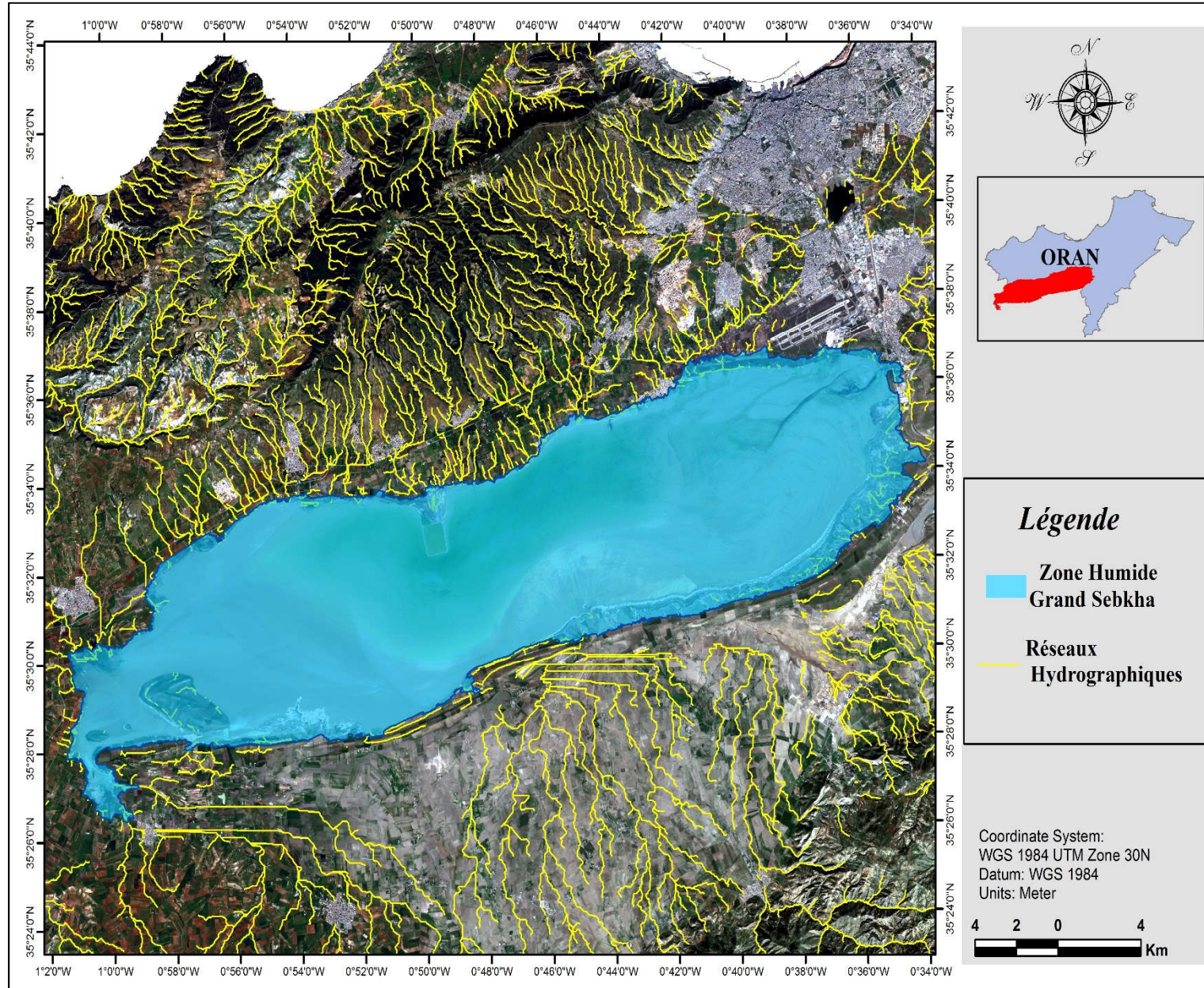
Carte Infrastructure

A proximité des salines d'Arzew passent de nombreuses routes, nationales et de wilaya comme la RN N°97, RN 13 et le CWN°41



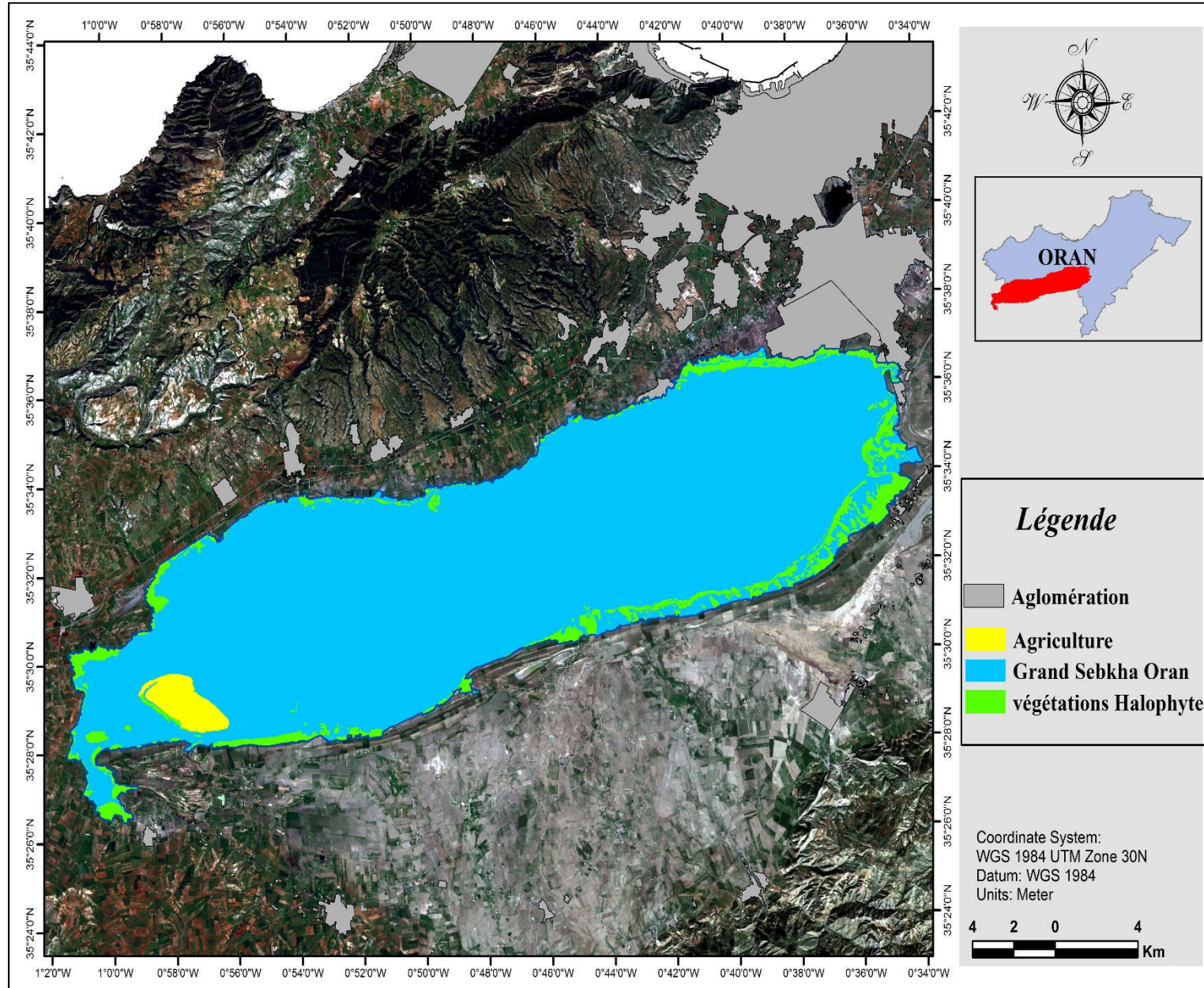
Carte du réseau hydrographique

Cette zone humide est alimentée en eau par le ruissellement d'un large bassin hydrographique de près de 161 000 hectares. Ce réseau apparaît soit en gestation en vue de sa disparition, un certain nombre ne présente qu'un écoulement intermittent avec absence totale de drainage. L'écoulement des eaux de pluie provient pour la plus grande part des massifs du Tessala et du Merdjadjo. Ces derniers déversent dans cette zone de nombreux oueds: Misserghine, El Dalia, Tamselmat, Moguenne, Sidi Medioun. Le réseau qui vient des Monts de Tessala plus important, est constitué par les oueds Tfraoui, Tamrzoura, El haimeur, El ghassoul et El Besbès.



Carte d'occupation des sols

En termes d'occupation des sols il est possible de divisé l'aire d'étude en deux unités territoriales distinct, notamment une zone dépourvue de végétation à l'intérieur du sebkha et une zone autour subsiste une végétation halophile ainsi des surfaces agricoles.



La sebka est formée par une mince pellicule d'eau dépourvue de végétation à l'intérieur. Autour de la sebka subsiste une végétation halophile composée de *Suaeda sp* de *Juncus sp.* et de petites touffes de *Chamaeropsis humilis*, quelques rares spécimens de tamaris trouvent au niveau des rives.



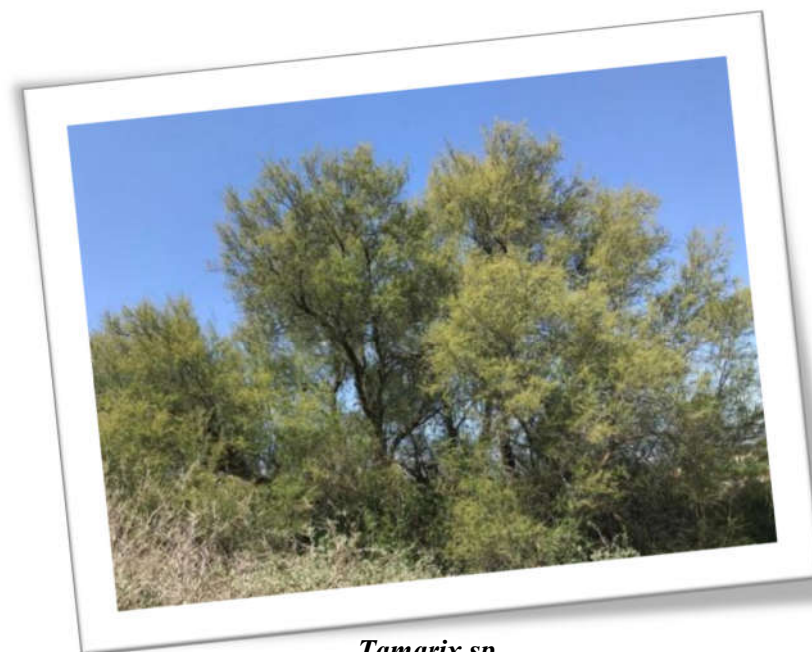
Juncus sp



Chamaerops humilis



Suaeda Sp



Tamarix sp

- Effectif total d'oiseaux d'eau observés..... 27033
- Nombre d'espèces protégées..... 14
- Nombre d'espèces de gibier18



Fuligule nyroca



Grue cendrée



Petit Gravelot



Oeudicneme

Espèces recensées

Famille ANATIDAE	
Canard souchet	3150
Canard Colvert.....	1870
Canard Siffleur.....	770
Canard Chipeau.....	20
Sarcelle d'hiver	616
Tadorne de belon	6642
Tadorne casarca.....	480
Fuligule nyroca.....	04
Erismature à tête blanche.....	01
Famille PODICIPEDIDAE	
Grèbe castagneux.....	32
Grèbe a cou noire.....	20
Famille SCOLOPACIDAE	
Chevalier aboyeur.....	20
Chevalier Arlequin.....	350
Chevalier combattant.....	500
Bécassine des marais.....	146
Famille ARDEIDAE	
Héron cendré	01
Héron garde bœuf.....	310
Aigrette garzette.....	70
Famille RALLIDAE	
Foulque macroule.....	145
Poule d'eau.....	264
Famille PHOENICOPTERIDAE	
Flamant rose.....	5550
Famille LARIDAE	
Mouette rieuse.....	290
Goéland argenté	2610

Famille CHARADRIIDAE	
Gravelot à collier interrompu.....	1385
Vanneau huppé.....	21
Famille CICONIIDAE	
Cigogne blanche.....	34
Famille RECURVIROSTRIDAE	
Echasse blanche.....	402
Acocette élégante.....	55
Famille GRUIDAE	
Grue cendrée.....	1245
Famille BURHINIDAE	
Oeudicneme criard.....	20
Famille ACCIPITRIDAE	
Busard des roseaux (harpay).....	10



Fuligule milouin

Conclusion générale :

Les zones humides comme tout autre écosystème présente des conditions particulières qui les différencient des autres écosystèmes. Cette différence se reflète par la présence d'espèces végétales spécifiques liées à ces biotopes. Parmi les zones humides de la région d'Oran, nous avons choisi 4 zones : la grande sebkha, les marais de la Macta, le lac de Telamine et les salines d'Arzew. Ces sites sont connus pour leur biodiversité tant faunistique que floristique. Ils sont classés zones humides selon la convention Ramsar (1971).

Les résultats de cette étude ont notamment révélé que la recherche en télédétection possède de nombreux acquis scientifiques à caractère opérationnel. Ceux-ci peuvent potentiellement être mis en rapport avec le besoin d'outils formulé par les gestionnaires pour inventorier et délimiter les zones humides, suivre l'évolution et l'état de conservation des habitats en zones humides.

Au terme des traitements effectués, les résultats portent sur l'apport de la méthode de classifications pour la détection des zones humides selon le capteur utilisé montre l'efficacité d'utilisation de masques d'humidité NDWI2.

La méthode de classification orientée objet offre les meilleurs résultats pour la délimitation et la caractérisation des zones humides.

La cartographie des zones humides a longtemps été réalisée de façon manuelle, puis avec des logiciels de dessin vectoriel. Une des principales motivations de l'utilisation des SIG est la possibilité de pouvoir afficher et superposer des données spatialisées comme les limites de la zone humide, de son bassin-versant ou de ses différentes entités.

La contribution à la réalisation d'un atlas numérique sur ces zones humides. Son objet était de produire diverses cartes thématiques (occupation du sol, carte réseaux routier, réseaux hydrographique...) sur l'ensemble des 4 sites Ramsar de la région d'Oran, grâce à l'outil d'analyse d'images satellitaires, qui a mis en évidence l'importance de thématique de la télédétection dans la recherche sur les milieux humides.

L'Atlas numérique permis de découvrir un autre aspect de cette étonnante diversité des zones humides de la région d'Oran à travers une nouvelle technique de présentation des résultats exploitées sous un web mapping, cette interface est composée d'un étendu des cartes et des outils qui permettent de la manipuler. L'interface cartographique de notre application, est une fenêtre interactive qui offre la possibilité de naviguer entre les différents fonds cartographiques, ainsi que sur les différentes couches d'information. Ceci s'effectue à travers des services web cartographique.

L'exploitaion de l'atlas sous un système d'information géographique ce système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, et l'affichage de données et cartes réalisé sur les zones humides.

Cette présentation montre l'importance des zones humides de la région d'Oran qui permettra aux citoyens de prendre connaissance de toute la richesse, de la beauté et de l'étendue de ce patrimoine, qui contribuera à l'action de sensibilisation des populations et constituera un précieux instrument d'appréciation et d'évaluation à la disposition des décideurs et des professionnels de la gestion et de la préservation des zones humides.

Bibliographie

- Abdelmalek, S., 1986. Contribution à l' étude écologique des terrains salés de l' Oranie, étude de quelques stations typiques de bassins fermés. Mém Univ Oran.
- ABOURA, R., 2006. COMPARAISON PHYTO-ÉCOLOGIQUE DES A TRIPL EXA IES SITUÉES AU NORD ET AU SUD DE TLEMCEM.
- Acreman, M.C., McCartney, M.P., 2009. 28 Hydrological Impacts in and around Wetlands. Wetl. Handb. 643.
- Aimé, S., 1991. Etude écologique de la transition entre les bioclimats subhumide, semi-aride et aride dans l' étage thermo-méditerranéen du tell oranais (Algérie occidentale).
- Antipolis, S., 2003. Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens. Plan Bleu 80.
- Aubert, G., 1976. Les sols sodiques en Afrique du Nord.
- AUROY, F., HARGUES, R., 2009. Zones humides et chasse: Tour d' horizon des pratiques. Presented at the Colloque Zones humides, chasse et conservation de la nature, 17-19 juin.
- Band, L.E., 1986. Topographic partition of watersheds with digital elevation models. Water Resour. Res. 22, 15-24.
- Barbier, E.B., Acreman, M., Knowler, D., 1997. Economic valuation of wetlands: a guide for policy makers and planners. Ramsar Convention Bureau Gland, Switzerland.
- Baret, F., Guyot, G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. Remote Sens. Environ. 35, 161-173.
- Bariou, R., Lecamus, D., Le Henaff, F., 1985. Indices de végétation. Centre régional de Télédétection, Université de Rennes 2.
- Barnaud, G., Dausse, A., 2000. Vers une standardisation des méthodes d' identification de détermination, de délimitation des zones humides. ZH Infos 29.
- Barnaud, G., Fustec, É., 2007. Conserver les milieux humides: pourquoi? comment? Educagri éditions.
- Bernard, P., 1994. Les zones humides, rapport d' évaluation. Com. Interminist. L' évaluation Polit. Publiques Prem. Minist. Au Plan Rapp. D' évaluation Doc. Fr. Paris.
- Bonn, F., Rochon, G., 1992. Précis de télédétection, vol. 1 Principes et méthodes. AUPELF-UREF Collect. Press. Univ. Quebec Montr.
- Boulaine, J., 1955. Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols d' Algérie aux 1/200.000 feuilles de Mostaganem, N° 21. Imp. LA TYPO-LITHO et J. Carbonel réunies, Alge.
- Bullock, A., Acreman, M., 2003. The role of wetlands in the hydrological cycle.
- Caloz, R., Collet, C., 2001. Précis de télédétection, volume 3: traitement numériques d' image en télédétection. Agence Univ. Francoph. AUF Press. L' université Qué. Montr.
- Calu, G., 2004. l' eau, le sol et les plantes. Dossier bibliographique. Master 1 Sc. végétale. Spectroscie. 21 p.
- CHALABI, B., 1990. Contribution à l' étude de l' importance des zones humides algériennes pour la protection de l' avifaune : cas du lac Tonga (parc national d' ElKala).
- Chaumont, M., Paquin, C., 1971. Notice explicative de la carte pluviométrique de l' Algérie septentrionale. Bull Soc Hist Nat Afr Nord 24.
- Cheverry, C., 1980. Derniers développements de la recherche sur les sols salés. Cah.-Off. Rech. Sci. Tech. O.-m. Ser. Pedol.
- CLEMENT, B., 2010. Les zones humides intérieures de Bretagne: intérêts, évolution, enjeux de leur protection. Presented at the Eaux et rivières de Bretagne. Colloque, la biodiversité des milieux aquatiques de Bretagne, pp. 37-41.
- Clément, B., Hubert-Moy, L., Rapinel, S., 2008. Evaluation des fonctions des zones humides à partir de données de télédétection à très haute résolution spatiale. Appl. Expérimentale À Basse Val. Dordogne Rapp. COSTEL UMR 6554, 92.
- Corbane, C., Lang, S., Pipkins, K., Alleaume, S., Deshayes, M., Millán, V.E.G., Strasser, T., Borre, J.V., Toon, S., Michael, F., 2015. Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status--New opportunities and challenges. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation 37, 7-16.
- Cowardin, L.M., Carter, V., Golet, F.C., LaRoe, E.T., 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. US Department of the Interior, US Fish and Wildlife Service.
- Crist, E.P., Cicone, R.C., 1984. A physically-based transformation of Thematic Mapper data--The TM Tasseled Cap. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 256-263.
- Cury, P.M., Christensen, V., 2005. Quantitative ecosystem indicators for fisheries management.

- DAVID, B., 2006. Une méthode de correction des aérosols troposphériques basée sur les variations spectrale et spatiale du signal dans le visible et le proche infrarouge. Développement et évaluation capteur MERIS/ENVISAT.». Thèse de doctorat.
- De Groot, R., Stuij, M., Finlayson, M., Davidson, N., 2006. Valuing wetlands: guidance for valuing the benefits derived from wetland ecosystem services. International Water Management Institute.
- D.G.F, 2004. Atlas des zones humides Algériennes d'importance internationale. Ministère Agriculture Développement Rural, 75 p.
- Didier, M., France. Service technique de l'urbanisme, Conseil national de l'information géographique (France), 1990. Utilité et valeur de l'information géographique. Economica.
- Djebaili, S., 1978. Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des Hautes Plaines Steppiques et de l'Atlas Saharien algérien. El Kasba Alger.
- Dodds, W., 2002. Freshwater ecology: concepts and environmental applications. Elsevier.
- Dodds, W.K., Bouska, W.W., Eitzmann, J.L., Pilger, T.J., Pitts, K.L., Riley, A.J., Schloesser, J.T., Thornbrugh, D.J., 2008. Eutrophication of US freshwaters: analysis of potential economic damages.
- Dubuis, A., Simonneau, P., 1960. Contribution à l'étude de la végétation halophile des bassins fermés du plateau d'Oran. Gouvernement general de l'Algérie, Direction du service de la colonisation ...
- Duchaufour, P., 1965. Précis de pédologie. Soil Sci. 100, 75.
- DURAND, J., 1954. Les sols d'Algérie. S.E.S. Alger.
- Durand, P., Gascuel-Oudou, C., Kao, C., Merot, P., 2000. Une typologie des petites zones humides ripariennes. Etude Gest. Sols 7, 207–218.
- Dusseux, P., Hubert-Moy, L., Corpetti, T., Vertès, F., 2015. Evaluation of SPOT imagery for the estimation of grassland biomass. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation 38, 72–77.
- Emberger, L., 1971. Travaux de botanique et d'écologie § L. Emberger. Masson.
- Emberger, L., 1952. Sur le quotient pluviothermique. COMPTES RENDUS Hebd. SEANCES Acad. Sci. 234, 2508–2510.
- Evans, I., 1981. (1981). General geomorphometry.
- Fekraoui, A., 2007. Caractéristiques géochimiques des eaux géothermales de la région d'Oran. Rev. Énerg. Renouvelables CER 7, 75–80.
- Frochot, B., Roché, J., 2000. Les fonctions des zones humides pour les oiseaux. Fonct. Valeur Zones Humides 261–276.
- Fustec, É., Lefeuvre, J.-C., 2000a. Fonctions et valeurs des zones humides. Dunod.
- Fustec, É., Lefeuvre, J.-C., 2000b. Fonctions et valeurs des zones humides. Dunod.
- Gao, B.-C., 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sens. Environ. 58, 257–266.
- Girard, M.C., Girard, C.M., 1989. Télédétection appliquée: zones tempérées et intertropicales. Masson.
- Gitelson, A., Stark, R., Grits, U., Rundquist, D., Kaufman, Y., Derry, D., 2002. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. Int. J. Remote Sens. 23, 2537–2562.
- Gourinard, Y., 1952. Le littoral oranais (mouvements verticaux et anomalies gravimétriques). 19e Congrès géologique international, Alger, 1952. Monogr Région 1re Sér 22, 62.
- Hadjadj-Aoul, S., 1995. Les peuplements du thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*, (Vahl) Masters) en Algérie: phytoécologie, syntaxonomie, potentialités sylvicoles.
- Halitim, A., 1973. Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture.
- Hassani, M.I., 1987. Hydrogéologie d'un bassin endoréique semi-aride: le bassin versant de la grande Sebkh d'Oran (Algérie).
- HECKER, N., 1995. TOMAS VIVES P. 1995. Statut Inventaire Zones Humides Dans Région Méditerranéenne.
- Hettiarachchi, M., Morrison, T., McAlpine, C., 2015. Forty-three years of Ramsar and urban wetlands. Glob. Environ. Change 32, 57–66.
- Howard, G.W., Matindi, S.W., 2003. Alien invasive species in Africa's wetlands: some threats and solutions. Alien Invasive Species Afr. Wetl. Some Threats Solut.
- Hubert-Moy, L., Clément, B., Lennon, M., Houet, T., Lefeuvre, E., 2003. Etude de zones humides de fond de vallées à partir d'images hyperspectrales CASI: Application à un bassin versant de la région de Pleine-Fougères (Bretagne, France). Photo-Interprétation Eur. J. Appl. Remote Sens. 39, 33–43.

- Hubert-Moy, L., Michel, K., Corpetti, T., Clément, B., 2006. Object-oriented mapping and analysis of wetlands using SPOT 5 data. Presented at the 2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing, IEEE, pp. 3447–3450.
- Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* 25, 295–309.
- Hughes, R., Hughes, J., 1992. *A Directory of African Wetlands.*(IUCN: Gland, Switzerland. United Nations Environment Programme: Nairobi. World Conservation Monitoring Centre: Cambridge.)
- Janssen, R., Goosen, H., Verhoeven, M.L., Verhoeven, J.T., Omtzigt, A., Maltby, E., 2005. Decision support for integrated wetland management. *Environ. Model. Softw.* 20, 215–229.
- Jenson, S.K., 1985. Automated derivation of hydrologic basin characteristics from digital elevation model data. Presented at the Proc. Auto-Carto, pp. 301–310.
- Konecny, G., 2002. *Geoinformation: remote sensing, photogrammetry and geographical information systems.* cRc Press.
- Lacoste, A., Salanon, R., 1969. *Éléments de biogéographie.*
- Lalmi, A., 2009. *Evolution des caractères physiques et mécaniques d'un sol argileux sous irrigation du périmètre de l'ITDAS d'El-Outaya (W. BISKRA). Incidence sur le travail du sol. Mém. Magister, Sci. Agro., Univ. Batna. 159P.*
- Lethier, H., 1995. *Entre terre et eau-Agir pour les zones humides. ME-AEs, non paginé. 72.*
- Mahdavi, S., Salehi, B., Granger, J., Amani, M., Brisco, B., Huang, W., 2018. Remote sensing for wetland classification: A comprehensive review. *GIScience Remote Sens.* 55, 623–658.
- Maltby, E., Acreman, M.C., 2011. Ecosystem services of wetlands: pathfinder for a new paradigm. *Hydrol. Sci. J.* 56, 1341–1359.
- Maltby, E., Barker, T., 2009. *The Wetlands Handbook, 2 Volume Set.* John Wiley & Sons.
- Marks, D., 1984. Automated basin delineation from digital elevation data. *Geo-Process.* 2, 299–311.
- McFeeters, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* 17, 1425–1432.
- MEA, M.E.A., 2005. *Ecosystems and human well-being: Wetlands and water.*
- Médail, F., Quézel, P., 1999. Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: setting global conservation priorities. *Conserv. Biol.* 13, 1510–1513.
- Meinel, G., Neubert, M., 2004. A comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.* 35, 1097–1105.
- Merot, P., Barriuso, E., Beaujouan, V., Benoit, P., Bidois, J., Bourrie, G., Burel, F., Chaplot, V., Charnay, M., Clément, B., 2000. TY-PHON Typologie fonctionnelle des zones humides de fonds de vallée en vue de la régulation de la pollution diffuse. *Rep. Fr. Natl. Res. Programme Wetl.*
- Mérot, P., Gascuel, C., Durand, P., 2005. Typologie fonctionnelle: application aux petites zones humides de fond de vallée. *Caractér. Zones Humides Cah. Thématique PNRZH MEDD Agences L'eau BRGM* 32–36.
- Miller, C.L., Laflamme, R.A., 1958. *The Digital Terrain Model-: Theory & Application.* MIT Photogrammetry Laboratory.
- Mitsch, W., Gosselink, J., 2007. *Wetlands–Wiley.* N. Y.
- Morgan, N., Boy, V., 1982. An ecological survey of standing waters in North West Africa: I. Rapid survey and classification. *Biol. Conserv.* 24, 5–44.
- Nabucet, J., 2005. Évaluation des données de télédétection à très haute résolution Quickbird pour l'estimation du taux de couverture hivernale des sols. *Univ. Rennes 2.*
- Nadia, S., 2008. *Caractérisations physiologique, biochimique, anatomique et morphologique chez Atriplex halimus L. stressée à la salinité.*
- Oruc, M., Marangoz, A., Buyuksalih, G., 2004. Comparison of pixel-based and object-oriented classification approaches using Landsat-7 ETM spectral bands. Presented at the Proceedings of XX ISPRS Congress, p. 5.
- Ozenda, P., 1982. *Les végétaux dans la biosphère-Doin.* Paris 431p.
- Pearce, F., Crivelli, A.J., 1994. *Caractéristiques générales des zones humides méditerranéennes.* Tour du Valat.
- Puissant, A., 2003. *Information Géographique et Images à Très Haute Résolution Utilité et Applications en Milieu Urbain.*
- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., Planchon, O., 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrol. Process.* 5, 59–79.

- RAMSAR, 2000. The Ramsar Convention on Wetlands. Key Doc. Available [Httpwww Ramsar Org/indexkeydocs Htm](http://www.Ramsar.Org/indexkeydocs.htm).
- Rapinel, S., Hubert-Moy, L., Clément, B., 2015. Combined use of LiDAR data and multispectral earth observation imagery for wetland habitat mapping. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 37, 56–64.
- Rapinel, S., Hubert-Moy, L., Clément, B., Maltby, E., 2016. Mapping wetland functions using Earth observation data and multi-criteria analysis. *Environ. Monit. Assess.* 188, 641.
- Rochet, M.-J., Trenkel, V.M., 2009. Why and how could indicators be used in an ecosystem approach to fisheries management?, in: *The Future of Fisheries Science in North America*. Springer, pp. 209–226.
- Sadoul, N., Walmsley, J.G., Charpentier, B., 1998. Les salins, entre terre et mer.
- Seltzer, P., 1946. le climat de l'Algérie. 219 pp. Alger Typo-Litho" J Carbonel.
- Servant, J., 1986. Les systèmes halomorphes= Los sistemas halomorfos.
- Seyrig, R., 2007. Fiscalité et protection des zones humides. Mémoire de fin d'études Diplôme IEP. Lyon: Université Lyon 2- Institut d'Etudes Politiques de Lyon.
- Shreve, R.L., 1967. Infinite topologically random channel networks. *J. Geol.* 75, 178–186.
- Simonneau, P., 1952. végétation halophile de la plaine de Perrégaux, Oran.
- Skinner, J., Zalewski, S., 1995. Fonctions et valeurs des zones humides méditerranéennes (MedWet conservation des zones humides méditerranéennes). Ed. Arles Tour Valat.
- Tiner, R.W., 2016. *Wetland indicators: A guide to wetland formation, identification, delineation, classification, and mapping*. CRC press.
- Tricart, J., 1968. *Précis de géomorphologie*.
- Turner, R., Georgiou, S., Fisher, B., 2008. *Valuing ecosystem services: the case of multi-functional wetlands*, Earthscan. Lond. UK.
- Vannier, C., Hubert-Moy, L., 2008. Detection of wooded hedgerows in high resolution satellite images using an object-oriented method. Presented at the IGARSS 2008-2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, p. IV-731.
- Williams, M., 1990. *Wetlands a threatened landscape*.
- Zehana, M., 1995. *Connaissances structurelles et interprétation d'images satellitaires*.

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des types de zones humides selon la classification..... 7
 Tableau 2: Type et localisation administrative des 42 sites humides algériens d'importance internationale. 24
 Tableau 3: Les Zones Humides de la Wilaya d'Oran (Direction Générale des forêts, 2008)..... 27
 Tableau 4: coordonnées des stations étudiées 31
 Tableau 5: Paramètres climatiques de la station de sénia (1998 -2007) 32
 Tableau 6: Paramètres climatiques de la station d'oran Port (1998 -2007) 32
 Tableau 7: Paramètres climatiques de la station d'Arzew (1998 -2007) 32
 Tableau 8: Répartitions saisonnières des pluies Senia, Arzew et Oran (1998-2007)..... 33
 Tableau 9: Quotient pluviométrique d'Emberger des trois stations..... 35
 Tableau 10: Indice d'humidité 48

Liste des Figures

Figure 1 : Les différents types de zones humides5
 Figure 2 : structure et composition du sol15
 Figure 3 : profil d'un sol hydromorphe17
 Figure 4 : profil de 3 type de sol salin d'après18
 Figure 5 : Le comportement d'un sol après contamination par les eaux salines20
 Figure 6 : Classification des zones humides21
 Figure 7 : carte des sols de l'Oranie 1/500 00030
 Figure 8 : répartition des stations météorologiques 31
 Figure 9 : carte pluviométrique de la région d'Oran 1/500 000 d'après34
 Figure 10 : Régime saisonnier des précipitations au niveau des trois stations36
 Figure 11 -12 : vitesse du vent des stations Oran port et Arzew (1998-2007).....37
 Figure 13 : Diagrammes Ombrothermique d'Oran port (1998-2007).....36
 Figure 14 : Diagrammes Ombrothermique d'Arzew (1998-2007).....36
 Figure 15 : Diagrammes Ombrothermique d'Esenia (1998-2007).....37
 Figure 16 : Représentation schématisée d'une onde électromagnétique (CCRS@).....39
 Figure 17 : Le spectre électromagnétique (Bonn and Rochon, 1992).40
 Figure 18 : Absorption, réflexion et transmission40
 Figure 19 : Comportement spéculaire (A) et diffus (B) de la lumière40
 Figure 20 : Signatures spectrales41
 Figure 21 : gauche image 4bit droit image 8 bit44
 Figure 22 : Un exemple du Modèle Numérique de Terrain zone pic de Tessala (Sebkha d'Oran).49
 Figure 23 : Calcul de la surface drainée50
 Figure 24 : Délimitation automatique d'un bassin versant.....51
 Figure 25 : exemple de système de location par satellite (GPS)52
 Figure 26 : les principales composantes de SIG53
 Figure 27 : types de données dans un SIG54
 Figure 28 : exemples de données surfacique : carte des ressources minières de l'Algérie55
 Figure 29 : exemple de données linières (carte de réseau hydrographique dans la partie de la macta).....55
 Figure 30 : Exemple de données ponctuelles (Carte de la sismicité mondiale. Les épices sont issus du catalogue de l'United States Geological Survey, pour la période 1973-2008 et pour tous les séismes de magnitude supérieure à 556
 Figure 31 : Exemple données raster56
 Figure 32 : exemple d'un levé topographique.....57
 Figure 33 : plan de vol d'un avion d'acquisition de photos aériennes58
 Figure 34 : couple stéréoscopique de Tongerlo, Belgique,17-05-1999.le recouvrement est indiqué par les rectangles rouge58
 Figure 35 : image satellite du capteur Sentinel 2 de la région d'oran59
 Figure 36 : (a) système de localisation par satellite (GPS) et satellites (b et c).....59
 Figure 37 : une Table de digitalisation60
 Figure 38 : Scanner automatique, utiliser pour le scannage de plans.....60

Figure 39 : représentation schématique d'une base de données géographique ensemble de couches superposables.....	61
Figure 40 : carte de la zone d'étude (région d'Oran).....	63
Figure 41 : organigramme de la méthodologie de délimitation des zones humides	64
Figure 42 : Organigramme de la méthodologie de réalisation de l'Atlas des zones humides.....	65
Figure 43 : image avant rehaussement	66
Figure 44 : image Après rehaussement.....	66
Figure 45 : scène sentinel " 20180824t1050195"	67
Figure 46 : scène sentinel " 20180826t104021 "	67
Figure 47 : Mosaïque des image sentinel 2 de la zone d'étude.....	67
Figure 48 : Indice Humidité (NDWI2).....	68
Figure 49 : Indice de Végétation normalisée (NDVI)	70
Figure 50 : segmentation de l'image de la zone d'étude	71
Figure 51 : zoom sur l'image segmenté de la région du lac de Télamine.....	71
Figure 52 : zoom sur l'image segmenté de la région de senia	71
Figure 53 : zoom sur l'image segmenté du Lac Télamine	72
Figure 54 : variation des limites de la zone humide « grand Sebkh d'oran	72
Figure 55 : variation des limites de la zone humide « Lac Télamine ».....	72
Figure 56 : variation des limites de la zone humide « Les Salines d'Arzew ».....	72
Figure 57 : MNT de la région d'étude (12m de précision)	73
Figure 58 : réseaux hydrographique de la zones d'étude	73
Figure 59 : Visualisation 3D de la zone étude	74
Figure 60 : réseaux Routier de la zone d'étude	74
Figure 61 : Paramètre de passage de WGS 84 au Nord Sahara 59.....	75
Figure 62 : création du projection logiciel Global Mapper	76
Figure 63 : calage des cartes topographiques	76
Figure 64 : Mosaïque des cartes	77
Figure 65 : Zoom sur la région de Dayet Morsli	77
Figure 66 : zoom sur la région de dayet sidi marouf	77
Figure 67 : interface graphique du logiciel atlas des zones humides	78
Figure 68: Architecture proposée.....	79
Figure 69 : interface Geoserver.....	80
Figure 70 : Logiciel atlas des zones Humides.....	81
Figure 71 : Affichage des donnée sous le système.....	81
Figure 72 : interface cartographique interactive.....	82
Figure 73 : Affichage des données vecteurs sous l'application (web mapping).....	82
Figure 74 : Affichage des données Denombrement des oiseaux sous l'application (web mapping).....	83

INTRODUCTION GENERALE	1
 CHAPITRE I : l'intérêt de protéger les zones humides, aperçu sur l'état l'art	
I.1 Introduction	3
I.2 Notion de zone humide	3
I.3 Les différentes catégories et types de zones humides	4
I.4 Les différents types de zones humides méditerranées	4
I.5 Système de classification et typologie des zones humides	7
I.6 . Fonctions des zones humides	9
I.6.1 Fonctions qualitatives	9
I.6.2 Fonctions quantitatives	10
I.6.3 Fonctions écologiques :	10
I.7 Valeurs des zones humides	12
I.8 Facteurs de menace et de dégradation des zones humides	13
I.9 Les sols des zones humides	15
I.10 Hiérarchisation des zones humides	20
I.11 Les Zones humides de l'Algérie	22
I.11.1 Principales zones humides algériennes	22
I.11.2 Classification écologique des zones humides en Algérie	23
I.11.3 Les zones humides Algériennes d'importance internationale	24
I.11.4 La nature des Zones Humides étudiées	26
I.11.5 Les zones humides de la région d'Oran	27
 CHAPITRE II : Cadre Biogéographique de la wilaya d'oran	
II.1 Introduction	28
II.2 La géographie de l'Oranie	28
II.3 Géologie et géomorphologie	28
II.3.1 Morphologie	28
II.3.2 Géologie	28
II.3.3 Hydrogéologie	29
II.4 Le sol	29
II.5 Climatologie	30
II.5.1 Paramètres climatiques	30
II.5.2 Températures	34
II.5.3 Le vent	34
II.5.4 Synthèse climatique	35
 CHAPITRE III : Télédétection et Système d'Information Géographique	
III.1 Introduction	38
III.2 Définition	38
III.3 Objectifs de la télédétection	38

III.3.1 Le principe de base _____	38
III.3.2 Les satellites géosynchrones ou géostationnaires _____	39
III.3.3 Imagerie optique _____	42
III.3.4 Notion de résolution _____	43
III.3.5 Les traitements et corrections des imageries satellitaires _____	44
III.3.6 Les compositions colorées _____	46
III.3.7 Les ratios _____	47
III.3.8 La classification _____	47
III.3.9 Création des néocanaux _____	47
III.4 Modèle numérique du terrain & réseaux hydrographique _____	48
III.4.1 Introduction _____	48
III.4.2 Définition _____	49
III.4.3 Réseau hydrographique _____	50
III.4.4 Extraction du réseau hydrographique _____	50
III.4.5 Extraction des limites des bassins versants _____	50
III.5 Systeme d'Information Géographique _____	51
III.5.1 Définitions de Système d'Information Géographique (SIG) _____	51
III.5.2 Historique de SIG _____	52
III.5.3 L'information géographique (IG) _____	52
III.5.4 Les principales composantes d'un SIG _____	53
III.5.5 Les fonctionnalités d'un SIG (les 5 A) _____	53
III.5.6 Domaines d'application des SIG _____	54
III.5.7 Les données dans les SIG _____	54
III.5.8 Mode d'acquisition des données géographiques _____	57
III.5.9 Notion de base de données géographique _____	61
III.5.10 Les domaines d'application des SIG _____	61
III.5.11 Apporte du système d'information géographique _____	62
CHAPITRE IV : Methodologie et application sur les zones humides de la wilaya d'oran	
IV.1 Introduction _____	63
IV.2 Présentation de la zone d'étude _____	63
IV.3 Approche méthodologique _____	63
IV.4 Cartographie des zones humides de la région d'Oran _____	66
IV.4.1 Traitement des images satellitaire _____	66
IV.4.2 Rehaussement des images satellitaire _____	66
IV.4.3 Mosaïque des scènes sentinel 2 _____	67
IV.5 Inventaires et délimitation des zones humides : _____	68
IV.5.1 Historique et données de télédétection _____	68
IV.5.2 Méthodes utilisées pour la détection des zones humides _____	68
IV.6 Délimitation des zones humides _____	70
IV.6.1 Méthodes de classification : approches orientées pixels vs. Orientées objets _____	70
IV.7 Mis en œuvre de la base de données géo spatiales de l'Atlas des zones humides _____	73
IV.7.1 Extraction du réseau hydrographique _____	73
IV.7.2 Réseaux routiers _____	74
IV.7.3 Cartes topographiques et la création de Toponymie _____	75
IV.7.4 Calage des cartes topographique _____	76

IV.7.5 Mosaïqué les cartes topographique 1/25000	77
IV.8 Réalisation de l'Atlas numérique des zones Humides de la région d'Oran	78
IV.8.1 Atlas des zones humides sous le système information géographique :	78
IV.8.2 Atlas des zones humides sous Web mapping	79

CHAPITRE V : Résultats et Discussion

V.1 Introduction	81
V.2 Réalisation du logiciel Atlas des zones Humides de la région d'Oran	81
V.3 Développement de l'interface cartographique sous Web Mapping	82
V.3.1 Utilisation de l'API openlayers :	82
V.3.2 Description de l'interface cartographique interactive :	82
V.3.2 Cartes de l'Atlas des zones Humides de la wilaya d'Oran:	82
CONCLUSION GENERALE	122
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	123
LISTES DES TABLEAUX ET FIGURES	127