



Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers.
Laboratoire : Géographie et d'Aménagement du Territoire.

THESE :

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences
Spécialité : Sciences de la Terre

**Ensemblement et aménagement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra
(Les Monts des Ksour)**

Présentée et soutenue publiquement le 23 juin 2019 par :
M. BOUARFA Said

Devant le jury composé de :

M. HADEID Mohamed	Professeur	Université d'Oran 2	Président
M. BELLAL Sid Ahmed	Professeur	Université d'Oran 2	Rapporteur
M. KHAROUBI Benali	Professeur	Université d'Oran USTO	Examineur
M. BENZAOUZ Med Tahar	professeur	Université de Constantine 3	Examineur
M. DELLAL Abdelkader	Professeur	Université de Tiaret	Examineur
M. DARI Ouassini	MCA	Université d'Oran2	Examineur

Année 2018/2019

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu Allah, Tout-Puissant qui m'accordé la santé et la volonté pour mener à bien cette thèse.

Durant ces derniers années, je suis passé de l'enthousiasme de commencer un nouveau projet, aux doutes et au découragement face aux nombreuses difficultés et à l'exigence de ce travail, à la satisfaction enfin de le voir progresser et évoluer. Cette évolution est le fruit des nombreuses rencontres que je souhaite remercier ici pour toute l'aide, le soutien, les conseils qu'elles m'ont apportés ou tout simplement pour leur disponibilité.

Je souhaite remercier mon encadreur de thèse, le Professeur BELLAL Sid Ahmed pour m'avoir accueilli au sein de son équipe. Je lui suis également reconnaissant pour le temps conséquent qu'il m'a accordé, ses qualités pédagogiques et scientifiques, sa franchise et sa sympathie. J'ai beaucoup appris à ses côtés et je lui adresse ma gratitude pour tout cela.

Je voudrais remercier mes rapporteurs de cette thèse pour avoir accepté d'examiner mon travail. J'associe à ces remerciements tout le personnel de l'Université d'Oran.

Je ne saurais que remercier les chercheurs de Centre de Recherche Scientifique sur les zones arides, le personnel de la Station Météorologique d'Ain Sefra, la conservation de Forêt et Hsds, la Société Civile, la Direction des Travaux Publics, Direction de l'Environnement, l'Institut des Zones Arides Médenine de Tunisie et Professeur Helina de l'Université du Portugal pour leurs implications durant mes années de thèse. Egalement, mes vifs remerciements vont à Mme Kouahla Gabriela, traductrice et interprète, pour ses conseils linguistiques.

Enfin, j'adresse des tendres remerciements à toute ma famille, ma mère et spécialement à ma femme, d'avoir été présents dans mes moments de doutes et de m'avoir remonté le moral et encouragé.

« Ensablement et aménagement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra (Les Monts des Ksour) »

Résumé :

Le bassin versant de l'oued Ain sefra dans les Monts des Ksour, est une région aride qui est affecté par le phénomène de l'ensablement. Dans cette étude, nous calculons la direction de la quantité des sables déplacés et des vents efficaces pendant une période de 30 ans (de 1985 à 2015) afin de classer le danger. L'étude montre que les vents efficaces dans le bassin versant sont caractérisés par leur capacité de transport potentielle qui classe la région en tant que moyenne. En outre, Le module de résultante est de donne une classification moyenne à la zone et prouve la complexité du système d'érosion éolienne et son interrelation avec d'autres facteurs. Les vents efficaces soufflent généralement du sud-ouest au nord-est. En outre, il existe d'autres directions causant le déplacement potentiel du sable. Le printemps est la période où la mobilité du sable est plus élevée, mais elle diminue en hiver. D'un autre côté, le déplacement potentiel du sable a été bien démontré par l'imagerie satellite entre 1985 et 2015.

Il a montré que la direction de déplacement du sable est de sud-ouest au nord-est ; et l'augmentation de la surface de sable est remarquable dans le bassin versant. Tandis que ; mais il a diminué de entre 1985 et 2015. Il y a une concentration importante d'accumulation de sable sous les versants des montagnes occidentales. Cela montre que les particularités du relief jouent un rôle crucial dans ce phénomène. A partir de cette étude, nous avons proposé des aménagements au bassin versant de l'oued Ain sefra pour la lutte contre l'ensablement, ainsi que certaines techniques mécaniques et biologiques.

Mots clés : Région aride ; déplacement Potentiel ; vents efficaces ; Le sable ; ensablement ; Aménagement.

« sand encroachment and planning on the Oued Ain Sefra watershed (Ksour Mountains) »

Abstract :

The watershed of Oued Ain Sefra is an arid region suffering from sand encroachment. In this study, we are calculating the shifted sand quantity and efficient winds directions during a period of 30 years (1985 to 2015) in order to classify the danger.

The study shows that effective winds in the watershed are characterized by their potential transport capacity that ranks the region as average. In addition, the resultant module is of gives an average classification to the area and proves the complexity of the wind erosion system and its interrelation with other factors. Effective winds generally blow from southwest to northeast. In addition, there are other directions causing the potential displacement of the sand. Spring is the period when sand mobility is higher but decreases in winter. On the other hand, the potential movement of sand has been well demonstrated by satellite imagery between 1985 and 2015. He showed that the direction of movement of the sand is from south-west to north-east; and the increase in the sand area is remarkable in the watershed. While ; but it decreased from between 1985 and 2015.

There is a significant concentration of sand accumulation under the slopes of the western mountains. This shows that the features of relief play a crucial role in this phenomenon.

Based on this study, we have proposed developments to the catchment area of the Wadi Ain Sefra for the fight against silting, as well as certain mechanical and biological techniques.

Keywords: *Arid region; Drift potential; Dune form; effective winds; Sand; Sand encroachment; planning.*

" زحف الرمال و التهيئة في الحوض السفحي لواد العين الصفراء بجبال القصور "

الملخص:

يعتبر الحوض السفحي لواد العين الصفراء بمنطقة عين الصفراء منطقة جافة تعاني من زحف الرمال. في هذه الدراسة ، نقوم بحساب كمية الرمال المحولة واتجاهات الرياح الفعالة خلال فترة 30 سنة (1985 إلى 2015) من أجل تصنيف الخطر.

تظهر الدراسة أن الرياح الفعالة في المنطقة تتميز استطاعتها المحتملة التي تصنف المنطقة على أنها متوسطة القوة. إلى جانب ذلك ، فإن ناتج تنقل الرمال الذي يعطي تصنيفاً متوسطاً للمنطقة ويثبت ان نظام الحث الريحي جد معقد وارتباطه بعوامل أخرى . تهب الرياح الفعالة من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي. علاوة على ذلك ، هناك اتجاهات أخرى تتسبب في تنقل الرمال. الربيع هو الفترة التي تكون فيها حركة الرمال أقوى ، ولكنها تنخفض في فصل الشتاء. من ناحية أخرى ، تم دراسة حركة الرمل المحتملة بشكل جيد من خلال صور القمر الصناعي بين عامي 1985 و 2015. حيث انها تتوافق بشكل وثيق مع الدراسة السابقة. وأظهرت هذه الدراسة اتجاه حركة الرمال من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي. وقد كانت هناك زيادة معتبرة في مساحة الرمال في الحوض السفحي ، بينما انخفضت بين عامي 1985 و 2015. هناك تركيز مهم لتراكم الرمل تحت سفوح الجبال الغربية. هذا يدل على أن خصوصيات التضاريس تلعب دورا حاسما في هذه الظاهرة.

وبناء على هذه الدراسة اقترحنا تهيئة للحوض السفحي لواد العين الصفراء للحد من ظاهرة زحف الرمال وبعض التقنيات الميكانيكية و البيولوجية لمكافحة الظاهرة.

كلمات مفتاحية : المنطقة القاحلة؛ احتمال الانجراف شكل الكثبان الرملية رياح فعالة الرمال، زحف الرمال، تهيئة

Introduction générale :

L'ensablement est l'invasion des grains des sables, il désigne tout envahissement d'objets ou de surfaces par des grains de sable, aboutissant ainsi à l'accumulation de sable et formation des dunes. C'est un phénomène très complexe lié directement à la désertification qui touche plusieurs continents, augmente d'environ 10 millions d'hectares par an, soit près du quart de la superficie totale des terres émergées de la planète. Dans les 110 pays à travers le monde, 1/5 de la population est touchée ou menacée par la désertification et 25% de la superficie des terres émergées sont touchés par le fléau. De plus, 5.2 Milliards d'hectares (ha) des terres arides destinées à l'agriculture sont dégradées. Les dépenses causées par ces dégâts sont calculées pour 42 millions de dollars US par an. La moitié de cette somme suffirait pour remettre en état les zones dégradées.

En Algérie, 200 millions d'hectares sont occupés par le Sahara. De même que 23 millions d'hectares sont touchés par la désertification (zones steppiques et semi-arides) et 12 millions d'hectares sont atteints par l'érosion hydrique (OMM).

Dans le Sahara, un déséquilibre du milieu oasien est bien prononcé, d'une part à une urbanisation mal maîtrisée entraînant un ensablement important et d'autre part à une surexploitation des nappes souterraines. Au niveau steppique, les labours mécanisés non adaptés à ce milieu fragile et un surpâturage important aggravé par une sécheresse endémique font que la strate herbacée ne se régénère plus et les sols arides sont soumis à une déflation permanente provoquant ainsi l'appauvrissement du milieu et la désertification. (PANLCD : Programme d'Action Nationale sur la Lutte Contre la Désertification).

Donc, la désertification, en Algérie, concerne essentiellement les steppes des régions arides et semi-arides qui ont toujours été l'espace privilégié de l'élevage ovin extensif (Nedjraoui et Bédrani, 2008). C'est pourquoi la steppe doit être placée dans la première catégorie des préoccupations pour l'avenir, non seulement pour aménager et développer une zone qui représente à la fois un espace et une profondeur stratégique du point de vue de la gestion du territoire, mais aussi et surtout pour combattre le mouvement de dégradation qui l'a atteint dans son potentiel de production et qui a engagé depuis plusieurs décennies, l'économie pastorale dans un processus de déclin, s'étendant jusqu'aux zones fertiles. En Algérie, l'équilibre de l'écosystème steppique a été pour longtemps assuré par une harmonie entre l'homme et l'environnement dans lequel il vit, à travers des pratiques humaines ancestrales permettant la durabilité et la régénération des ressources naturelles. Cependant, ce territoire qui fut l'espace du nomadisme et des grandes transhumances, a subi des modifications profondes. Les différentes perturbations que la société pastorale ancestrale a endurées, ont provoqué l'apparition des nouvelles pratiques, étrangères au mode de

vie des populations steppiques. La conséquence de ces modifications étant une dégradation de plus en plus importante et ressentie à tous les niveaux du territoire steppique (Adda. A, et all, 2008).

En effet, la désertification à ce niveau s'étend de façon alarmante. Les zones arides caractérisées par la fragilité de leur écosystème, sont les premières zones à être soumises au phénomène de la dégradation et d'ensablement. La complexité du phénomène d'ensablement est intrinsèquement liée à des facteurs extra zonaux tant sur le plan climatique que sur le plan des processus régionaux de transport éolien de sable entre zones sources et zones de dépôts. La compréhension du phénomène a été rendue possible grâce à l'effet combiné des actions édapho-climatiques, des facteurs géologiques et géomorphologiques.

Il est donc évident que l'explication ne se limite pas uniquement aux seuls facteurs locaux, mais l'analyse des régions analogues est indispensable. Les zones aride et steppiques, sans cesse façonnés par les vents, nous les rencontrons aussi bien dans la partie sud-ouest de l'Algérie que dans sa partie occidentale, appelé L'Atlas saharien. Dans cette région il existe des courants sableux, sous forme de longues bandes de dunes orientés NNESSW (Mainguet, 1984).

Le bassin versant d'Oued Ain Sefra se trouve dans L'Atlas saharien et il fait partie des Monts des Ksour et il subit des graves problèmes écologiques, liés à l'érosion éolienne et à la migration des dunes qui accélèrent davantage le processus de la désertification.

Problématique :

Les milieux naturels arides et semi-arides présentent des conditions favorables à une vive érosion éolienne souvent accentuée par l'action néfaste de l'homme et de son bétail. L'intensité de cette érosion dépend essentiellement du vent qui est l'agent causal et des autres caractéristiques écologiques du milieu où s'exerce cette érosion.

Les zones de steppe aride sont les premières zones touchées par l'ensablement, et il y existe des régions avec un ensablement sévère, en particulier la steppe occidentale telle que la steppe de la wilaya d'EL Bayadh et la wilaya de Naâma.

De plus, la zone sud d'El Bayadh est fortement affectée par l'ensablement ainsi que la wilaya de Naâma, Brezina, El Abiodh Sidi Cheikh jusqu'aux les Monts des Ksour au Sud d'Ain Sefra, Djenien et Moghrar même au Nord et à l'Ouest de la wilaya de Naâma à Mécheria et Abde el Moula à Ain Benkhelil.

Dans ce contexte, les monts des Ksour souffrent d'importants problèmes d'ensablement dans de nombreuses localités. Cet ensablement résulte de la sévérité des conditions climatiques et de l'utilisation non rationnelle des ressources naturelles et il constitue le phénomène le plus impressionnant de la désertification. L'ensablement du de la dégradation du tapis végétale, l'inaccessibilité de certaines zones et l'insuffisance des voies de communications terrestres sont autant des facteurs qui témoignent de la rigueur du milieu physique et des conditions naturelles extrêmement défavorables. (Nouaceur ,2013).

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a une superficie de 300735,3 hectares et il fait partie des monts de Ksour, où l'ensablement occupe plus de 20% de la surface et son pourcentage augmente au fil des jours. Il est souvent représenté sous plusieurs formes, généralement de dunes ou de amas de sable.

Dans ce bassin versant, il y a plusieurs formes d'ensablement dispersées, les accumulations les plus célèbres sont : la formation dunaire du Djebel Mekther à Ain Sefra. C'est un grand cordons dunaire de 40 m de hauteur, 8 km de largeur et 30 km de longueur. Le champ de dunes de Magroune est aussi principalement formé de petites barkhanes et des akhis qui s'étendent de Sefissifa à Haraza. Les accumulations de sable sont principalement des amas de sable ou des dunes de sable de 2 à 4 mètres de haut, à Boughilaba et Maktaa -Dli au pied du Djebel d'Aissa. Ces accumulations se situent le long de la route nationale N°06. Même sur les rives de l'Oued Ain Sefra, le sable occupe ces lieux et cause des problèmes d'inondation. Dans des agglomérations comme Ain Sefra, Sfissifa et Tiout, le problème de l'ensablement provoque des maladies telles que les infections oculaires et même respiratoires qui perturbent la vie quotidienne. Les conséquences

de ses dangers sont surtout l'invasion des infrastructures de base par des sables (routes, canaux d'irrigation, champs de culture...etc.) et sur le plan socio-économique ce phénomène est à l'origine de la baisse de la production agricole et la réduction des espaces pastoraux, ce qui alimente l'exode rural massif vers la ville d'Ain Sefra et les centres urbains avoisinants.



Photo N°01 : Quelques aspects du phénomène d'ensablement. (BOUARFA, 2017)



Photo N°02 : le phénomène d'ensablement, la route Communal Haraza.

(Bouarfa ,27 juin 2018)

Les effets des conditions climatiques sévères engendrent des dysfonctionnements de l'écosystème terrestre. Ces effets sont amplifiés par les modes et systèmes inappropriés d'exploitation des ressources naturelles disponibles. Cela conduit à la régression de la couverture végétale, la diminution de la disponibilité des ressources en eau et la dégradation des parcours et des sols, pouvant engendrer la désertification et par conséquent l'ensablement. Ces perturbations qui affectent les ressources biologiques et le potentiel agricole des terres, se manifestent par la

détérioration du niveau de vie de la population, l'abandon des terres et l'exode rural ou l'émigration. Même les progrès rendus actuellement possibles par les nouvelles techniques et les nouvelles politiques en matière d'environnement sont insuffisantes face à l'accélération de l'accroissement démographique et du développement économique.

Le choix de sites d'implantation des anciennes agglomérations à Ain Sefra, Sfissifa et Tiout, n'a pas été effectué fortuitement. Bien au contraire, il a été réalisé sur la base de connaissances empiriques et pragmatiques déjà acquises en matière de dynamique éolienne (direction et sens du vent, couloir de transit des éléments sableux, disponibilité hydraulique, etc.), de position d'abri par rapport aux vents dominants, de communication par rapport aux différents établissements humains de le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, de ruissellement (évitement des cours d'eau dont la matérialisation spatiale dans le domaine steppique et saharien n'est pas très claire).

Les principales agglomérations d' d'Ain Sefra, Sfissifa et Tiout, se trouvent particulièrement en situation d'abri grâce au massif montagneux (Djebel Aissa) et à la grande dune adossée au piémont NW du Djebel Mekter.

La migration des grains par le vent de cette importante masse de sable constitue une menace importante et urgente pour l'ensemble des infrastructures de développement, il menace fréquemment la route nationale RN°06 et 47 et les route wilaya et communal entre Sfissifa à Ain Sefra RW°05 et entre Tiout à Ain Sefra RN°47- RWN°07 et le cheminement rurale de Haraza à Sfissifa. (Photo N°01-02, C'est pourquoi jusqu'à récemment, l'exploitation des ressources naturelles par les populations autochtones s'était effectuée de manière rationnelle pour assurer à la fois la pérennité du couvert végétal steppique et la ressource hydrique.

Par conséquent, l'aridité de ces deux dernières décennies ne devrait pas être une calamité, puisque certains éléments du climat tel que la longueur de la saison sèche, et autres, ont été bien appréhendés par les composants du milieu naturel, notamment le facteur végétal qui a toujours réagi par une bonne adaptation aux nouvelles situations.

En effet, les risques de l'ensablement et les conséquences de son altération sur les conditions du milieu – n'apparaissent que lorsque les interventions de l'homme modifient les écosystèmes au-delà de leurs limites de résistance.

Les conséquences pour l'homme et son milieu sont également nombreuses. Entre autres, nous observons : la formation de bancs et îlots de sable dans les cours d'eau surtout sur les berges de l'Oued Ain Sefra, Oued Tirkounte, Oued Elbreidj et Oued Tiout ; la dégradation de la couverture végétale au niveau de dépression, entre Djebel Aissa et Djebel Mekther. La migration des populations et du bétail vers des régions plus humides et plus riches en ressources naturelles.

Face à l'ampleur du phénomène dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, il était important, dans le cadre du présent travail, de présenter un aspect descriptif du phénomène, en se focalisant sur des méthodes modélisatrices et expérimentales pour moderniser le dispositif de lutte contre l'ensablement dont les techniques n'ont pas changé depuis plusieurs années.

Toutefois, ce bassin versant figure parmi celles où l'activité éolienne est l'une des plus importantes. Elle constitue la principale menace naturelle et entrave l'aménagement et le développement économique. La lutte contre l'ensablement et le contrôle des migrations de sable reste l'une des priorités des autorités (El Ghannouchi, 2007).

Notamment, il existe que l'étude de Belmahi m.n, (2015) complète sur le phénomène dunaire dans cette région, les dunes du bassin versant de l'Oued Ain Sefra révélées par des photos aériennes de 1972 ont souvent servi à illustrer la plupart des ouvrages de photo-interprétation et sont fréquemment citées dans les livres à caractère pédagogique. L'insuffisance des études entièrement consacrées aux phénomènes dunaires dans les Monts des Ksour fait partie des nombreuses interrogations qui se posent les chercheurs chargés de la lutte contre l'ensablement. Cette situation a déterminé notre intérêt pour ce travail.

Mais notre recherche traite également sur des phénomènes de sédimentologie continentale car *«bien souvent la recherche pure en matière de processus éoliens naît des problèmes spécifiques apparus "sur le terrain" »* (Busche, 1984).

Pour nos recherches, nous exposons les problématiques suivantes :

- Les processus éoliens du bassin versant d'Oued Ain Sefra sont-ils aussi simples qu'ils semblent à la première approche ?
- Peuvent-ils se résumer à un train dunaire qui se consolide sous l'impulsion d'un vent monodirectionnel constant ?
- Les substances transportées correspondent-elles à des sables éoliens classiques ou présentent-elles une originalité telle qu'elles puissent être comparées à certains systèmes dunaires existant ailleurs ?
- Est-il possible de diagnostiquer le phénomène d'ensablement et d'évaluer le danger ?
- Quelles sont les causes et les facteurs générés ?

Des réponses ont été données suite à notre étude : des facteurs naturels favorisent ces déplacements. Des formes peuvent revêtir ces déplacements et leur acception en termes de bilan sableux et de régime éolien. Des variations granulométriques et morphoscopiques des matériaux durant leur transport et de leur classification spatiale. Celle-ci a permis de prouver l'originalité de l'action mécanique et de la dynamique éolienne. Des vents sur les relevés météorologiques qui

ont permis de calculer leur capacité de transport saisonnière et de mettre en évidence un cycle de fonctionnement annuel.

Cette étude a pour but l'analyse du milieu selon une approche classique qui examine la relation espace/société.

A cet égard, nous avons établi plusieurs objectives :

- Evaluer l'évolution de la dynamique éolienne du bassin versant d'Oued Ain Sefra dans la période 1972-2015 ;
- Prédire les zones vulnérables aux processus de l'ensablement par la télédétection et l'aide des images satellites ;
- Estimer le flux des déplacements sableux ;
- Identifier les facteurs et les causes de l'ensablement ;
- Utiliser ces résultats pour lutter contre le phénomène de l'ensablement et apporter les recommandations nécessaires.

Par conséquent, le plan d'étude est organisé en quatre parties principales.

D'abord dans la première partie nous déterminons la place du système dunaire de bassin versant de l'Oued Ain Sefra dans son contexte topographique, géologique, édaphique et socioéconomique pour mettre en évidence les agents dynamiques qui agissent sur son équilibre sédimentaire.

La méthodologie du traitement des données a été réalisée par la digitalisation des différentes cartes et les images MNT grâce au logiciel (ArcGIS- ENVI). Dans le cadre de cette étude, la démarche utilisée a comporté les étapes suivantes :

- travail d'organisation - qui consiste à collecter et identifier les données nécessaires pour cette étude ;
- travail de terrain - qui consiste à faire un diagnostic exhaustif basé sur l'observation du processus aux cours des nombreuses sorties entreprises sur le terrain.

Ensuite, la deuxième partie est consacrée à l'élaboration des cartes d'occupation des sols, grâce à l'utilisation de la télédétection et la cartographie afin de délimiter les zones vulnérables à l'érosion éolienne, de préciser l'origine, l'évolution et le déplacement du contenu sableux du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

On a basé sur la méthodologie de : Prétraitement des images satellites de 1972 (MMS) à 2015 (OLI) testé par L'indice du voile sableux (Abdellaoui, 1997), Classification supervisée et la détection du changement.

La troisième partie est destinée à l'évolution morphosédimentaire par la morphogénèse éolienne et l'estimation du flux sableux dans le système dunaire du bassin versant de l'Oued Ain Sefra et le placer dans son cycle climatique. Il s'agit du déplacement potentiel sableux proposé par Bagnold, 1954, amélioré par Fryberger, 1979 et simplifié par Oulehri, 1992 qui repose sur la vitesse seuil d'arrachement des grains de sables par le vent. La méthodologie appliquée dans cette partie est de : Caractérisation de la sécheresse météorologique et de l'aridité du bassin versant, nous basons sur l'Indice de l'écart à la moyenne et l'indice standardisé de précipitation (SPI), Indice de pluviosité (Ipm), Analyse fréquentielle et l'Indice du nombre d'écarts type.

Méthodes de caractérisation de l'aridité est par l'Indice d'aridité annuelle et mensuelle de Martonne, Le quotient pluviométrique d'Emberger et l'Indice xérothermique de Gaussen.

- Les affleurements et lithologie géologiques, Le facteur géomorphologique, La formation végétale, Le réseau hydrographique endoréique et le comportement de l'homme.

- Etude sédimentologie : granulométrie, calcimétrie, morphoscopie.

- Quantification de la quantité des sables déplacés (D.P.S) de 1985-2015 : Régime des vents efficaces (Ain Sefra de 1985 à 2015) et les déplacements potentiels de sable.

Enfin, la quatrième partie est consacrée à l'appréciation de dispositifs de lutte contre l'ensablement installés depuis les années soixante-dix, suite aux résultats obtenus par la validation des méthodes testées. Des recommandations et des aménagements alternatifs, inspirés par des études sur ce phénomène dans le monde sont également fournis.

En fin de compte, nous présentons une conclusion générale sous forme de synthèse et de recommandations sur quelques voies d'approfondissement de la recherche dans ce domaine.

Historique succinct des travaux de recherche réalisés dans ce domaine :

Il existe un important nombre de travaux sur les phénomènes dunaires et l'ensablement, en particulier, quel que soit l'échelle d'observation, du grain de sable jusqu'à l'erg.

Nous rappellerons les études réalisées par Callot Y (1987) qui a présenté une étude de géomorphologie et paléo environnements de l'atlas saharien au grand erg occidental : dynamique éolienne et paléo-lacs holocènes. Il a expliqué que c'est une région des paysages semi-arides au Nord passant à des paysages désertiques au Sud. Les différents paléo plans d'eau holocène de l'aval de l'Oued el Gharbi montre qu'ils ont fait l'objet de variations très rapides, à la fois spatiales et temporelles. Les paysages actuels, souvent très complexes, avaient été formes par deux processus principaux : les actions éoliennes et les remontées aquifères. L'un et l'autre ont réagi à un paramètre essentiel : la variation pédoclimatique.

Tarik Oulehri en 1992 a présenté une thèse de doctorat intitulé « Etude géodynamique des migrations de sables éoliens dans la région de Laayoune (Nord du Sahara marocain) ». Pendant ses recherches, il a découvert que malgré le contexte naturel très difficile que représente la lutte contre l'ensablement, nous pouvons contrôler les déplacements de sables par l'utilisation d'accélérateurs "Venturi" disposés en bordure de route et la fixation biologique par plantations d'arbustes sur les dunes après les avoir recouvertes de pierres. Il a également précisé que « l'efficacité des mesures de fixation et de contrôle biologique ne pourra être jugée que dans quelques années mais il faudrait expérimenter à la fois l'utilisation des treillis plastiques et étudier les potentialités des microorganismes en matière de fixation des sables à Tarfaya. »

Un autre chercheur, Marius c, (1995) a étudié le problème évolutif du phénomène d'ensablement et ses impacts négatifs sur les mangroves du Sénégal et l'étude scientifique sur la sécheresse et l'aridité et leur impact sur la désertification (Rognon, 1996).

En d'autres, nous avons le travail de recherche sur le développement de l'agriculture dans les régions semi-arides marocaines de Yacoubi et al. (1998) dans les régions arides et semi-arides algériennes.

Ces dernières années ont introduit une nouvelle approche basée sur le principe de la morphologie mathématique. Courel m. f et al, (1999) ont travaillé sur la contribution de la télédétection à l'étude de la désertification en Afrique de l'ouest tandis que Desjardins r. et al, (1999) ont étudié l'apport de la télédétection sur l'ensablement de palmeraies dans un secteur menacé du sud-est du Maroc.

Quant à Haboudane d. et al, (1999) ils ont utilisé des indices pour l'évaluation de la dégradation des sols d'un milieu semi-aride au sud-est de l'Espagne. De même, nous avons également l'étude pour le suivi de la désertification au Maroc à partir d'images de noaa lemsanni a. et al, (1999).

L'équipe de Benmohammadi a. et al, (2000) a étudié l'analyse des interrelations anthropiques et naturelles et leur impact sur la recrudescence des phénomènes d'ensablement et de désertification au sud-est du Maroc. Nous citons également les travaux de Escadafal r. et Pouget m, (1986) ; Escadafal r. et Pouget m, (1987) ; Escadafal r ; Pontanier r. et Belghith a, (1993) et Escadafal r. et Bachas. 1996 qui exposent le problème de dégradation des terres dans les pays de l'Afrique du Nord.

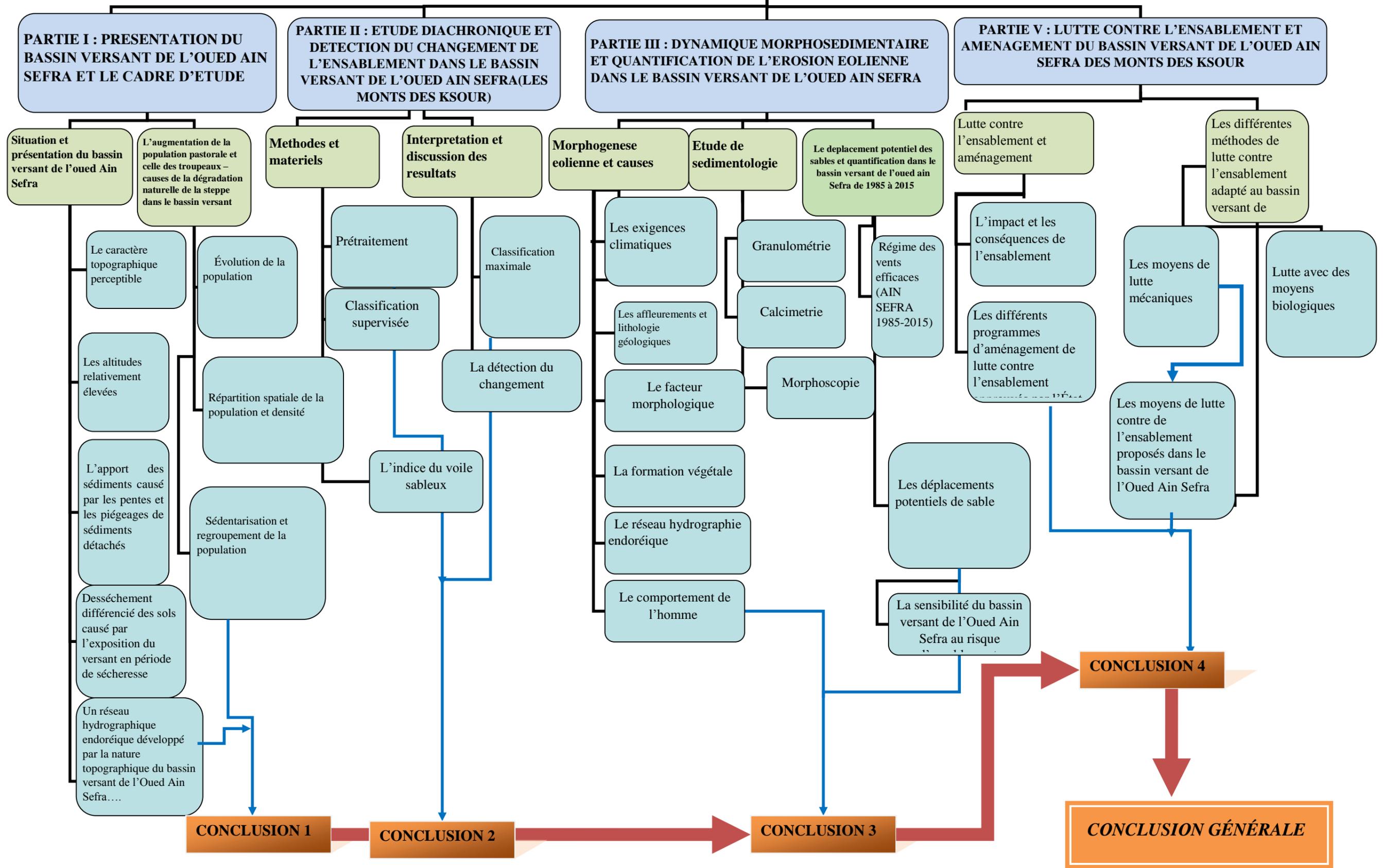
Ensuite, nous évoquons le travail de Desjardins r. et al, (2005) qui a mis en évidence l'avancée des dunes dans plusieurs endroits du Sud-est du Maroc. Ces auteurs ont utilisé des images civiles et militaires de très haute résolution spatiale afin de comprendre la dynamique de l'ensablement ainsi que des mesures sur la progression des édifices dunaires sur une période de 40 ans. La thèse de doctorat d'Abdelkrim Bensaïd intitulée : SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie) soutenue en juin 2006, a abordé le problème de l'ensablement par la cartographie, le SIG et la télédétection. Ses résultats montrent que les deux régions de Mécheria et Ain-Sefra font partie des zones avec des énergies éoliennes moyennes et fortes avec l'existence d'un déplacement de sable qui se fait sur de longues distances de septembre à avril ($RDP/DP > 0.3$). L'utilisation des données de télédétection nous a permis de suivre à l'échelle régionale l'évolution spatiotemporelle de la dynamique éolienne dans la wilaya de Naâma sur une période de 45 ans. A l'issue de cette étude, il apparaît que les méthodes numériques de traitement supervisé des données TM et MSS de Landsat apportent une contribution tout à fait performante à la cartographie de l'occupation du sol à moyenne échelle (1/250000 à 1/100000) en zone aride et à l'aménagement de ces régions.

Nous mentionnerons le travail d'Abdalilah El Ghannouchi en 2007, qui a étudié la dynamique éolienne dans la plaine de Sousse avec approche modélisatrice de la lutte contre l'ensablement. Pour les opérations de lutte contre le phénomène de l'ensablement, il faut reposer sur une meilleure connaissance des processus de la dynamique éolienne ; cibler les zones vulnérables notamment les aires de déflation et de transport éolien, renforcer la fixation mécanique par une fixation biologique avec une densité raisonnable pour assurer la consolidation de la surface du sol en utilisant momentanément les espèces ayant démontré leur capacité d'adaptation à des milieux similaires tout en cherchant à les améliorer par une sélection appropriée à la base des espèces autochtones. C'est essentiel d'accompagner ces opérations de fixation par des actions d'entretien et effectuer des reprofilages des zones vulnérables ainsi que les crêtes des dunes lors de la première intervention. Par ailleurs, il faut mettre en défens les trois formations du système dunaire de Sousse pour atténuer l'impact de l'action de l'homme et pour donner plus de chance à la régénération de la végétation naturelle et adaptée.

Quant à Moudjahid N. de Université Kasdi Merbah Ouargla, qui a publié un article en 2010 intitulé « Protection des routes contre l'ensablement : Cas de la RN53, RN53A, et la RN16 », a voulu apporter une contribution à la compréhension du mécanisme de l'ensablement et proposer des solutions de luttés qui peuvent réduire considérablement la fréquence des interventions des équipes d'entretien.

Récemment, Belmahi Mohammed.n en 2015 a présenté une thèse de doctorat, qui propose une explication du phénomène de l'ensablement et son impact sur les aménagements et l'environnement dans les Hautes Plaines Sud Oranaises et marges nord-ouest de l'atlas saharien algérien. Elle est intitulée «ensablement et aménagement dans les milieux arides et semi-arides sur les marges nord-ouest de l'atlas saharien Algérien ».

ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT SUR LE BASSIN VERSANTS DE L'OUED AIN SEFRA (LES MONT DES KSOUR)



**PARTIE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED
AIN SEFRA ET LE CADRE D'ETUDE**

Introduction :

L'érosion est caractérisée par l'arrachement, le transfert et la sédimentation des particules par l'eau, vent et gravité. La pluie et le vent sont les deux agents climatiques qui menacent le plus gravement l'état de ressource de basse. Cette affirmation est particulièrement vraie dans les régions arides.(Melalih, 2011).

Ainsi, dans cette partie nous avons présenté le bassin versant de l'Oued Ain Sefra dans son contexte géographique et nous avons exposé les principales unités topographiques : les reliefs, les dépressions et le réseau hydrographique, qui peuvent s'opposer ou au contraire faciliter ou même accentuer les effets de la dynamique éolienne.(Belmahi, 2015). Ensuite, nous avons présenté des autres facteurs qui participent au processus d'ensablement : la géologie, la lithologie, les facteurs édaphiques, le climat et la socio-économie.

La question essentielle de cette partie est de savoir comment le milieu physique contribue à la génération ou l'accélération du phénomène de l'ensablement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Partant de ce fait, notre principal facteur dans cette partie est le rôle du milieu physique de le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, qui consiste en : topographie - géologie - réseau hydrographie (inondations) - sol - climat et l'homme dans les processus de phénomène d'ensablement.

Afin de présenter le cadre d'étude et de trouver une relation entre les différents aspects et l'ensablement, nous allons suivre une méthodologie basée sur la collecte des données concernant le bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Nous avons utilisé les données topographiques (cartes topographiques d'Ain Sefra 1/25000, 1/50000, 1/100000, 1/200000, levés topographiques-images satellites et MNT de 30 m de résolution (SRTM) de 30m sortie sur terrain et points GPS) et géologiques (les études réalisées dans la zone), les cartes géologiques - les scènes satellites de Landsat et le travail d'organisation qui consiste à collecter et identifier les données nécessaires pour cette étude.

Notre recherche a été également basée sur : la Carte de l'occupation des terres de l'Algérie (feuille de Mécheria), 1/200 000e (Djebaili et al. (1979); la Carte de l'occupation des terres de l'Algérie (feuille d'Ain Sefra), 1/200 000e (Djebaili et al., 1981); la Carte pastorale de l'Algérie au 1/200000 (feuille d'Ain Sefra) 1/200 000e (Djebaili et al., 1981); la Carte géologique de l'Algérie (Naama) 1/500 000e (Gautier et Gouskov, 1951); la Carte géologique de l'Algérie (Ain Sefra et Mécheria) 1/500 000e (Cornet et Deleau 1951); différentes cartes des sols

d'Algérie: Extrait Carte des sols d'Afrique 1/5.000.000e. (F.A.O) ; la Carte photo géologique d'Aïn Sefra (Mékalis) au 1/100 000e (IGN, 1957) ; la Carte de découpage biogéographique de Quezel et Santa (1962) ; la Carte des précipitations du Sud-Ouest d'Algérie d'après Roche (1973) ; l'extrait de la Carte pluviométrique de l'A.N.R.H. (1993) ; la Carte de la végétation de l'Algérie, Oran par Alcaraz (1977).

Les travaux de cartographie ont pour but de nous renseigner sur les potentialités d'un territoire, son utilisation et ses aptitudes. La carte thématique peut également servir à préciser et mesurer les activités humaines. Selon certains auteurs, la cartographie de l'occupation du sol permet à la fois de réaliser un inventaire réel (aspects physionomiques des formations végétales) et associer dans un même document une constatation et une interprétation des éléments cartographiés (Bouazza et al. 2004).

Pour garantir le bon déroulement, il s'agit d'une consultation de données de base (textes, cartes thématiques, plans, toutes données représentées avec une précision cartographique suffisante, images satellitaires) (Benaradj, 2017).

L'acquisition des données a été faite par numérisation des cartes en format papier et des images Digital Elevation Model (DEM) en MNT de 30 m de résolution ou par le site web du satellite Astra, disponible gratuitement, mais qui a nécessité un traitement pour la réalisation des différentes couches d'informations en la rendant exploitable en format numérique.

Le traitement des données a été réalisé par la digitalisation des différentes cartes et les images grâce au logiciel (ArcGIS). Dans le cadre de cette étude, la démarche utilisée a comporté les étapes suivantes :

- travail d'organisation - qui consiste à collecter et identifier les données nécessaires pour cette étude ;
- travail de terrain - qui consiste à faire un diagnostic exhaustif basé sur l'observation du processus aux cours des nombreuses sorties entreprises sur le terrain.

Ensuite, nous avons procédé à la délimitation cartographique des zones d'intervention.

Les données numériques représentant la forme de la surface de la Terre les plus couramment utilisées ont été les modèles numériques de terrain (MNT) basés sur des cellules. Ces données sont utilisées comme entrée pour quantifier les caractéristiques de la surface de la Terre.

Les Démarches méthodologiques :

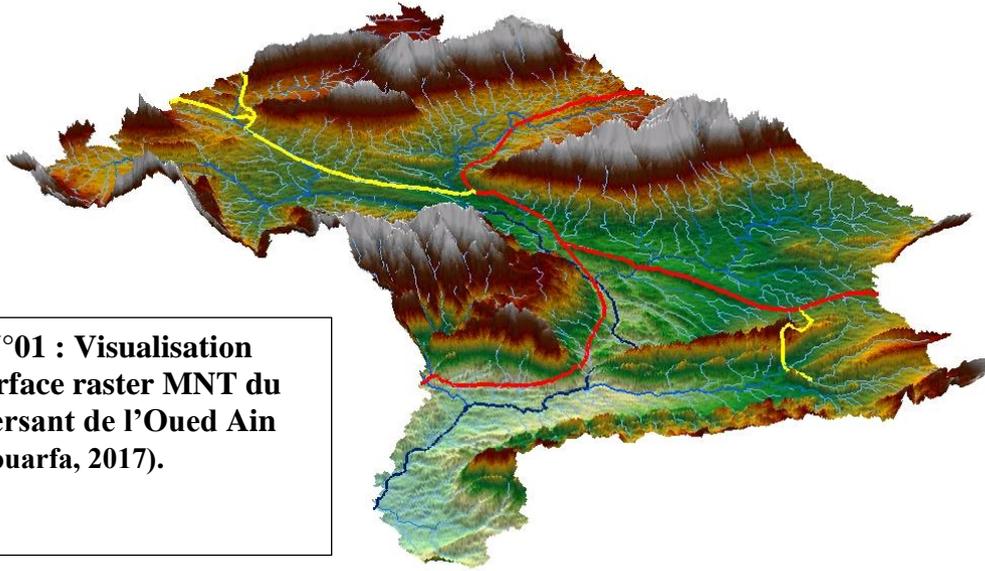


Figure N°01 : Visualisation d'une surface raster MNT du bassin versant de l'Oued Ain Sefra (Bouarfa, 2017).

Un MNT est une reproduction raster d'une surface continue, qui référence généralement la surface de la Terre. La précision de ces données est déterminée essentiellement par la résolution (distance entre les points d'échantillonnage). Les autres facteurs, qui ont une incidence sur la précision, sont le type de données (entier ou à virgule flottante) et l'échantillonnage réel de la surface, lors de la création du MNT d'origine (desktop.arcgis).

L'unité de cuvettes d'un MNT donné est évidemment plus élevée pour les MNT dont la résolution est plus grossière. Le stockage de données d'altitude sous la forme de nombres entiers peut également être à l'origine de la présence de cuvettes. Cela peut s'avérer notamment gênant dans les zones de bas-relief vertical. Il est assez courant de déterminer qu'1 % des cellules d'un MNT à une résolution de 30 mètres sont des cuvettes. Pour un second MNT à 3 arcs, ce taux peut atteindre 5 %.(Fig. 01)

Les MNT constituent le plus souvent un dérivé de ces modèles, de tous les éléments constitutifs de la couverture topographique pour ne garder que le sol nu. Le terme «couverture topographique» désigne tous les éléments situés au-dessus de la surface terrestre continentale : un habitat et végétation haute comme les forêts. Ces traitements peuvent comprendre : le calcul du relief à l'aide d'un couple d'images stéréoscopiques (dans le cas de photos aériennes), une étape de traitement du signal (pour des acquisitions laser par exemple) ou une phase d'interpolation (lors de levés de terrain). Cette dernière accepte d'obtenir une représentation continue à l'aide d'un nombre fini de points (Benaradj, 2017). Les satellites avec leurs capteurs radar ou optiques vont tout d'abord fournir l'imagerie grâce à laquelle on obtient l'information

d'altitude via des traitements appropriés. Ensuite, il existe également les systèmes qui sont embarqués sur des avions (laser, radar, ou photographie aérienne) (H Mohamed Fethi 2011). Enfin, il y a également les levés de terrain acquis sous forme de points régulièrement répartis sur la surface à modéliser (Short, 2000 ; Berger et al. 2005).

Le schéma suivant montre les différentes démarches méthodologiques :

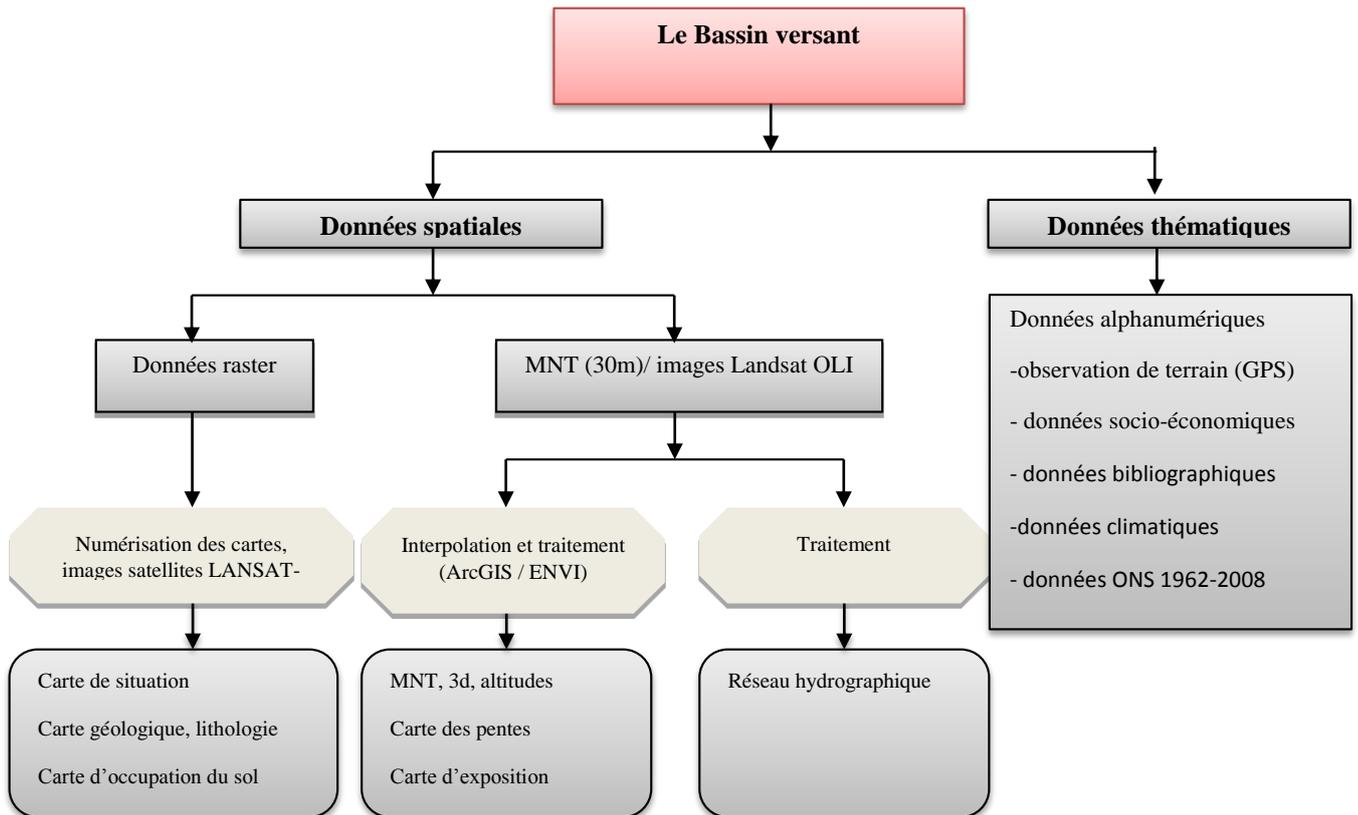


Figure N°02 : démarche méthodologique générale de travail.

Nous avons exploité le MNT issu de la mission SRTM de la NASA, qui a pour but d'établir un modèle numérique de terrain (MNT 30 mètres de résolution) de l'ensemble de la terre. La mission utilise l'interférométrie radar. Ces données sont utilisées afin d'établir les couches d'information suivantes sous la forme des cartes. Carte de MNT qui est extraite à partir des images SRT M à l'aide de logiciel SIG (ArcGIS). Ensuite nous avons la création de la carte des pentes qui se calcule par la tangente à la surface dans le plan vertical, cette carte est obtenue à partir de l'analyse de MNT Sous ArcGIS. Pour la Carte hypsométrique, nous avons utilisé le SIG pour présenter les classes d'altitude sous forme d'une carte. Carte des reliefs : on présenté les courbes de niveau sous forme trois dimension (3D).

Et pour la Carte du Réseau hydrographique, les réseaux hydrographiques peuvent être délimités à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) à l'aide de la sortie générée par l'outil Accumulation de flux, dans sa forme la plus simple, qui correspond au nombre de cellules en montée qui s'écoulent dans chaque cellule. En appliquant une valeur de seuil aux résultats de l'outil Accumulation de flux à l'aide des outils Con ou SetNull, nous avons pu délimiter un réseau hydrographique (Tarboton, D. G., R. L. Bras et I. Rodriguez-Iturbe. 1991).

Pour délimité le bassin versant de l'Oued Ain Sefra il faut calculer l'extraite de la valeur de la source dans les données raster ou vecteur de points d'écoulement. Lorsque le point d'écoulement est un jeu de données raster, les valeurs de cellule sont utilisées. Lorsque le point d'écoulement est un jeu de données d'entité ponctuelles, les valeurs proviennent du champ spécifié. Pour obtenir des résultats supérieurs, il suffit d'utiliser l'outil capture des points d'écoulement au préalable afin de localiser les points d'écoulement aux cellules présentant une accumulation de flux élevée. Quand nous spécifions les emplacements des points d'écoulement en entrée comme données d'entité, le champ par défaut est le premier champ valide disponible. (desktop.arcgis.com).

I. Situation et présentation du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra des Monts des Ksour fait partie du sud-ouest des hautes plaines oranais et forme la partie occidentale de la chaîne atlasique algérienne. Les Monts des Ksour constituent le prolongement vers l'est du Haut Atlas du Maroc. Elles sont limités au Nord par les Hautes Plaines d'Oranie, et au Sud par la baisse plateaux et l'Erg Occidentale, et à Est par les Monts de Djebel Amour, et à Ouest par Haut Atlas.

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra des Monts des Ksour est une région montagneuse assez élevée, constituée par des chaînons allongés orientés Sud-Ouest Nord- Est. Les sommets de certains chaînons culminent à plus de 2000 mètres d'altitude comme le Djebel Aissa, Djebel Mzi, Mir El Djebel et Mekther. Ces chaînons se relient pour former une barrière topographique et climatique entre l'Algérie septentrional et le domaine saharien. Vers le nord, les reliefs vigoureux des Monts des Ksour passent directement par des reliefs plus atténués des Hauts plaines oranaises où les altitudes avoisinent 1200 mètres et qui s'abaissent régulièrement vers la dépression des chotts sur le versant méridional. Le passage vers la plate-forme saharienne est brutal et le dénivelé atteint facilement plus de 1200 m. Ces chaînons sont souvent séparés par de larges cuvettes allongées qui facilitent le passage entre le nord et le sud puis entre l'est et l'ouest (Fig. 03 et 04).

PARTIE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA ET LE CADRE D'ETUDE

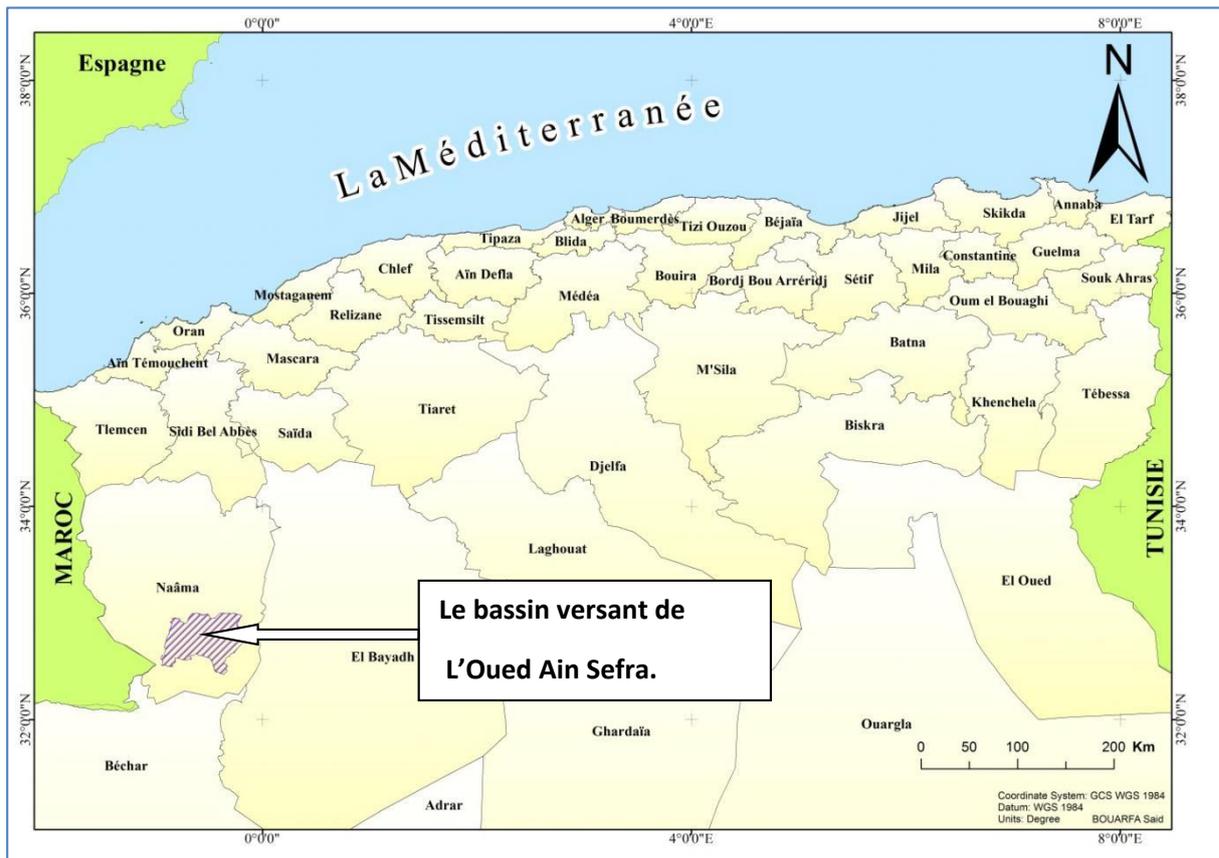


Figure N°03 : localisation du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

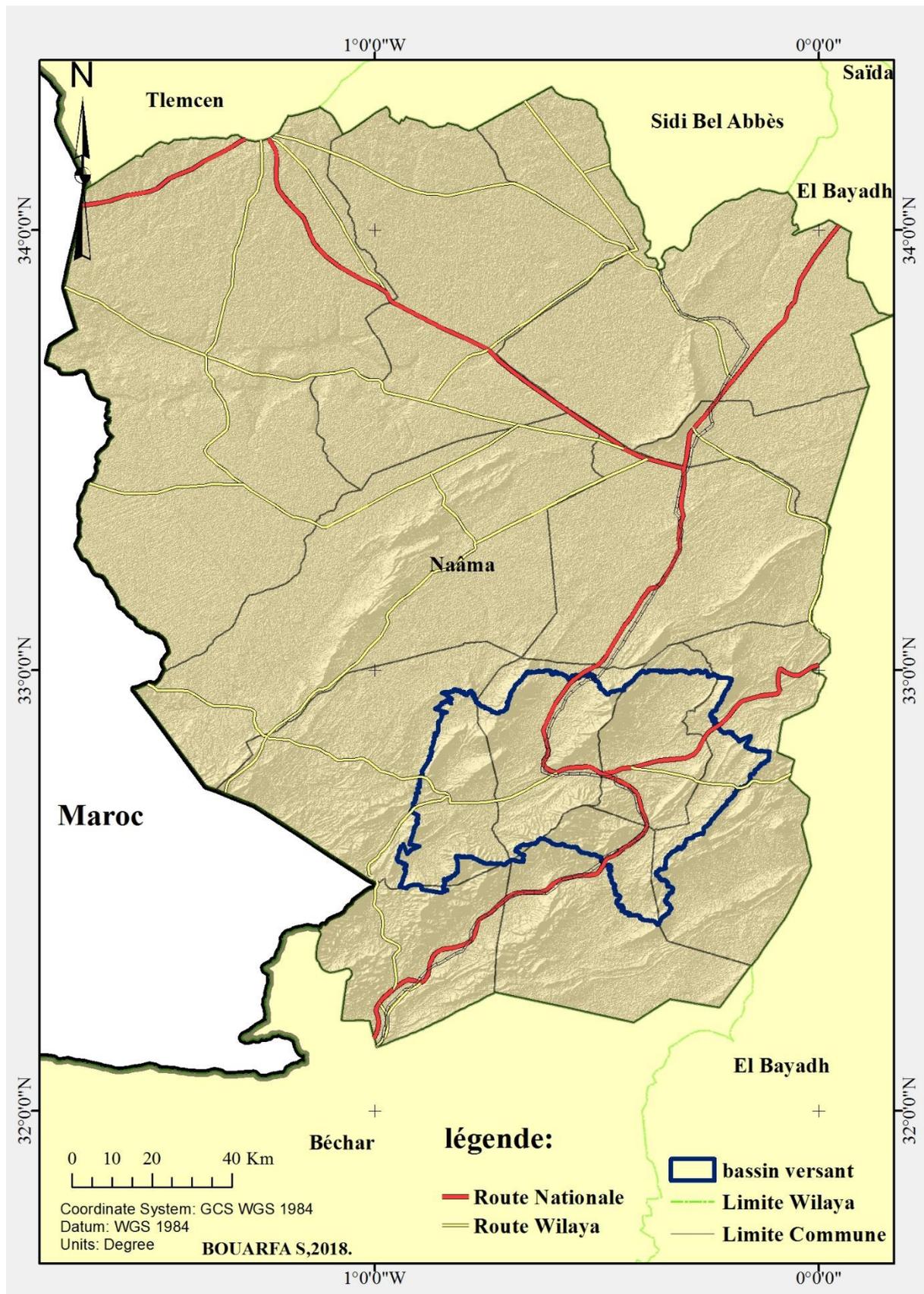


Figure N°04 : localisation du bassin versant de l'Oued Ain Sefra dans la Wilaya de Naâma.

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a une superficie de 300735.3 hectare soit 0.13% de la surface de l'Algérie, plus vaste que la Wilaya d'Oran et 11 autres Wilayas (Wilaya de Jijel, Tizi Ouzou, Aïn Témouchent, Constantine, Mostaganem, Tipaza, Oran, Boumerdès, Blida, Annaba et Alger).

Les Monts des Ksour sont limitées au Nord par la ligne des chotts Ech-cherghi et El Gharbi et au Sud par le piémont septentrional de l'Atlas Saharien. Ce vaste territoire est marqué par un paysage tabulaire de 1000 à 1200 mètres d'altitude en moyenne que l'on dénomme par l'appellation de Hautes Plaines. Cet ensemble monotone est entrecoupé par un longue arrête montagneuse qui s'étire du Sud-Ouest (Djebel Oust) en passant par la partie centrale de la plaine où sont matérialisés les Djebels Gaaloul, Arar, Kerrouch, Bou Amoud et Guetob El Hamra. Il finit le tracé au Nord-Est par le Djebel Antar (1750 mètres) et plus au Nord par le Djebel Amrag (1225 mètres). Cette longue arrête montagneuse qui s'allonge sur plus de 150 km est jalonnée tout le long de ses versants Nord-Ouest par le grand Accident Nord Atlasique. Parallèlement à cette première arrête montagneuse, des nombreux chaînons sont disposés en séries parallèles et orientés Sud-Ouest à Nord-Est, constituant les Monts des Ksour (Djebel Saïga, Mir El Djebel, Djebel Mekther, Djebel Aissa). Plus à l'Est, un ensemble de rides montagneuses d'altitude moyenne (1200 mètres) se détache pour rejoindre les premiers reliefs du Djebel Amour.

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra est constitué par deux Oueds Tirkounte et Breidj qui sont situés au Sud-Ouest du territoire Algérien, à l'Ouest de la ville d'Ain Sefra. Les deux Oueds qui traversent la ville d'Ain Sefra, se rejoignent pour former en plein centre le tissu urbain l'Oued Ain Sefra, puis plus en aval l'Oued El Rghouiba, formant la partie amont du grand bassin versant saharien du Namous, qui décharge ses eaux dans le grand Erg occidental (Melalih, 2011).

En effet , L'étude des interactions relief-migrations éoliennes des sables nous a permis de mettre en évidence des localisations préférentielles des dunes. (Benazzouz, 1994)

1. Le caractère topographique perceptible :

Le bassin versant est caractérisé par une topographie largement dépendant de la structure, mais aussi de son dégagement par l'érosion qui est favorisé par la perméabilité topographique transversale des Monts des Ksour. Le terme perméabilité employé par Callot Y. (Callot, 1987), signifie la morphologie perceptible du bassin versant qui relativement laisse passer le sable dans un sens orographique et selon des processus qui restent à déterminer (Callot, 1987).

La morphologie du bassin versant agit pareillement sur le régime des Oueds. Il existe des pentes fortes et moyennes, mais la caractéristique torrentielle des affluents de monts des Ksour est plus abrupte, puisqu'ils traversent des vallées et dépressions séparant les reliefs plissés.

Ce caractère de l'Atlas Saharien s'est conjugué avec la disposition générale des reliefs de part et d'autre de la chaîne pour donner aux bassins d'alimentation des grands Oueds une extension rare dans les chaînes plissées : au Nord, en système d'écoulement endoréique.

Dans les Monts des Ksour, la presque totalité de la chaîne est drainée vers le Sud à travers la ligne des plus hauts sommets, interrompue par des vastes cluses, parfois même à dépressions fermées endoréiques, comme celles de Bou Semrhoun ou des Arbaouats (Callot, 1987).

Le bassin versant a une morphologie résultante de la disposition entre deux facteurs : l'altitude et la pente, qui par ses effets contraignants, constitue un des facteurs saillants pour notre étude. Dans cette région le relief intervient dans deux contraintes majeures, le phénomène d'ensablement et le risque lié aux inondations.

La morphologie du bassin versant de l'Oued Ain Sefra des Monts des Ksour est celle des différents objets géomorphologiques et géologiques qui y prévalent. Ils impriment leurs modèles sur les reliefs constitués : **des chaînons montagneux et des dépressions.**

1.1 Les chaînons montagneux :

les chaînons ou les djebels du bassin versant de l'Oued Ain Sefra des Monts des Ksour, se présentent sous forme d'ensemble massif à structures complexes et plus ou moins allongées et étirées suivant l'axe général du plissement Sud-Ouest, Nord-Est. Ces structures sont généralement liées à la tectonique, à la lithologie et à l'érosion.

Elles sont constituées de roches dures de nature calcaire, calcaire dolomitique et grès, d'âge Jurassique dont la pente des versants est généralement abrupte. Parmi ces structures plissées il est important de citer l'anticlinal d'âge jurassique culminant à 2136m de Djebel Morghad d'orientation Sud-Ouest Nord-Est (Remaoun K, 1998).

Ce sont des structures anticlinales formées par les masses gréseuses du continental intercalaire. Ils constituent les éléments du relief de la région avec le Djebel Aissa (2136 mètres) qui se

prolonge vers le Sud au-delà d'Ain Sefra par un anticlinal crétacé, arasé coupant le centre du bassin. Nous avons également le Djebel Afzouz (1787 mètres) qui est cerné par des cuvettes gréseuses d'âge Crétacé. Le Djebel EL-Souiga (1778 mètres) long de 16 km, est relayé vers le Nord-Est par le Djebel Zerigat (1395 m) puis par Djebel Mellah (1817 mètres) long de 17 km ou soit par la série du Jurassique Supérieur Continental dans le Mir El Djebel (2062 mètres), avec Djebel Mekther (2062 mètres), Djebel Morghad (2136 mètres au Ras Touil) au Nord-Ouest d'Ain Sefra. Sa terminaison s'abaisse au Sud-Ouest (Djebel EL-Hairech). Il s'oriente brutalement vers l'Ouest, au niveau de Ras Touil, et trouve son prolongement dans le Djebel Bou Amoud.

Nous rencontrons des inflexions et couronnes périphériques appelées "Delaat", il s'agit-il des petites collines formées d'ensembles gréseux compacts souvent aigües et allongées qui suivent à distance les flancs des principaux massifs, comme exemple, et on peut citer : le Dir-El-Hairech (1 208 mètres) et Garet-Deba, de part et d'autre du prolongement du Djebel Aïssa, ainsi que Garret-EI-Kheil localisée sur le flanc Sud-Est du Djebel El Hairech (Abdallah, 1987).

1.2 Les dépressions à fond plat de l'ordre métrique à kilométrique :

« ...Cette dépression s'étend sur une longueur de 30 km et une largeur de 24 km et elle est drainée par l'Oued Breidj. Une seconde dépression (Faidjet el Betoum) occupe le fond d'un couloir montagneux orienté Sud-Ouest Nord-Est entre les deux massifs montagneux parallèles, le Djebel Aïssa à l'Est et Djebel Morghad à l'Ouest » (Bensaid, 2006).

Elles sont désignées par la toponymie du lieu où elles prennent place. La dépression de Mékalis vers Tirkount est constituée d'un remplissage tertiaire plus ou moins épais et augment probablement en épaisseur vers le Nord. Cette dépression sépare la dorsale d'Aïssa-Mellah de la dorsale de Bou Amoud-Morghad (Bouarfa et Bellal, 2018).

La dépression de Hessiane Sfaïa qui sépare la dorsale de Bou Amoud-Morghad de la dorsale de Rhelida-Doughd, se rejoignent vers le NW de Naâma en donnant la grande étendue d'Ain Ben Khalil (Fillali, 2011).

Dans les dépressions on trouve des glaciers soit d'accumulation ou de dénudation entourent les monts des Ksour. Selon Pouget (1977), il y a plusieurs formes de glaciés, on cite : Les glacis du Quaternaire ancien incisés par les dayats de taille variables, les glacis du Quaternaire moyen qui présentent des accumulations calcaires sous forme d'encroûtement, et les glacis du Quaternaire récent de dépôt alluviaux et colluviaux telles que les chenaux et terrasses d'Oueds. L'accumulation du calcaire se fait en amas ou en nodules, parfois en encroûtement, plus rarement en croûtes (Belkacem, 2014).

Les dayas, ce terme vocabulaire caractérise une dépression fermée à fond plat de l'ordre métrique à kilométrique où s'accumulent les eaux de ruissellement non salées ou peu salées, temporairement inondables (F. Joly et al, 1997 et M. Pouget, 1980). Elles sont des brèves dépressions peu encaissées. Les sols de dayas sont souvent plus profonds par rapport aux glacis encroûtés et ils sont accordés par l'armoise blanche (*Artemisiaherba Alba* : Chih). Toutefois, la céréaliculture trouve son espace dans ces dépressions ainsi que sur les rebords. Elles sont mises en culture après avoir été défoncées ou routées pour rompre la croûte.

Cependant que les formes d'accumulations anciennes, à matériel éolien sont représentées dans les dépressions par les champs de dunes formés aux piémonts des djebels. Nous rencontrons ce type de formations dans le bassin versant des monts des Ksour.

Sur la base de la carte topographique, la carte géologique (Cornet A. et Delepau P., 1951) et le model de MNT du bassin versant, plusieurs formations sableuses peuvent être mentionnées, comme par exemple, un ancien cordeau dunaire d'âge quaternaire délimité dans le Nord du djebel Morghad et de disposition Sud-Ouest Nord-Est (une orientation $\approx 37.29^\circ$ SW et 43.15° NE). Il s'étend sur une longueur de 42 km et 3 – 4 km de largeur ; Au piémont Nord du Djebel Mekther il existe un autre cordon dunaire qui est le plus célèbre, il s'étend sur 32 km la longueur et entre 3- 5 km de largeur et il a une hauteur de jusque 80 mètres.

Des aspects d'accumulations récentes sont fortement liées d'une part, aux régimes des fréquences des vents efficaces, à la nature des substrats lithologiques et à la nature des obstacles (touffes de végétations, chaînons de montagnes, bloc, reg, remblais de carrière, etc.) qui sont responsables de leur formation d'autre part. Ainsi que le bassin versant qui est caractérisé par un réseau hydrographique développé et des écoulements conditionnés par la structure du relief de ce bassin versant.

Notre intérêt est focalisé sur l'altitude et l'élévation du terrain, qui sont joue un rôle fondamental dans le problème de l'ensablement où la pente accélère l'érosion hydrique et les processus de dégradation des sols.

2. Les altitudes relativement élevées :

La plus part des facteurs météorologiques (précipitations, températures) et hydrologiques sont en fonction de l'altitude, d'où l'importance de connaître la répartition des surfaces en fonction de l'altitude(Melalih, 2011). Les sommets culminent en général entre 1500 et 2200 mètres, mais leur base est à 1200 mètres au Nord et entre 1000 mètres et 900 mètres (rarement) au Sud.

Le bassin versant de l'Oued d'Aïn Sefra fait exception, car il renferme les plus hauts sommets (la chaîne culmine à 2236 mètres au Djebel Aïssa au Nord de la ville d'Ain Sefra) et qui dépassent 1000 mètres de dénivelée (Fig.05).

Les chainons montagneux : Les monts des Ksour se remarquent par leur altitude très élevée, et qui dépasse souvent les 1500 mètres. Elle abrite deux entités montagneuses alignées d'Ouest en Est.

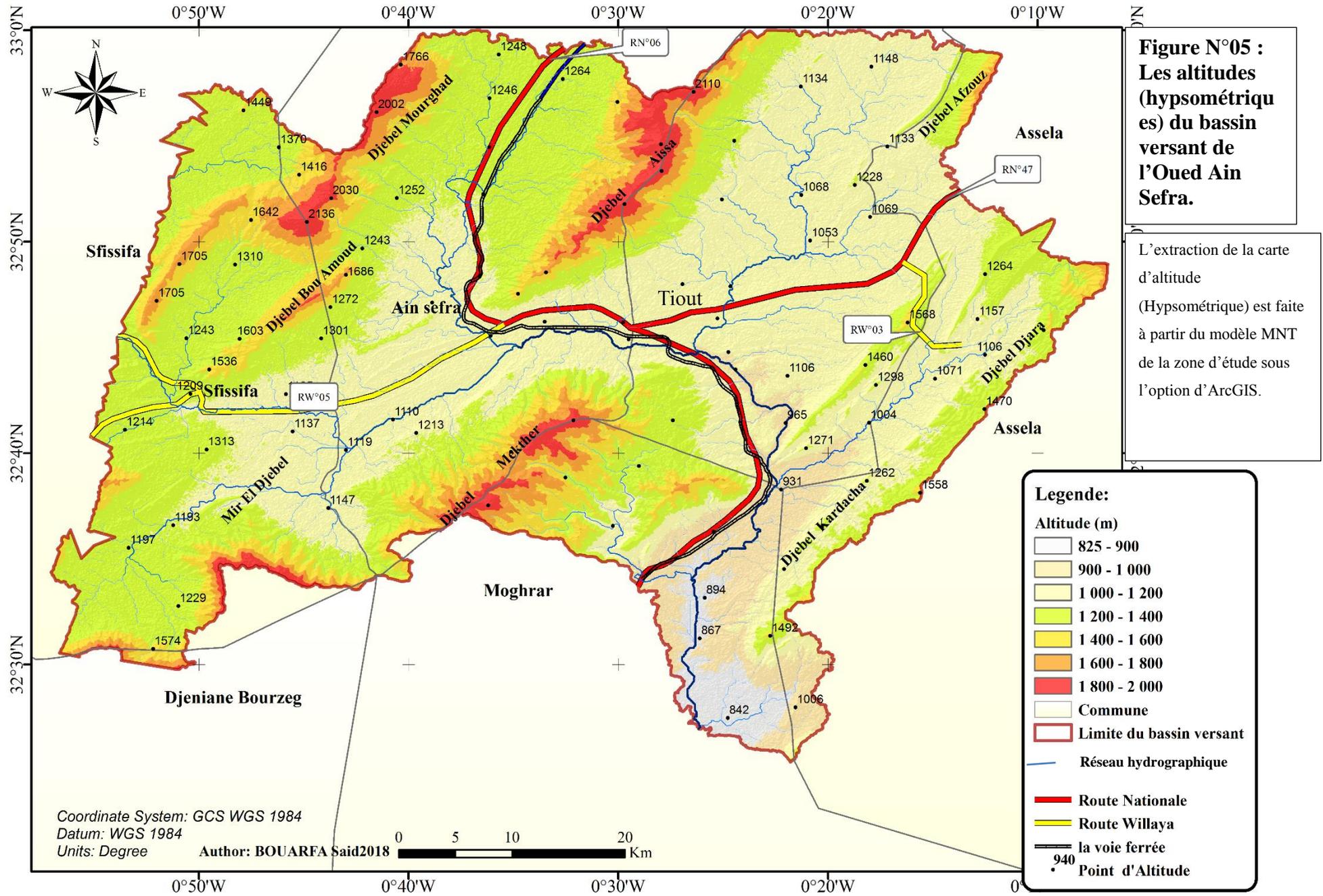
L'entité Nord a plusieurs sommets qui s'élèvent à plus de 2000 mètres d'altitude et on cite : Djebel Mzi (2187 mètres), Mir El Djebel (2109 mètres), Djebel Mekther (2062 mètres) et Djebel Aïssa (2236 mètres).

L'entité Sud, principalement formée par Djebel Morghad dont le point culminant, Ras Touil est à 2136 mètres, Djebel Bou Amoud a plus de 1600 mètres, et Djebel Bou Lerhfad avec 1690 mètres.

Les dépressions sont légèrement inclinées vers le Nord où les altitudes sont comprises entre 1100 mètres au Nord et un peu plus de 1200 mètres au Sud, et elles sont délimitées à l'Est par Djebel Mourghad, à l'Ouest par Djebel Aïssa et Mekther dans sa partie Ouest (Boukholkhal, 2007).

Une dépression forme le prolongement de la zone montagneuse vers le Sud entre l'Est de Djebel Aïssa et Nord-Est de Djebel Mekther par l'Est et Nord. Son altitude et sa dénivelée se réduisent régulièrement depuis l'Atlas Saharien vers l'Erg Occidental où elle atteint son point le plus bas à environ 1000 mètres.

PARTIE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA ET LE CADRE D'ETUDE



3. L'apport des sédiments causé par les pentes et les piégeages de sédiments détachés :

La pente a une intervention importante dans le phénomène de l'ensablement, elle gère les mouvements du vent et sa direction. Ainsi les vents puissants mettent leur charge des sables à proximité et au bas de la zone où il existe une pente considérable.

La notion de pente comprend deux agents bien distincts : le degré d'inclinaison du terrain par rapport à l'horizontal et la longueur sur laquelle s'applique ou se manifeste de façon continue un processus. L'influence de la pente (inclinaison, longueur, forme) est très complexe. Les pentes convexes apportent plus des sédiments à la rivière que les pentes concaves où l'on observe des piégeages de sédiments détachés qui a comme résultat des sols colluviaux. D'autre part, la longueur des pentes a en général peu d'effet sur le ruissellement et l'érosion en nappe car les frottements sur les rugosités du sol empêchent l'accélération des nappes ruisselantes, par contre la masse du ruissellement concentré en rigole peut s'accumuler le long d'une pente et ouvrir un impact exponentiel sur l'érosion linéaire. Mais l'inclinaison du versant n'augmente pas toujours le ruissellement, lequel peut être très fort sur des pentes faibles. Par contre la charge solide et l'érosion augmentent de façon exponentielle et l'exposant peut varier de 1.2 à plus de 2 si le sol est mal couvert (Roose.É, 1980).

Pente %	Surface H	Pourcentage
0-3	36703,93	12,21%
03 -6	73446,99	24,42%
6-12,5	104471,74	34,74%
12,5-25	63671,41	21,17%
Plus de 25	2413,83	7,45%
	300703,50	100,00%

Tableau N°01 : les classes des pentes (surface et pourcentage) du bassin versant d'Oued Ain Sefra.

D'après la figure (Fig. 06) et le tableau 01, nous avons conclu que les classes de pente s'identifient aux deux unités naturelles du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Les chainons montagneux : D'après le tableau des classes des pentes, la classe de pente de 6 à 25% et plus est la plus dominée et elle représente presque 58 % de la surface du bassin versant soit en total 190556 hectares, ce qui est évidemment dans la zone des chainons montagneux et les dorsales. Les montagnes qui ont la morphologie la plus distinctive, généralement sont

accidentées, représentées par la classe de pente plus de 12.5% et qui couvre presque 30% de la surface. On note que la majorité des formes d'ensablement sont localisées au bas des zones qui se caractérisent par des dénivellations, nous citons ici les dunes du sable aux pieds de Djebel Mekther et le champ dunaire de Magroune au pied de Djebel Mourghad, même au pied de Djebel Aissa on a trouvé des accumulations sableuses récentes. Les chainons montagneux, quant à elles se distinguent par leurs reliefs très élevés et à très forte dénivelée (classe de pente dominante : supérieure à 12.5%), parsemées de petites vallées et terrasses alluviales occupées par des magnifiques oasis à l'image de : Tiout, Moghrar, etc., sans oublier Ain Sefra, une importante ville aujourd'hui, mais qui à l'origine était un Ksar.

Il est bien connu que, plus la pente est raide, plus l'eau n'érodera le sol. Les pentes convexes apportent plus de sédiments à la rivière que les pentes, telles que les grains et les sables.

Les dépressions sont les unités topographique le plus touché par l'ensablement, ont une topographie générale relativement plane à pente douce et s'inscrivent dans la classe de pente inférieure à 6%. (Fig 06). Les dépressions caractérisées par la pente de 0-6 % représentent 40 % de la totalité de surface soit un total de 110151 hectares. Les dépressions sont les endroits les plus favorables pour la mobilité des accumulations sableuses, la dépression qui situe entre Djebel Aissa et Djebel Mekther est un exemple de témoin du rôle des dépressions dans les processus de l'ensablement. (Tab. 01)

L'écoulement est endoréique et en pente il est extrêmement faible. Les Oueds coulent seulement pendant les très courtes périodes qui suivent les pluies. Pendant cet écoulement endoréique et sans réseau, sur un sol à végétation espacée, l'eau se perd d'avantage par évaporation que par infiltration, localement dans les dépressions fermées, comme les gueltas et dayats.

L'étude de la topographie du bassin versant ne peut ignorer les formes du relief et leurs interactions avec l'altitude et l'exposition des versants. L'exposition explore le passé, le présent et l'avenir de ces paysages.

PARTIE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA ET LE CADRE D'ETUDE

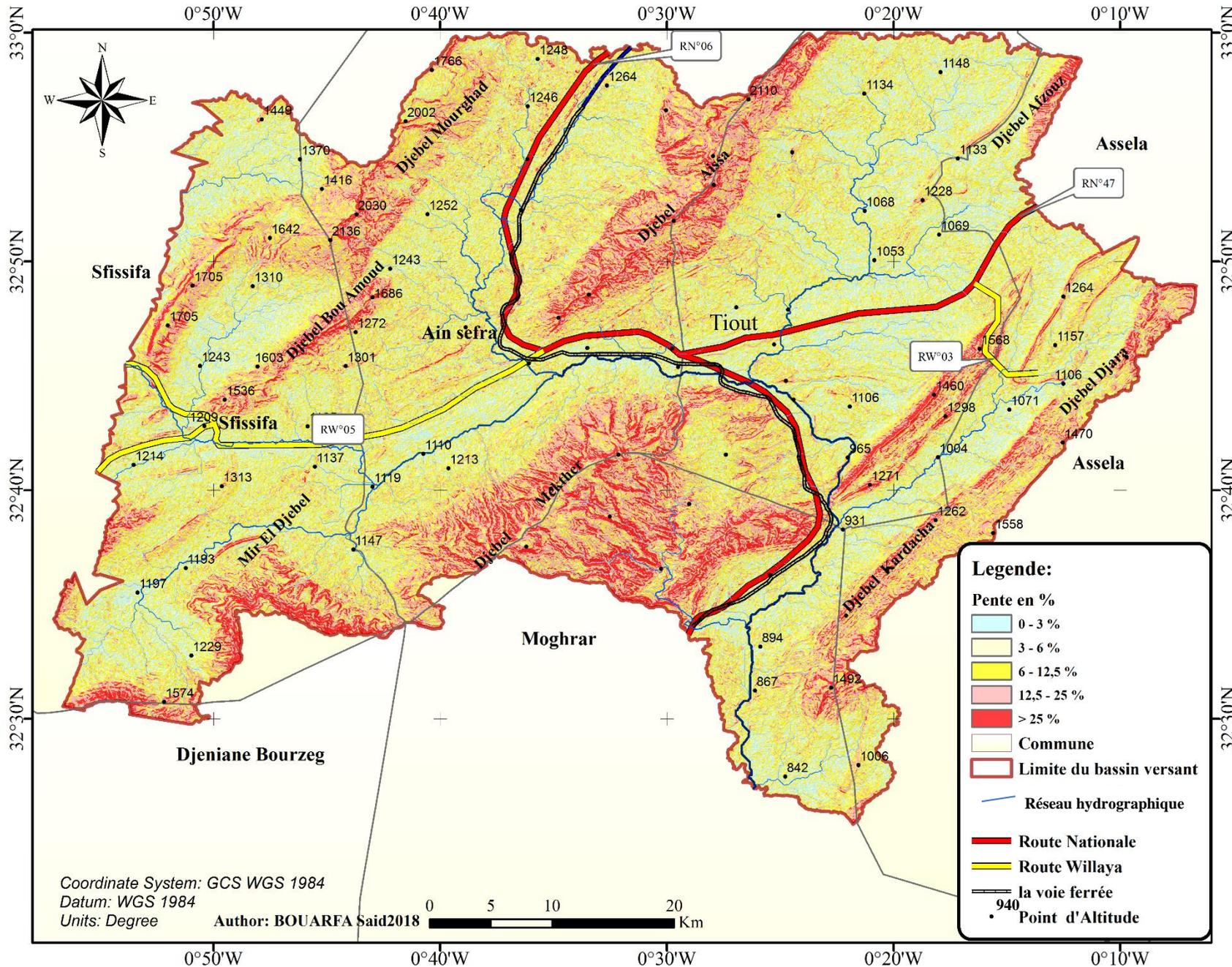


Figure N °06 :
Les pentes du
bassin versant
de l'Oued Ain
Sefra.

C'est obtenu par l'analyse du MNT à partir d'un semis de points et la dérivation du Modèle Numérique d'altitude sous ArcGIS. Le principe d'extraction de cette Carte est à l'aide des calculs par la tangente à la surface dans le plan vertical. La fonction d'analyse de ArcGIS (Create slope & aspects) permet de visualiser les Pentes de la zone d'étude.

4. Dessèchement différencié des sols causé par l'exposition du versant en période de sécheresse :

Grace à l'exposition des versants du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, nous pouvons détecter toutes les pentes de la partie Nord d'une montagne et toutes les pentes exposées au sens du vent dans le bassin versant pour mieux identifier les emplacements où le sable est susceptible de s'accumuler plus rapidement. C'est nécessaire d'identifier les zones de terrain plat afin d'identifier les dépressions.

Il existe deux méthodes pour calculer l'aspect. Nous avons la possibilité d'effectuer des calculs planaire ou géodésique avec le paramètres Méthode.

Avec la méthode planaire, le calcul sera effectué sur un plan plat projeté à l'aide d'un système de coordonnées cartésien 2D. Avec la méthode géodésique, le calcul sera effectué dans un système de coordonnées cartésien 3D en considérant la forme de la Terre comme un ellipsoïde. Les conditions d'exposition des versants conduisent en période de sécheresse à un dessèchement différencié pour des sols cultivés (Le Gouée, 1998).

L'exposition d'un sol en pente modifie fortement le microclimat, et par la suite l'humidité et le risque de gel, ainsi que l'ensoleillement. C'est un facteur qui intéresse également l'écologie du paysage. En termes de productivité biologique, un versant exposé à l'Ouest ou Sud-Ouest peut favoriser une productivité accrue, mais peut aussi être plus vulnérable à la sécheresse.

L'exposition des versants du bassin de l'Oued Ain Sefra joue un rôle déterminant sur la durée d'enneigement et sur la période de végétation. Elle joue aussi un rôle sur la sélection des espèces végétales capables de s'installer et de survivre dans les différents compartiments du paysage.(Le Gouée, 1998).

L'adret est un terme géographique désignant le versant d'une montagne qui subit la plus longue exposition au soleil. L'ubac quant à lui désigne le versant d'une montagne qui subit la plus courte exposition au soleil. L'ubac est le versant froid parce qu'il est orienté au Nord. Par opposition, l'adret est le versant plus chaud, situé au Sud.

Le contexte topographique peut générer localement des différences notables de dessèchement des sols. (Fig. 07)

Dans les chainons : L'opposition entre les versants Sud-Est et Nord-Ouest, le versant du soleil et le versant de l'ombre (l'adret et l'ubac des Monts des Ksour), est tellement nette, surtout dans les montagnes, qu'elle a été depuis longtemps remarquée et minutieusement décrite.

Des différences sensibles peuvent de même être observer entre le versant exposé à l'Est et le versant exposé à l'Ouest. Les hommes se sont établis au pied des djebels, au débouché des torrents.

Dans les dépressions, à la fois aux approches de la bonne terre (Gachon, 1923).

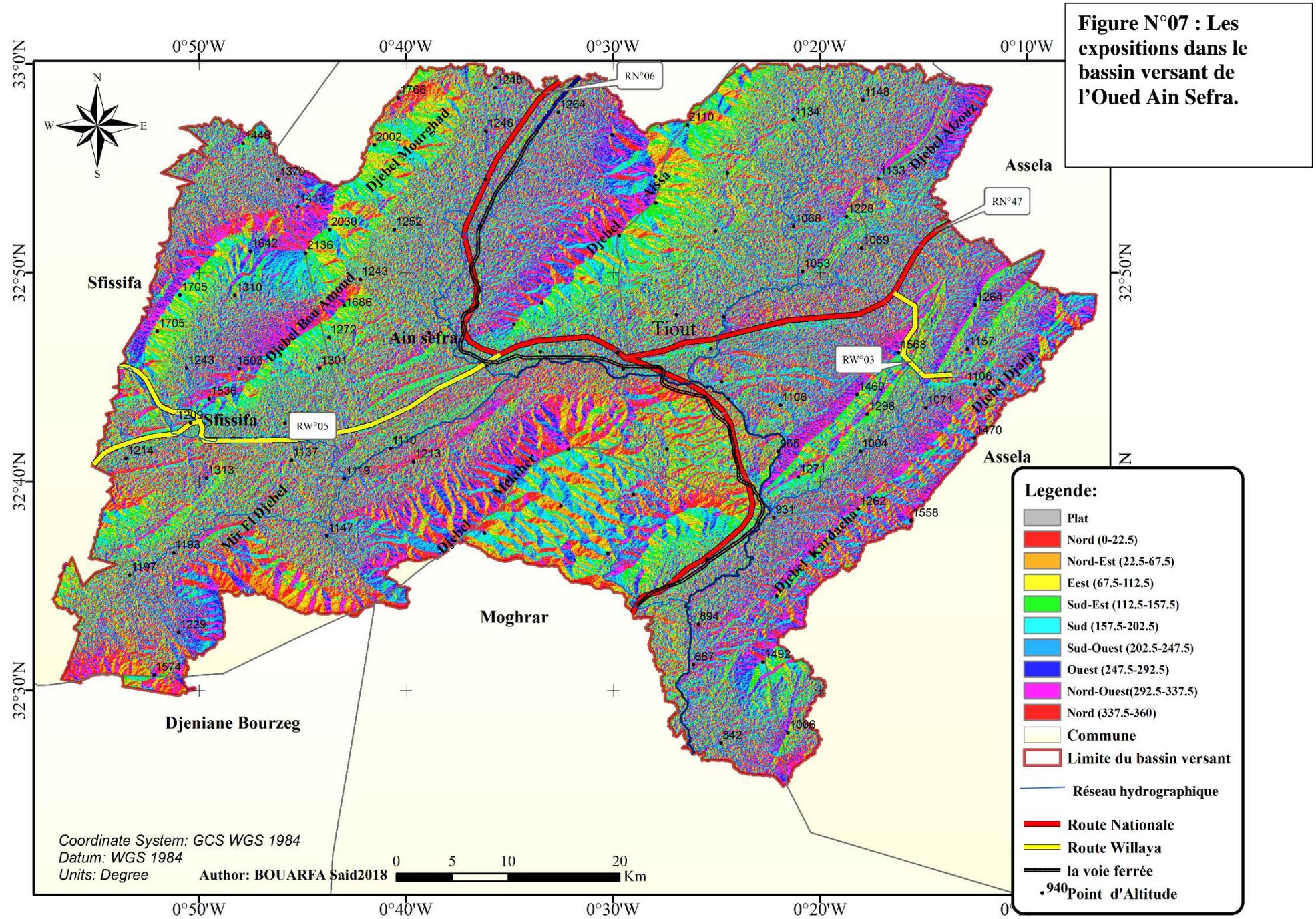
Sur les versants exposés au Nord, Nord-Ouest, et l'Ouest nous rencontrons toutes les accumulations sableuse localisées aux les pieds de ces versants. Evidemment, le cordon dunaire d'Ain Sefra et Magroune par exemple, ont plus des dunes dans le bassin versant situent au Nord et Nord-Ouest.

Cette exposition est représentée par 38% de la surface du bassin versant soit un total de 115233,59 hectares (Tab. 02). C'est évident que les conditions d'exposition des versants induisent un dessèchement d'intensité inégale. L'exposition adret favorise un dessèchement édaphique plus marqué en raison d'un meilleur échauffement du sol. L'estimation des volumes d'eau évaporée au sein de l'horizon de labour sur le versant exposé au soleil révèle des pertes supérieures à celles enregistrées sur le versant ubac de l'ordre de 25% (Le Gouée, 1998).

Exposition	Répétition	Surface H	Pourcentage
PLAT	2122	171,2183	0,06%
N	208969	43060,7048	14,32%
NE	107803	34958,7335	11,63%
E	102892	31053,515	10,33%
SE	109876	38912,6094	12,94%
S	101362	44356,5303	14,75%
SW	111020	36014,4968	11,98%
W	105746	31882,3565	10,60%
NW	109204	40290,5325	13,40%
			100,00%

Tableau N°02 : Répartition des expositions en pourcentage et en hectare du bassin versant de L'Oued Ain Sefra.

PARTIE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA ET LE CADRE D'ETUDE



5. Un réseau hydrographique endoréique développé par la nature topographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra se caractérise par un réseau hydrographique développé et ceci peut être expliqué par la nature topographique du bassin versant, en effet les reliefs les plus élevés dépassent les 2200 m, avec des pentes de 6 à 25 %. Malgré la rareté des précipitations, les crues sont assez violentes et causent souvent des dégâts assez importants (Rahmani et al, 2017).

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra présente un réseau hydrographique développé. Il se caractérise par une topographie relativement plane et parsemée de dépressions, ce qui est à l'origine du caractère endoréique de ces Oueds.

Ces derniers sont à écoulement diffus et intermittents, ils prennent naissance en général sur les reliefs de l'Atlas Saharien et terminent leur course dans la plaine au niveau des dépressions.

Parmi les principaux Oueds du bassin, on cite (Fig. 09) : l'Oued El Breidj qui draine les djebels M'Zi et Mekther, l'Oued Tirkount qui draine les djebels Morghad et Aïssa. Les Oueds qui drainent les écoulements des Monts des Ksour et qui se joignent au niveau de l'agglomération de Ain Sefra, pour donner naissance à l'Oued portant le nom de la ville (l'Oued Ain Sefra), c'est l'Oued principale du bassin.(Abdallah, 1987). Les écoulements de ces Oueds empruntent des itinéraires déterminés par la structure et l'orientation du relief. L'Oued Ain Sefra a un écoulement Sud-Ouest /Nord-Est ; les Oueds Ed Douis et El Rhouiba ont un écoulement de direction Nord-Est /Sud-Ouest.

Ainsi que, les caractéristiques physiographiques du bassin versant de l'Oued Ain Sefra influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue. Elles sont influencées par diverses caractéristiques morphologiques.

5.1 Caractéristiques de forme du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

5.1.1 Caractéristiques morphométriques :

La forme du bassin versant de l'Oued Ain Sefra est la configuration géométrique telle qu'elle est projetée sur un plan horizontal. Elle affecte directement son temps de réponse, qui représente le temps de parcours des eaux à travers le réseau de drainage, et par conséquent le type d'hydrogramme (Melalih, 2011).

Pour déterminer la forme d'un bassin versant, nous calculons l'indice de compacité de GRAVELIUS (K_c), et le rectangle équivalent.

Méthodologie : Calculer l'indice de compacité de GRAVELIUS représente le rapport des périmètres du bassin versant à celui d'un cercle ayant une surface identique et il est obtenu à l'aide de la relation :

$$K_c = 0.28 P / \sqrt{A}$$

Connaissant que P est le périmètre du bassin versant en km et A la surface du bassin versant en km^2 .

Le périmètre correspond à la longueur du bassin, il est mesuré à l'aide d'un curvimètre et peut aussi être estimé d'après la formule suivante :

$$P = k S^n R_f^m \text{ ou}$$

S : Superficie de bassin

R_f : Facteur de forme.

K.n.m : Coefficient avec une valeur moyenne respectivement de 4.5 et -0.5.

Ce coefficient est égal à 1 lorsque le bassin est parfaitement circulaire car le cercle est l'élément le plus compact.

Le rectangle équivalent ou le rectangle de GRAVELIUS est une variation purement géométrique en vertu de laquelle on assimile le bassin à un rectangle ayant le même périmètre et la même superficie.

De cette façon, les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle, et l'exutoire est l'un de ces petits cotés.

En effet le rectangle équivalent permet de comparer les divers bassins versant entre eux du point de vue forme, répartition hypsométrique, pente globale (Gachon, 1923).

Cette méthode permet selon son auteur M. ROCHE, d'assimiler le bassin versant à un rectangle de même surface et de même périmètres, de calculer la longueur (L) du rectangle équivalent, l'indice de pente (I_p) et l'indice de pente globale (I_g) (Abdallah, 1987).

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1-12} \left(l + \frac{\sqrt{l - (1.12)^2}}{Kc} \right)$$

L = longueur du rectangle équivalent.

l = largeur du rectangle équivalent

A = la surface égal à $L \times l$ (Km²)

P = le périmètres = $2(L + l)$ (Km).

Pente moyenne et indice de pente de roche. La pente moyenne d'un bassin est la moyenne pondérée des pentes élémentaires pour lesquelles on peut considérer que la ligne de la grande pente est constante. La formule de la pente moyenne est la suivante (KISANGALA MUKE 2008) :

$$Pm = \sum (n_i \cdot pi) / N \text{ ou}$$

n_i est le nombre de mailles qui ont une pente pi , N est le nombre total de mailles.

L'indice de pente peut être calculé à partir de la répartition hypsométrique (pourcentage de la superficie entre les courbes de niveau) :

$$I_p = 1/\sqrt{L} \sqrt{\sum ai di} \text{ ou}$$

ai : est le pourcentage de la superficie entre les courbes de niveau.

di : est la distance entre les courbes de niveau appelée aussi dénivelée.

Le résultat est repris dans le tableau 00.

Indice de pente global de Dubreuil (I_g). La détermination de l'indice de pente global exige la connaissance de la dénivelée utile (Dut).

$$Dut = H_{95\%} - H_{5\%}, \text{ ou}$$

$H_{95\%}$: l'altitude correspondant à 95% de la superficie totale du bassin versant

$H_{5\%}$: l'altitude correspondant à 5% de la superficie totale de bassin versant

$$I_g = \frac{Dut}{L}$$

5.1.2 Le réseau hydrographique :

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D_d = \frac{L_i}{A}$$

Avec :

D_d : densité de drainage [km/km²]

L_i : longueur de cours d'eau [km]

A : surface du bassin versant [km²]

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{N_i}{A} \text{ ou}$$

F : densité hydrographique [km⁻²]

N_i : nombre de cours d'eau

A : superficie du bassin [km²]

5.2 Interprétation et discussion des résultats :

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra s'allonge du Nord-Ouest au Sud –est parallèlement aux affleurements donnant des crêtes limitantes. Il occupe une superficie estimée à 3007,35 km², l'altitude moyenne est évaluée à près de 1531 mètres, les lignes de crêtes situent entre 1600 et 2200 mètres dont le point culminant étant à 2236 mètres. Il forme deux chaînons montagneux, très arrosés en automne et hiver. Par conséquent, les affluents afférents, assez importants en matière de crues, drainent des manières énergiques vers la partie latérale des versants montagneux.

Ainsi, grâce à la propriété remarquable de confluence, le bassin peut être assimilé au réseau organisé dont la hiérarchisation du chevelu hydrologique présente une série géométrique à coefficient pratiquement constant estimé à 0,72. Par contre en matière de forme le bassin traduit un allongement assez développé ($K_c=1.98$), où seules les conditions structurales induisent une forte érosion linéaire au niveau des marnes encadrées par les affleurements calcaires.

Les résultats obtenus pour le bassin versant de l'Oued Ain Sefra sont résumés dans le tableau N°03 :

Paramètres	Evaluation
Superficie	3007,35 km ²
Périmètres	388.39km
Longueur de rectangle équivalent	176.86 km
Largeur de rectangle équivalent	17 km
Indice de compacité K_c	1.98
Pente de Roche (I_p)	1.32 %
L'indice de pente global (I_g)	4,80 m/km
L'altitude moyenne	1531 mètres
L'altitude médiane	1276 mètres
La densité de drainage D_d	0,72 km/ km ²
La densité d'hydrographique F	0,47 km ⁻²
Rapport de confluence R_c	3.62

Tableau N°03 : Valeurs caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Le calcul de la pente moyenne ne tient pas compte de la forme de la courbe hypsométrique qui est une donnée capitale pour l'écoulement et surtout pour le ruissellement (Tab 04). C'est pour tenir compte de ce dernier facteur que M. Roche a proposé un indice de pente de Roche (I_p) (Roche, 1963).

Zones altimétriques (m)	Surface partielle			Dénivellation	
	A (km ²)	a_i (%)	a_i cumulée (%)	d_i (m)	$\sqrt{a_i * d_i}$
950-1000	227,42	7,56	7,56	50	19,45
1001-1100	415,65	13,82	21,38	100	37,18
1101-1200	785,29	26,11	47,50	100	51,10
1201-1300	645,19	21,45	68,95	100	46,32
1301-1400	362,81	12,06	81,02	100	34,73
1401-1500	178,88	5,95	86,96	100	24,39
1501-1600	125,30	4,17	91,13	100	20,41
1601-1700	94,31	3,14	94,27	100	17,71
1701-1800	70,03	2,33	96,60	100	15,26
1801-1900	51,04	1,70	98,29	100	13,03
1901-2000	34,33	1,14	99,43	100	10,68
plus de 2000	17,00	0,57	100,00	236	11,55
ToT	3007,32	100,00			301,81

Tableau N°04 : Zones altimétriques, Surface partielle et Dénivellation du bassin versant d'Oued Ain Sefra

$$I_p = 1/\sqrt{176,86 * \sqrt{301,81}} = 1,32$$

L'indice de pente du bassin versant du l'Oued Ain Sefra est donc de 1,32%.

Pour arriver à calculer l'indice global de pente, il va falloir déterminer d'abord le Dut. Et dans ce cas nous allons l'extrapoler à partir des valeurs correspondantes de 5% et 95% de la superficie totale du bassin (DUBREUIL, 1974).

Ainsi, la dénivelée utile (Dut) = $H_{95} - H_5 = 850$ m

L'indice global (I_g) = 4,80 m/km

Courbe hypsométrique : La conséquence du relief sur un hydrogramme est caractérisée par une pente forte qui correspond à une durée plus faible de concentration des eaux de ruissellement dans les canaux de drainage.

Le relief est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin. Nous avons une altitude donnée en abscisses et en ordonnée à la surface du bassin pour laquelle chaque point est à une contribution au moins égale à cette altitude. Enfin, la courbe hypsométrique s'établit en planimètres et les surfaces correspondent la définition de l'ordonnée pour chacune des courbes de niveau (Eskenasi, 1991).

Cette courbe hypsométrique peut aussi servir de référence pour les valeurs de $H5$ et $H95$ dans le calcul d'indice global d'un bassin versant.

L'allure de cette courbe altimétrique nous donne plusieurs renseignements sur la morphologie du bassin versant. Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent, en outre, servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

Cette courbe hypsométrique peut aussi nous permettre de calculer l'altitude moyenne et médiane (Fig. 08).

L'altitude moyenne : L'altitude moyenne se retient directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique, ou par MNT, que nous calculons directement sous l'outil de l'ArcGIS et égale 1531 mètres.

L'altitude moyenne est peu représentative de la clarté. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques.

L'altitude médiane : L'altitude médiane reconnaît l'altitude lue au point d'ordonnées 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente ordonnée. L'altitude médiane de notre bassin versant au point de 50% de la surface totale est comprise entre l'altitude 1200 mètres et 1300 mètres. Elle est approximativement égale à 1276 mètres. Cette valeur est différente de celle de la moyenne. L'écart résulte de la courbe hypsométrique qui a une pente irrégulière.

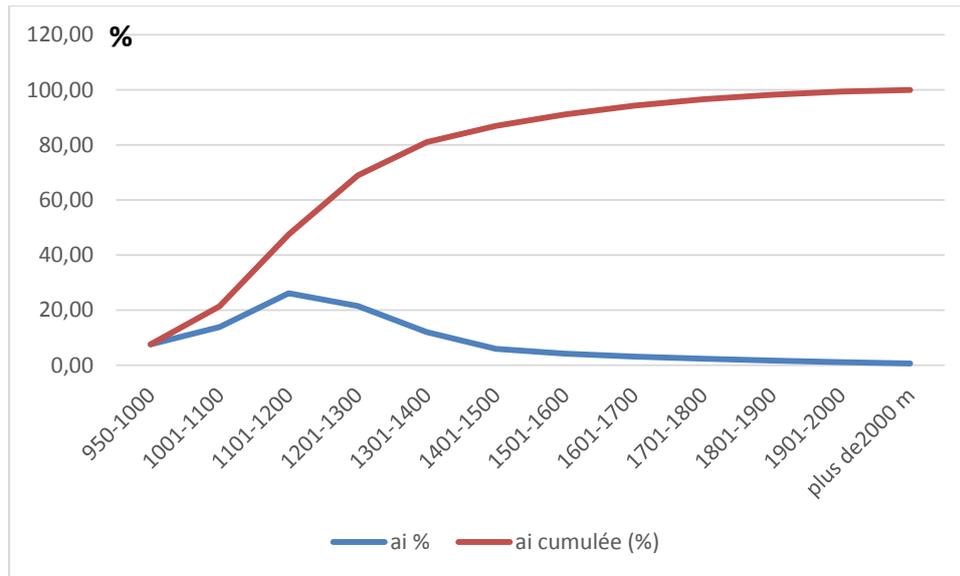


Figure N°08 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie), des caractéristiques topographiques du bassin versant et dans une certaine mesure, des conditions climatiques et anthropiques.

En effet, les valeurs des densités de drainage varient de 3 à 4 pour des régions où l'écoulement n'a atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé ; elles dépassent 1000 pour certaines zones où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltration.

Selon Shum, la valeur inverse de la densité de drainage, $C=1/D_d$, qui s'appelle « constante de stabilité du cours d'eau ». Physiquement, elle représente la surface du bassin nécessaire pour maintenir des conditions hydrologiques stables dans un vecteur hydrographique unitaire.

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a une densité de drainage égale : (Tab 05)

$$D_d = L_i/A = 2193.61/3007.35 = 0.72$$

L'ordre des cours d'eau	Nombre	Longueur min	Longueur max	moyenne	Somme des longueurs
1	1210	0,008	13,91	0,95	1151,78
2	188	0,025	9,45	0,94	619,96
3	27	0,025	5,34	0,63	176,45
4	8	0,025	4,17	0,83	132,07
5	3	0,026	3,83	0,45	48,106
6	1	0,026	3,61	0,43	65,229
Total	1437				2193.61

Tableau N°05 : Les caractéristiques des cours d'eau du bassin versant de L'Oued Ain Sefra

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra compte en total plus ou moins des 2561 cours d'eau, ainsi la densité d'hydrographique vaut :

$$F = 1437/3007,35 \text{ km}^2 = 0,47 \text{ km}^{-2}$$

En somme, les régions à haute densité de drainage et à haute densité hydrographique (deux facteurs qui travaillent souvent ensemble) présentent en général une roche mère imperméable, un couvert végétal restreint et un relief montagneux. C'est le cas du bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Il a un couvert végétal faible et des reliefs montagneux.

En ce qui concerne la faiblesse de la densité de drainage et la densité hydrographique, elle se rencontre en région à substratum très perméable, à couvert végétal important et à relief peu accentué.

Rapport de confluence : C'est le rapport du nombre de talwegs d'ordre x par celui des talwegs d'ordre supérieur ($x + 1$).

$$Rc = Nx / N(x+1) = 3.62$$

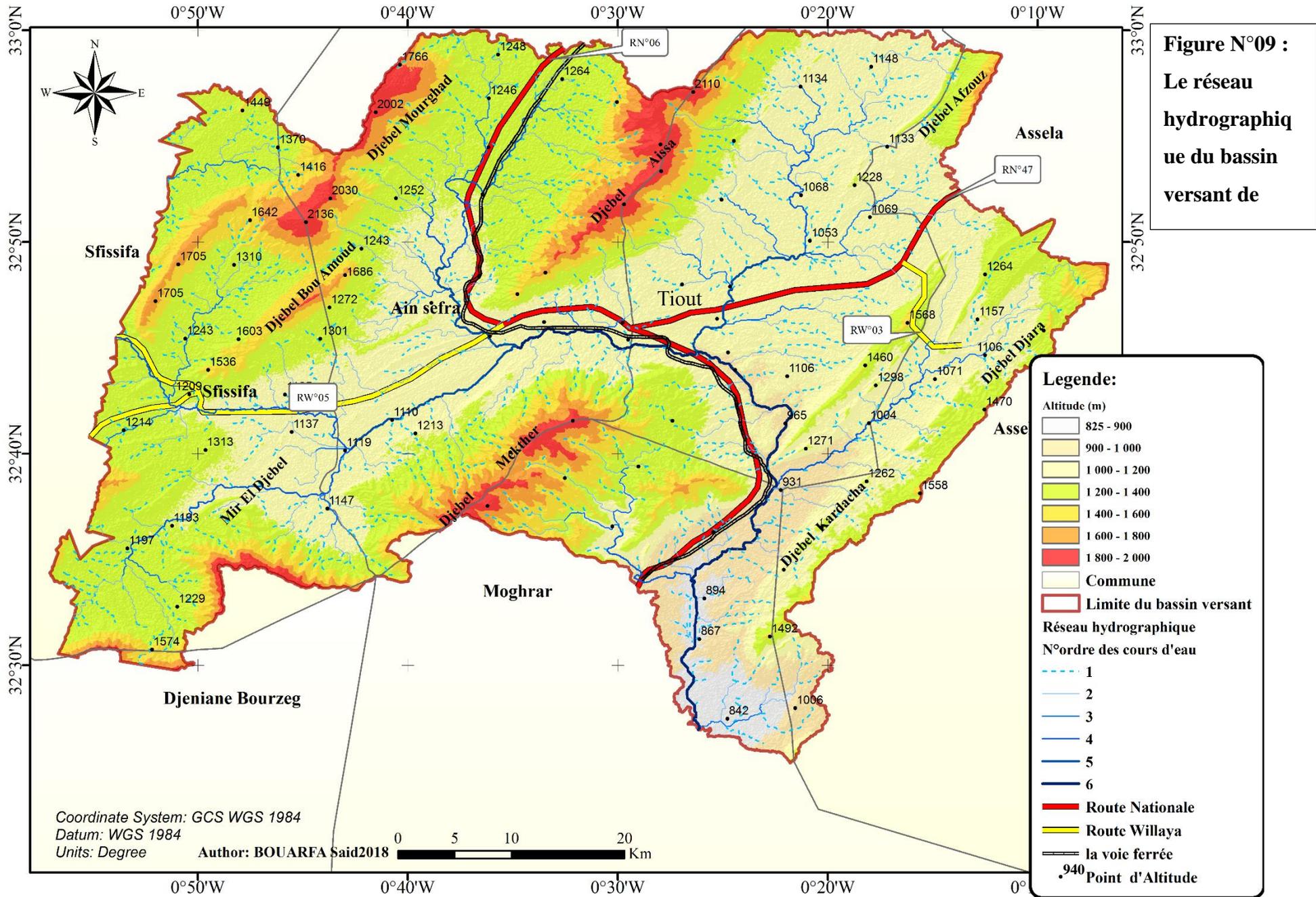
Les réseaux hydrographiques sont généralement dendritiques, c'est-à-dire divisés comme les branches d'un arbre. On peut distinguer trois importantes formes de réseaux :

Peuplier : le bassin versant nettement plus long que large, qui présente des nombreux affluents parallèles et un rapport de confluence élevé, supérieur à 10.

Pin : le bassin se caractérise par une concentration des confluences dans le secteur amont d'où sort un tronç qui ne reçoit plus d'affluents importants. Le rapport R_c est faible.

Chêne : l'embranchement est bien développé avec un espacement régulier des confluences. Le rapport est inférieur à 5, c'est le cas de notre bassin versant (Fig. 09).

PARTIE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA ET LE CADRE D'ETUDE



5.3 Méthode de la réalisation de la carte de réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

Les bassins de drainage sont délimités dans la fenêtre d'analyse lorsque nous identifions des lignes de crête entre des bassins. Le raster de direction de flux en entrée est analysé pour trouver tous les ensembles de cellules connexes rattachées au même bassin de drainage. Nous pouvons créer des bassins de drainage en identifiant les points d'écoulement situés aux contours de la fenêtre d'analyse (là où l'eau est susceptible de s'écouler du raster), de même que des cuvettes. Ensuite, nous devons désigner la surface de captation au-dessus de chaque point. Vous obtenez un raster de bassins de drainage. Nous obtiendrons de meilleurs résultats si, lors de la création du raster en entrée Direction du flux, l'option Forcer l'écoulement vers l'extérieur sur les quatre bords (Force dans Python) est activée. Toutes les cellules dans le raster appartiendront à un bassin, même si ce bassin n'est qu'une seule cellule.

Le réseau à travers lequel l'eau circule jusqu'à l'orifice peut être perçu comme un arbre, la base de ce dernier étant l'orifice. Les branches de l'arbre sont des canaux d'écoulement. L'intersection de deux canaux d'écoulement est un nœud ou une jonction. Les sections d'un canal d'écoulement reliant deux jonctions successives ou une jonction et l'orifice sont des liaisons d'écoulement.

Pour les ordres d'écoulement, les résultats obtenus avec l'outil Accumulation de flux peuvent être utilisés pour créer un raster de réseau hydrographique en fixant un seuil pour sélectionner les cellules avec une accumulation de flux élevée. Par exemple, les cellules dans lesquelles plus de 100 cellules s'écoulent sont utilisées pour définir le réseau hydrographique. Nous avons utilisé l'outil Con ou SetNull pour créer un raster de réseau hydrographique où des valeurs d'accumulation de flux de 100 ou plus passent à 1, et le reste est mis à l'arrière-plan. Le réseau hydrographique obtenu peut être utilisé dans l'outil Liaison d'écoulement et Ecoulement vers entité. Une méthode analytique pour identifier un seuil approprié et définir un réseau hydrographique est présentée dans l'ouvrage de Tarboton (1991) (Fig. 10).

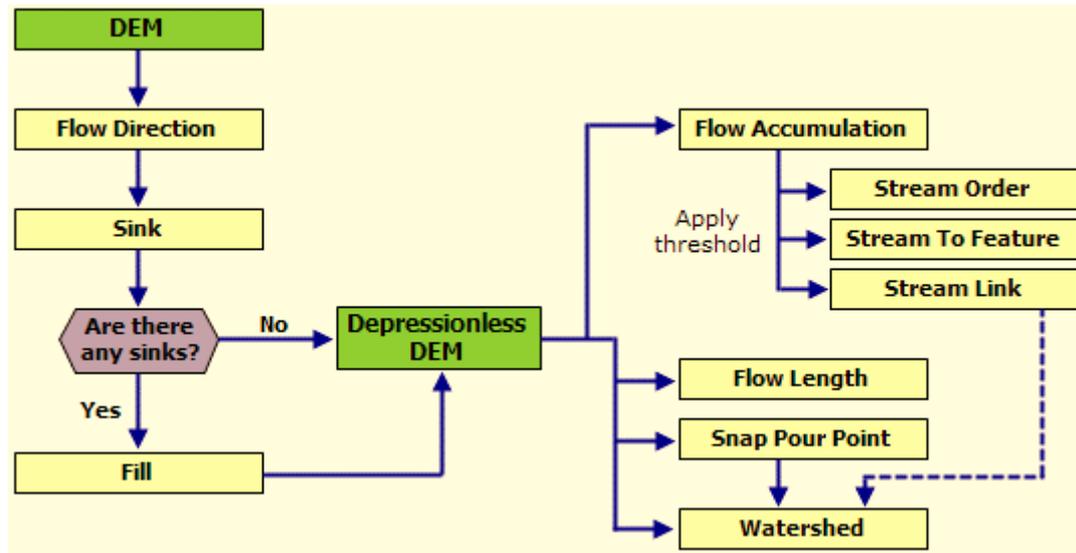


Figure N°10 : Diagramme de modélisation des informations hydrologiques

Dans les Monts des Ksour, la presque totalité de la chaîne est drainée vers le Sud à travers la ligne des plus hauts sommets, interrompue par de vastes cluses. Cette extension des bassins d'alimentation vers le Nord a joué un rôle majeur dans le développement des phases humides. Elle a permis l'écoulement jusqu'en plein désert d'eaux septentrionales ayant profité des précipitations orographiques plus abondantes des versants montagneux exposés au N -NW. Les débits des Oueds atlasiques ont été augmentés dans une proportion plus importante que celle de la superficie gagnée sur les cours d'eau coulant vers le Nord (Callot, 1987).

Les eaux de ruissellement empruntent les lits d'Oueds à fond plat largement encaissé pour s'accumuler finalement dans des dépressions endoréiques.

Les caractéristiques de forme du bassin versant de l'Oued Ain Sefra dépend considérablement de la structure et lithologie géologiques, des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques.

En effet, les caractères physiques, relief, pente, l'exposition des versants et hydrographie, règlent localement la répartition et la variation des paramètres climatologiques, hydrologiques, hydrogéologiques.

6. La géologie et lithologie - les sources potentielles du stock sableux :

La source potentielle du stock sableux peut être dégagée de la lithostratigraphie des Hautes Plaines du Sud oranais ainsi que celle de l'Atlas Saharien (Fillali, 2011).

Les chaînons montagneux du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, se présentent sous forme d'ensemble massif à structures complexes et plus ou moins allongées et étirées suivant l'axe général du plissement Sud-Ouest Nord-Est. Ces structures sont généralement liées à la tectonique, à la lithologie et à l'érosion.

Ils ont été affectés par un accident technique ayant provoqué un décalage de continuité dans la partie Sud-Ouest (Cuvette de Mekhizène). Un autre anticlinal plus septentrional correspond au Djebel Antar, petit chaînon avancé de l'Atlas saharien qui s'est tracé en forme d'arc de cercle ouvert vers le Nord-Ouest et dont l'altitude n'atteint pas les 2000 mètres (Remaoun K, 1998 ; Bensaid, 2006).

La lithologie aide à expliquer la susceptibilité et la résistance du sol à l'érosion. Composite avec d'autres agents des milieux physique et naturel (pente, intensité des pluies et occupation du sol), elle a une appréciation sur la sensibilité des sols à l'érosion et par conséquent elle constitue un critère déterminant quant à la définition de l'option à prendre au titre d'une utilisation rationnelle et durable du sol. Elles sont constituées de roches dures (calcaire, calcaire dolomitique et grès) d'âge Jurassique dont la pente des versants est généralement très abrupte. Parmi ces structures plissées il est important de citer l'anticlinal d'âge jurassique culminant à 2136 mètres de Djebel Morghad d'orientation Sud-Ouest Nord-Est.

La carte lithologique (Fig. 11), montre que la répartition spatiale des différentes formations rencontrées est en rapport avec les caractéristiques morphologiques du territoire de la zone.

Les chaînons des Monts des Ksour sont couverts de calcaires et dolomies dures (roches résistantes à l'érosion) associés à des encroûtements calcaires et alluvions dans sa partie Ouest et à des marnes et alluvions dans sa partie Est. D'une épaisseur de 200 m au Djebel Chemerikh, près d'Ain Ourka, le terme d'**Infra -Lias** désigne une formation de dolomies de type récifal composée à sa partie supérieure (Douihasni, 1976).

Du point de vue tectonique, le bassin versant de l'Oued Ain Sefra des Monts des Ksour est constitué d'un ensemble de plis lâches, coffrés à flancs déversés et séparés par des synclinaux

parfois perchés qui dominent des vastes dépressions et facilitent les communications Nord – Sud et Est – Ouest.

Du point de vue stratigraphique, les Monts des Ksour sont essentiellement constitués de formations mésozoïques d'une épaisseur totale d'environ 6000 m (J.P Bassoulet, 1973).

Sur les plans stratigraphique et structural, le bassin versant présente une structure stable à activité tectonique limitée et une stratigraphie caractérisée par des dépôts essentiellement continentaux (miocène, pliocène et quaternaire), des anticlinaux brutaux à flancs verticaux séparés par de vastes synclinaux, témoignant d'une compression latérale (Cornet, 1952). Elle est limitée au Nord et au Sud par les flexures Nord et Sud Atlasiques avec des failles qui sont à l'origine de la remontée des sels (Trias).

Sur le plan stratigraphique, une grande formation secondaire affleure du jurassique au niveau des anticlinaux.

Quant aux autres formations, nous citons particulièrement le miocène continental dans la partie Nord-Ouest du Djebel Mekther.

Les dépressions sont couvertes d'alluvions et des marnes. Tous les faciès présentés ci-dessus, à l'exception des calcaires et dolomies durs qui recouvrent une grande partie de la chaîne atlasique, sont des formations très sensibles à l'érosion, qu'elle soit hydrique ou éolienne. Par ailleurs, au regard de l'intensité des vents qui traversent le bassin versant, le processus d'érosion s'accroît avec la perte du couvert végétal pérenne et le défrichement (labour) des parcours steppiques.

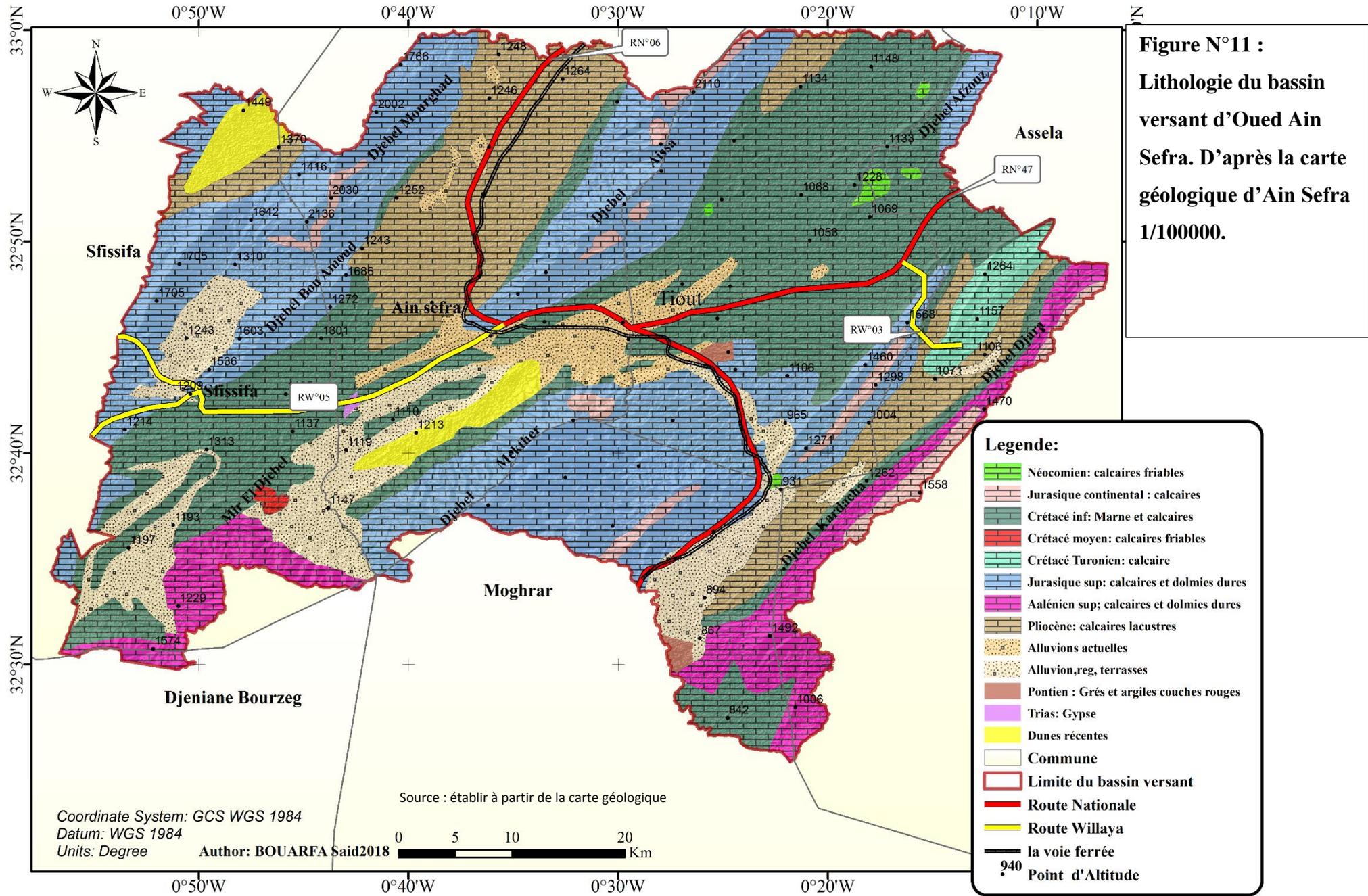
Du point de vue tectonique, le bassin versant de l'Oued Ain Sefra des Monts des Ksour est constitué des synclinaux parfois perchés dominant de dépressions qui facilitent les communications Nord – Sud et Est – Ouest.

Sur le plan stratigraphique, des grandes formations du secondaire affleurent, comme par exemple, le crétacé au niveau des synclinaux. Le quaternaire couvre toutes les parties dépressions, dont les formations sont jurassiques, et il est occupé par des dépôts continentaux du pliocène et quaternaire.

La nature des roches ou la lithologie et la structure des roches sont des facteurs très importantes pour l'érosion éolienne et par conséquent pour l'ensablement, les affleurements géologiques sont responsables de la génération du sable dans la première étape, en particulier après le

dénuement des sols qui sont déjà fragile et peu profond, par les processus d'érosion hydrique et éolienne.

PARTIE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA ET LE CADRE D'ETUDE



7. La pauvreté et la fragilité des sols :

Le sol est un milieu cohérent dont les propriétés se développent par son histoire, les conditions de son environnement et souvent aussi par l'action humaine. Les sols steppiques sont pauvres et fragiles à cause de la rareté de l'humus et de leur très faible profondeur (Melalih, 2011).

«Adaptés au régime climatique aride, ils sont généralement peu évolués, moins profonds et parfois inexistantes. Ils sont caractérisés par une évolution beaucoup plus régressive que l'inverse, c'est-à-dire la morphogénèse qui l'emporte sur la pédogénèse...». (Haddouche, 1998).

La pédologie du bassin versant de l'Oued Ain Sefra est connue pour les conditions physiques caractérisées par un climat de type aride et des constitutions lithologiques très tendres et soumises à l'érosion éolienne et hydrique, d'après la classification de F.A.O et la Carte mondiale des sols F.A.O au 1: 5 000 000.

La formation du sol ayant un horizon *H* très accidenté et un régime d'humidité aridique. Ils sont dépourvus de pergélisol à moins de 200 cm de la surface. Particulièrement les Calcique sont des sols qui ont un horizon calcique à moins de 125 cm de la surface. La lithologie de ces affleurements est représentée par le Néogène avec marne argileuse, localement Jurassique et Crétacé de calcaire, et Quaternaire avec dépôts alluviaux et lacustres. Le bassin versant est déterminé par deux types des sols dominants selon la classification de FAO (Fig. 12).

Dans les chaînons montagneux, nous avons le calcaire, dolomie, marne et gris est principalement dans l'âge jurassique et crétacé.

Il existe également quelques formations de marne argileuse à l'âge néogène avec des, localement jurassique et de l'âge Quaternaire avec dépôts alluviaux et lacustres.

Les sols, reflet de la nature lithologique de la région, résultent pour la plupart de l'altération de la roche mère et donc, ils sont à dominance calcaire. D'une manière générale, ils sont squelettiques, pauvres en matière organique et souvent stérilisés par la salinité.

Dans les dépressions nous avons de l'âge Quaternaire et les sols sont des dépôts alluviaux. Dans ces dépressions les terres agricoles sont rares, elles sont circonscrites dans les dayas, et au niveau des terrasses alluviales. Les sols sont limités dans le bassin versant et ils résultent généralement du remaniement des alluvions anciennes et terrasses alluviales. Ils peuvent constituer des placages dans les dépressions humides.

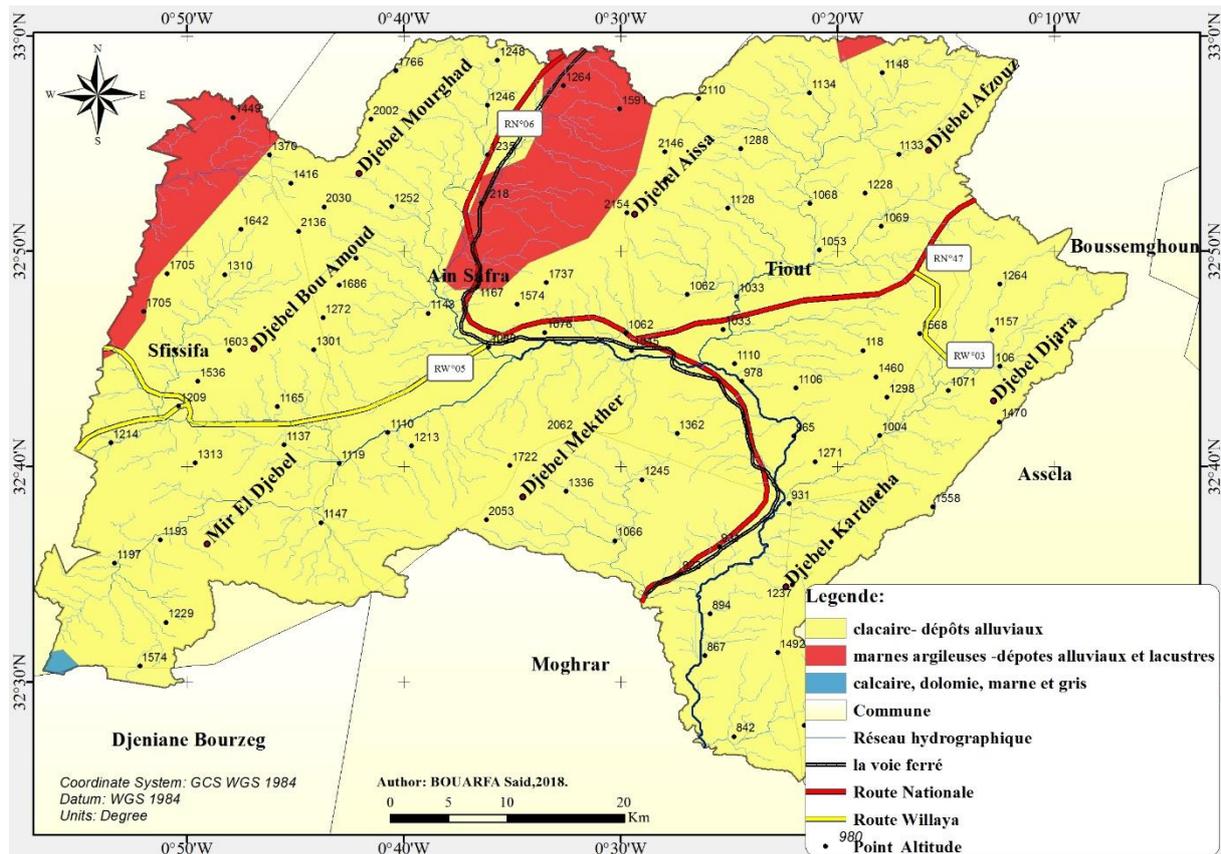


Figure N°12 : type des sols du bassin versant d'Oued Ain Sefra. Source basée sur l'étude de la F.A.O et la Carte mondiale des sols faite par FAO –Unesco Volume VI Afrique 1 : 5 000 000

Les sols et la végétation sont interdépendants. Le sol profond et riche en éléments fertiles favorise la croissance des plantes car il fournit aux plantes des nutriments, fait office de réservoir d'eau, et sert de support aux plantes qui s'y enracinent.

Mais, s'il est poreux et trop perméable, il ne conserve pas d'humidité et les plantes se dessèchent ; les sols peuvent également de matières nocives pour les plantes comme le calcaire ; si elles en absorbent de trop grandes quantités, elles meurent empoisonnées.

8. La végétation naturelle de type steppique du domaine pastoral :

La végétation naturelle est dominée par les formations végétales de type steppique du domaine pastoral. L'étude floristique effectuée sur la région d'Ain Sefra ; cette étude a permis de réaliser un herbier constitué de 261 taxons appartenant à 58 familles et 197 genres dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra (Belkacem, 2014) (Fig. 13).

Dans la zone montagneuse. L'analyse floristique préliminaire du bassin versant de l'Oued Ain Sefra faite par Belkacem.G, 2014, a été effectuée sur les chainons du bassin versant de l'Oued Ain Sefra en suivant un échantillonnage stratifié. Les traitements statistiques des relevés ,

permettent d'identifier quatre groupements végétaux qui sont: Groupement à *Quercus rotundifolia* et *Stipa tenacissima*, Groupement à *Juniperus oxycedrus rufescens* et *Atractylis caespitosa*, Groupement à *Atractylis serratuloides* et *Thymelaea microphylla* et Groupement à *Arthrophytum scoparium* et *Artemisia herba alba* (Belkacem, 2014).

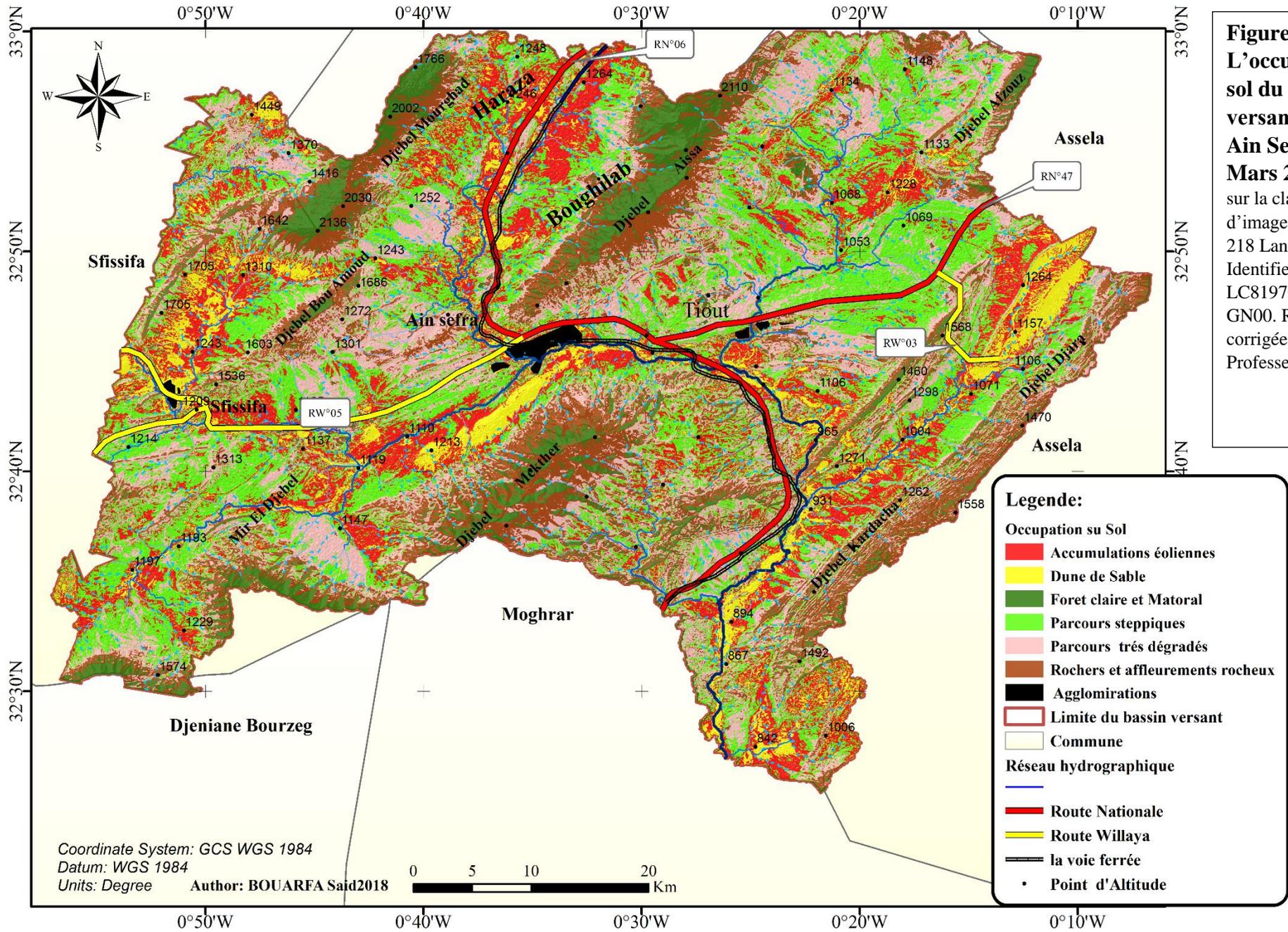
Correspondant aux Monts des Ksour, le palmier dattier fait son apparition sur les piémonts de l'Atlas Saharien (Oasis de Moghrar, etc.).

Dans les dépressions, la végétation steppique de la dépression entre djebel Aissa et djebel Mourghad est très dégradée, souvent à la limite de l'irréversibilité, cédant le terrain à la désertification. Nous rencontrons essentiellement des formations à base de graminées, dominées par le *Stipa tennacissima* (alfa), l'*Artemisia herba alba* (Chih), le *Lygeum spartum* (sennagh), mais aussi : l'*Astragalus heclianthinum* (zefzef) et *Stipa tortilus* (Kodad). Aussi, nous notons la présence des groupements à *Arthoropytum*, qui constituent la transition entre les parcours steppiques arides et les parcours sahariens dans la dépression qui située entre djebel Mekther et Djebel Souiga.

Par ailleurs, le type de végétation rencontré varie en fonction des conditions du milieu physique. Ainsi, nous avons les espèces halomorphes sur les sols salés situés autour des Oueds comme l'Oued Ain Sefra, Tiout et Ain Ouarka, les espèces psamophyles sur les formations dunaires, l'armoise sur les hammadas et le palmier dattier sur les piémonts de l'oasis de Moghrar, Tiout et de Founassa.

«...Dans les Plaines Sud Oranaises ce sont 1.2 millions d'hectares de la steppe denses d'alfa, qui ont été affectées entre 1983 et 1990. Dans les peuplements denses de la plaine s'étendant au départ sur près de 500 000 ha, le couvert de l'alfa passe en moyenne de 30 à 2%, pendant que les peuplements claires couvrent environ 700 000 ha et enregistrent un dépérissement total de l'espèce.. » (Aidoud et Touffet, 1996)

PARTIE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA ET LE CADRE D'ETUDE



Interprétation de résultats : Pour comprendre la dynamique des paysages, leur identification et leur caractérisation passent par la délimitation des unités paysagères. Le milieu est découpé en entités spatiales dont les caractères de relief, hydrographie, occupation du sol, habitat, végétation présentent une homogénéité d'apparence sur l'image satellitaire, comme sur les cartes résultat (Haddouche, 2009). Nous discutons le résultat de la classification de l'image Landsat 2018. La carte est principalement basée sur des données Landsat- Oli 8 (Landsat Scène Identifier : LC81970372018056LGN00). Elle a été acquise en juin 2018. Avec l'aide de la connaissance du terrain et levé des points GPS (plus de 780 points), et par biais des critères d'interprétation image (couleur dominante, texture, structure, forme, contiguïté), nous avons différencié plusieurs éléments d'occupation du sol sur la scène Landsat. Ainsi, l'analyse visuelle met en évidence les difficultés pour différencier les principaux thèmes d'occupation du sol par rapport aux hétérogénéités spatiales et à la forte imbrication des éléments constitutifs des paysages végétaux. Cependant, plusieurs thèmes se profilent de cette approche par visu de l'interprétation.

Les résultats des traitements permettent d'élaborer la cartographie d'occupation du sol en 2018 du bassin versant de l'Oued Ain Sefra illustrée par la Figure 11. La classification de la scène satellite permette d'effectuer une analyse de l'occupation du sol classe par classe pour une meilleure caractérisation du bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Les classifications ont été révisées et corrigées par le Monsieur Professeur Ahmed Aidoud en mars 2018. Les résultats ont montré que le bassin versant de L'Oued Ain Sefra est couvert par des groupes physiologiques (espèces steppiques en association, des cultures, du matorral et des reboisements.) (Tab. 06).

Classification	Pourcentage	Surface (hectare)
Foret claire et Matoral	7,05%	21183,31
Rochers et affleurements rocheux	15,06%	45240,22
Parcours très dégradés	24,06%	72252,34
Parcours steppiques	29,14%	87504,63
Accumulations éoliennes	17,94%	53882,34
Dune de Sable	6,74%	20250,95
	100,00%	300313,78

Tableau N°06 : Les classifications d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra en2018.

Les classes résultant des classifications d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra en 2018 se répartissent comme suit :

La Foret claire et Matoral : est principalement de Pinus halepenses -Pistacia atlantica et Juniperus phoenicea, et de Ziziphus lotus –Retamaretam, cette classe occupe environ 21183.31 hectare soit 7% de la surface du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, son aire de répartition s'étend sur les sommets de djebel Aissa et Mourghad ou les altitudes dépassent les 1500 mètres avec un étage bioclimatique semi-aride basse potentiellement contraignant.

Parcours steppiques : reconnue par sa végétation basse à base d'alfa, d'armoïse et de sparte, (Groupe graminéen : Stipa tenacissima –Lygeumspartum Aristidapungens, Groupe chamaephyte : Artemisia herba alba –Artemisiacampestris ,Groupe crassulescent : Plante halophiles - Atriplexhalimus, -Salsolacées, Ect. ,Groupe nanophanerophyte : Chamaephyte et arbustes) , sont un milieu pastoral et d'élevage, ils sont trouvés à une altitude moyenne de 1200 m et sa pente varie de 1% à 3%. La nature lithologique est du type gréseux à gréseux calcaire, surmontée d'un sol calcique caractérisé, les parcours steppique couvrent plus de 29% de la surface du bassin

versant de l'Oued Ain Sefra soit de 87504 hectare, se localisent dans les dépressions des Tiout à Assela, et Haraza à Sfissifa.

Les accumulations éoliennes et les dunes de sable : cette classe de classification la plus importants représente les zone affectées par l'ensablement, Où ils balaiant et envahissent environ de 26% de la surface du bassin versant de l'Oued Ain Sefra soit plus de 74000 hectare.

Se présent sous plusieurs formes : de sif ou dune linéaire et cordons longitudinaux plus de deux mètres de hauteur comme la dune d'Ain Sefra, forme de Nebka dans les zone qui touches récemment par l'ensablement au Nord de du bassin versant et Haraza vers Naama, sous forme de champ barkhaniques, des aklés et amas de sable de Boughilaba à Mékalis et de Tiout à Djebel Kerdacha.

Steppe très dégradée : La dégradation des parcours steppiques constitue, actuellement, une réalité préoccupante. Les parcours steppiques subissent une action conjuguée du surpâturage, fragilité des sols, sécheresses récurrente, extension des labours et érosion éolienne causant la disparition le couvert végétal, le nomadisme comme mode de vie domine spatialement. Le cheptel est devenu si important et sédentaire que les parcours sont menacés d'un surpâturage catastrophique inhibant toute régénération naturelle (Claudin et Houerou, 1985).les parcours steppiques très dégradé occupent une surface de 72252 hectare, représentent 24 % de la surface du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, Ils sont considéré comme un terrain propice à l'accumulation de sable.

Se localisent principalement dans les dépressions Ouest et les limites de la zone sableuse de Boughilaba à Haraza, Au pied de Djebel Bouamoud au pied Djebel Aissa.

Les écosystèmes steppiques sont marqués par une grande variabilité interannuelle des précipitations. Les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité annuelle (200 mm en moyenne), avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante. L'action de l'érosion éolienne accentue le processus de désertification. Elle varie en fonction de l'importance du couvert végétal (Aidoud et al, 2006)

9. Aridité climatique et sècheresse récurrente durant ces dernières décennies :

En climatologie, on parle de sécheresse climatique ou pluviométrique, lorsque les précipitations sont anormalement faibles par rapport à la normale, souvent, elle est définie par un écart entre la pluie annuelle et la pluie moyenne annuelle.

La région d'Ain Sefra appartient à l'étage bioclimatique aride moyen et aride. Elle est caractérisée par le climat continental accentué par l'altitude et elle subisse les influences directes de la steppe et les influences de la zone saharienne (Fig. 14).

La région aride représente la zone où les pluies réparties sur quelque mois de l'année sont tout de même suffisantes pour imprimer un rythme saisonnier à la végétation et à l'écoulement des eaux, cependant la prépondérance des mois secs reste encore la caractéristique de ces climats. La moyenne des pluies peut varier entre 150 et 400 mm selon les conditions thermiques observées durant les mois pluvieux. Les habitants de la côte méditerranéenne, Mecheria où Ain Sefra sont considérées comme des villes situées dans "le désert". Or dans les faits, la steppe est avant tout une région de transition entre une telle zone suffisamment pourvue en précipitations et un Sahara où règne l'aridité (Couderc, 1978).

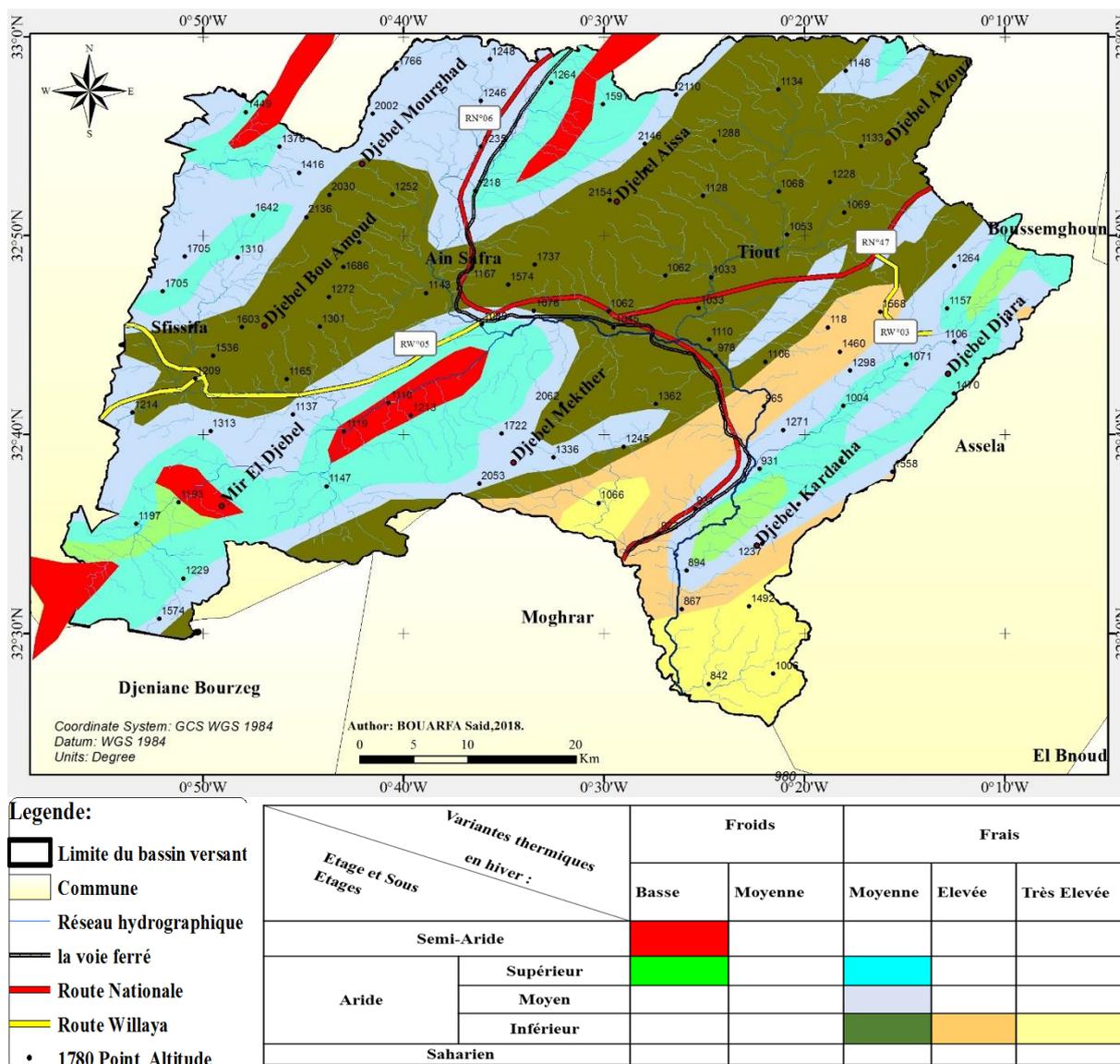


Figure N° 14 : représentative des étages bioclimatiques dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Les étages et sous étages bioclimatiques rattachés aux variantes thermiques en hiver. Source basée sur la carte de Bull.Soc.Hist.nat.Afr.

Nord, Alger, t.68.fasc.J et 4,1977

Nous pouvons distinguer dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra les étages bioclimatiques suivants (selon la carte de J. Claudin, H.N. LE Houerou et M. Pouget (1977) (Fig. 14 et15) :

L'étage semi-aride est le plus froid et il représente dans la région que les djebels les plus élevés. Ces derniers se situent tous au niveau des sommets des Monts des Ksour avec la variante thermique en hiver – froide basse également dans les sommets de Djebel Aissa, Mekther et Mourghad ou l'altitude dépasse les 1700 mètres.

L'étage bioclimatique aride supérieur se profile dans tous les djebels suffisamment élevés des Monts des Ksour Saharien, avec deux variantes thermiques en hiver : une variante froide basse rattaché aux sommets de Djebel Kerdacha, Djébel et Mir Djébel et d'autre frais moyenne dans tous les djebels avec une altitude de moins de 1600 mètres.

L'étage aride moyen avec la variante thermique en hiver frais moyenne couvre la partie moyenne élevée d'une partie du piémont des Monts des Ksour.

L'étage aride inférieur, qui est sans doute le plus étendu en superficie par rapport aux autres étages, il couvre pratiquement toutes les dépressions en s'étirant jusqu'à ce que les altitudes soient faibles entre 800 et 1600 mètres. Il est caractérisé par 3 variantes thermiques en hiver : frais moyenne est la plus présente de Sfisifa à Tiout et Djebel Afzouz , la variante thermique frais élevée dans la partie des altitudes faible vers le Sud du bassin versant auprès de Moghrar à la route wilaya N°03 et frais très élevée qui couvre la partie Sud du bassin versant de l'Oued Ain Sefra qui est également la plus basse et chaude ou les altitude moins de 880 mètres .

Ainsi, nous pouvons noter que le bassin versant qui fait partie de la région des Hautes Plaines steppiques est caractérisé par une aridité du climat, une aridité qui présente des nuances locales assez différentes en matière de précipitations, d'humidité, de températures. Mais, cette étude est basée essentiellement sur des moyennes annuelles qui ne sont pas homogènes dans le temps. Les variations interannuelles indiquent clairement que le climat subit des fluctuations au cours des années (Hadied, 1996).

9.1 L'irrégularité des précipitations et l'accentuation d'un déficit pluviométrique causé par la sécheresse :

Une sècheresse pluviométrique a affecté le bassin versant de l'Oued Ain Sefra ces dernières années. Les précipitations en généralement étaient très irrégulières et elles ont variés entre 150mm à 450mm. Le nombre de jours secs peut atteindre 250 jours par an. Le calcul de l'évapotranspiration potentielle confirme ces résultats où elle est partout supérieure jusqu'au triple des précipitations qui croissent vers l'Atlas Saharien et atteignent le sextuple des précipitations au pied des Monts des Ksour, aux environs d'Ain Sefra (Raymond couderc, 1978). Dans les Hauts Plateaux, les précipitations constituent, sur les plans physique et naturel, le premier facteur de contrainte. En effet, le régime pluviométrique se caractérise par des précipitations annuelles très faibles (comprises entre 100 et 450 mm en moyenne), souvent à caractère orageux et présentant une grande variabilité inter mensuelle et inter annuelle (Tab. 07). Leur hauteur diminue du Nord vers le Sud.

Mois	Précipitations en mm	Nombre des jours pluvieux
JANVIER	15,96	02
FEVRIER	12,45	03
MARS	24,43	01
AVRIL	17,34	09
MAI	20,47	03
JUIN	8,89	00
JUILLET	5	06
AOUT	11,52	06
SEPT	20,63	05
OCTOBRE	34,62	11
NOVEMBRE	21,66	05
DECEMBRE	8,13	04
TOTAL	201,1	55

Tableau N°07 : Précipitations moyennes mensuelles à station météorologique d'AIN SEFRA (1985– 2016).Source CRSTRA

9.2 L'oscillation des températures accompagnées d'un grand écart thermique :

Les conditions climatiques dans le bassin versant sont caractérisées par des grands écarts entre les températures d'hiver et d'été. Les froids sont souvent rigoureux et semblent d'autant plus vifs qu'ils sont propagés par des vents d'une grande violence qui ne rencontrent devant eux que peu d'obstacles. Ils accélèrent les processus physiques d'érosion (thermoclastisme, cryoclastisme et l'hydroclastisme) qui peuvent aboutir à une fissuration, un cisaillement et une fragmentation de la roche.

Le climat de cette part atlasique est continental. L'hiver rigoureux est de courte durée et se réduit aux mois de décembre et janvier. Les chutes de neiges sont fréquentes et les sommets du Djebel Aïssa et Djebel Mekther sont souvent couverts de neige. La température peut dans certains cas, descendre jusqu'à -15°C . L'été est caractérisé par des grandes chaleurs, dans la période juillet - septembre où les températures peuvent monter jusqu'à 45°C (Kolli.O, 1984).

Quand le vent du Sud souffle, il parcourt les régions sans perdre son énergie première. Au contraire, les vents pluvieux du Nord, arrivent privés en grande partie de leur humidité. Les températures descendent au-dessous de zéro régulièrement, pendant cinq mois de l'année, en février, mars, avril, et en novembre et décembre. La température maximale enregistrée en juillet à Aïn Sefra atteint 42°C (Tab. 08). La répartition des températures moyennes présente des différences notables avec celle des précipitations. La steppe occidentale est une enclave, une bande plus fraîche entre le Tell plus doux et le Sahara plus chaud. La plus part des stations sont à des altitudes comprises entre 1000 et 1100 mètres et la température moyenne annuelle est presque uniforme sur l'ensemble de la région (15°C à Aïn Sefra au Sud comme à Ras el Ma et Marhoum au Nord).

	1985-2016		
	T° maximas	T° minimas	moyenne
JANVIER	13,63	1,08	7,35
FEVRIER	16,07	2,35	9,21
MARS	19,49	5,94	12,72
AVRIL	22,93	8,93	15,93
MAI	27,87	13,45	20,66
JUIN	33,76	18,39	26,08
JUILLET	37,90	21,54	29,72
AOUT	36,87	20,93	28,90
SEPTEMBRE	31,63	16,84	24,24
OCTOBRE	25,51	11,46	18,49
NOVEMBRE	18,50	5,38	11,94
DECEMBRE	14,30	2,24	8,27
1985-2016	24,87	10,71	17,79

Tableau N° 08 : Températures mensuelles moyennes (les maximas et les minimas) de la station météorologique d'Ain Sefra dans la période 1985-2016. (Source : O.N.M)

Années	Les maximas M°	Les minimas m°	Les Moyennes
1985	37,30	-0,33	18,48
1986	35,87	4,60	20,23
1987	38,03	4,00	21,02
1988	37,60	3,00	20,30
1989	35,97	-0,33	17,82
1990	35,83	2,40	19,12
1991	36,33	-1,03	17,65
1992	34,63	-0,67	16,98
1993	35,17	1,10	18,13
1994	37,80	2,00	19,90
1995	37,30	-0,33	18,48
1996	35,87	4,60	20,23
1997	38,03	4,00	21,02
1998	38,80	2,37	20,58
1999	39,13	1,87	20,50
2000	38,93	-2,50	18,22
2001	39,60	1,40	20,50
2002	38,50	-0,57	18,97
2003	40,17	2,33	21,25
2004	37,73	0,83	19,28
2005	40,43	-2,97	18,73
2006	38,27	0,40	19,33
2007	38,40	-0,70	18,85
2008	37,90	0,30	19,10
2009	38,50	2,40	20,45
2010	37,73	1,50	19,62
2011	38,40	2,00	20,20
2012	38,80	1,10	19,95
2013	38,50	2,00	20,25
2014	38,80	2,40	20,60
2015	38,10	1,20	19,65
ANNUEL	37,90	1,08	19,49

Tableau N°09 : Températures annuelles moyennes (les maximas et les minimas) météorologique d'Ain Sefra dans la période 1985-2016. (Source : O.N.M)

La zone, à l'instar des espaces steppiques, subit des gelées importantes et fréquentes en hiver et même au début du printemps. Leur fréquence est évaluée pour la période 1988-1997 en moyenne à 40,4 jours dans l'année. Ces gelées constituent un facteur limitant pour les pratiques agricoles et un facteur de contrainte pour la végétation naturelle. En effet, elles imposent un calendrier cultural qui doit tenir compte de la période gélive, principalement pour les cultures légumières de plein champ et l'arboriculture à floraison précoce, ce qui restreint leur pratique aux saisons les plus

chaudes et les moins arrosées. Quant à la végétation naturelle, elle est retardée dans sa croissance, cette dernière étant étroitement liée à la température (Tab. 09).

9.3 La fréquence et la puissance des vents efficaces :

Le vent est un des agents les plus caractéristiques du climat. Les vents les dominants sont ceux du Sud-Ouest, avec l'opposition entre : l'hiver et le printemps où les vents du secteur Sud et Nord sont fréquents. Le vent de sable souffle souvent, au printemps et lorsqu'il le fait, il est assez violent et soulève des tourbillons de sable qui arrivent tantôt du Sud, tantôt du Nord et qui rasant le sol à grande vitesse en charriant des grains de sable assez gros. Les vents accentuent considérablement la sécheresse. Bien qu'ils soient moins violents qu'en saison froide, ils peuvent avoir une force moyenne élevée et accentuer encore l'évaporation. Mais surtout, ce sont des vents de secteur Sud ou Sud-Est, provenant des régions sahariennes et qui ne peuvent apporter ni fraîcheur ni humidité. Les mois de mai et octobre connaissent le moins de sirocco alors que juillet et août sont les plus affectés par ce vent sec et chaud, cette « haleine du désert » (Couderc, 1978).

Par conséquent, la fréquence des vents est importante sur l'ensemble de l'année (Tab. 10), et s'établit à une moyenne de 18 jours par mois. Les vents dominants sont de direction Ouest et présentent les mêmes traits généraux, que ce soit dans la zone de plaine ou dans la zone des Monts des Ksour (représentée par la station d'Ain Sefra).

Direction	N	N E	NO	S	SE	SO	E	O
Fréquence%	5	17	20	6	8	23	7	14
%	42			37			7	14

Tableau N°10 : Station d'Ain Sefra, Direction des vents selon leurs fréquences en % dans la période 1985-2015. (Source : O. N.M)

Les vents dominants sont de direction générale Nord (Nord, Nord-Est et Nord-Ouest), ils représentent 42% de la fréquence totale. Les vents de direction générale Sud (Sud, Sud-Est et Sud-Ouest) représentent : 37%. Les vents de direction Ouest et Est représentent respectivement 14 et 7% de la fréquence totale.

En conclusion, nous retintons que les vents, au niveau de cette région sensible et fragile sur les plans physique et naturel, constituent une contrainte à plusieurs égards, car ils favorisent et activent

le processus de l'érosion des sols (érosion éolienne) et de désertification, contribuent au processus d'ensablement (transport de sable et formation de dunes au contact d'obstacles naturels ou artificiels), réduisent le taux d'humidité de l'air et par conséquent augmentent l'évapotranspiration des plantes.

Afin de réduire ces effets négatifs, il est impératif d'envisager les aménagements adéquats, principalement des brise-vent. Le choix des sites d'implantation de ces derniers dépend de la fréquence et de la direction des vents dominants.

La sécheresse est le facteur primordial de dégradation du couvert végétal, ainsi que le comportement de l'homme qui se traduit par une mauvaise gestion des ressources, le surpâturage, et l'épuisement de la nappe phréatique et qui est le plus souvent derrière la dégradation des espaces steppiques (Belmahi, 2015).

10. Hydrogéologie et le transfert des eaux des grès et des systèmes dunaires :

Les Monts des Ksour dont les bassins d'alimentation sont particulièrement étendus, renferment des systèmes aquifères aux structures et formations litho stratigraphiques complexes (Mansour H, 1993). La majorité de ces aquifères sont des multicouches, à nappe libre, intercalés par des formations semi perméables (Ait Driss et al, 1995). Les ressources en eau souterraine de la région proviennent de plusieurs systèmes aquifères dont la formation est favorisée par le contexte géologique. Selon l'étude hydrogéologique sur la région réalisée par Mansour, Issaadi, Stamboul et Zeroual en 2008, nous considérons que le potentiel en eaux souterraines relève de deux domaines (Fig. 16) : les nappes profondes, exploitées principalement par les forages et les nappes phréatiques, exploitées principalement par les sources.

D'ailleurs, la nature des différentes formations qui montrent trois horizons –aquifères interstratifiés séparés par des lentilles argileuses est représenté par :

- Des grès mio-pliocènes à porosité d'interstices dans lesquels s'intercalent quelques lentilles argileuses et dont l'épaisseur varie entre 0 et 100 mètres (valeurs données par la géophysique). Dans ce cas, la nappe peut être libre où captive.

Des grès crétacés à porosité d'interstices, de fractures et de chenaux, dans lesquels s'intercalent des lentilles argileuses. L'épaisseur de cette formation est de 109m au forage de Tirkount¹. Au-delà de

¹ Le forage réalise par Bulgargeomin en 1983.

l'accident Ras-Touil-Ain-Sefra, les formations apparaissent en surface et deviennent plus résistantes. Dans ce cas, la nappe peut être libre ou captive.

Des grès compacts à porosité d'interstices et de fractures et de lentilles argileuses jurassiques. L'épaisseur totale de cette formation n'a pu être précisée.

L'étude piézométrique de la nappe alluviale montre un écoulement général du SSE vers le NNW et un drainage des eaux par l'Oued Breidj (Fig. 07). L'estimation des débits à l'amont et à l'aval de la nappe montre que la terrasse alluviale de l'Oued Breidj constitue une zone de transfert des eaux des grès et des systèmes dunaires vers le NNW. L'étude piézométrique de la nappe mio-pliocène et mésozoïque montre : un écoulement général des eaux du NNE vers le SSW, donc un drainage des eaux par l'Oued Tirkount et l'accident Ras –Touil -- Ain Sefra (Abada A, 1984).

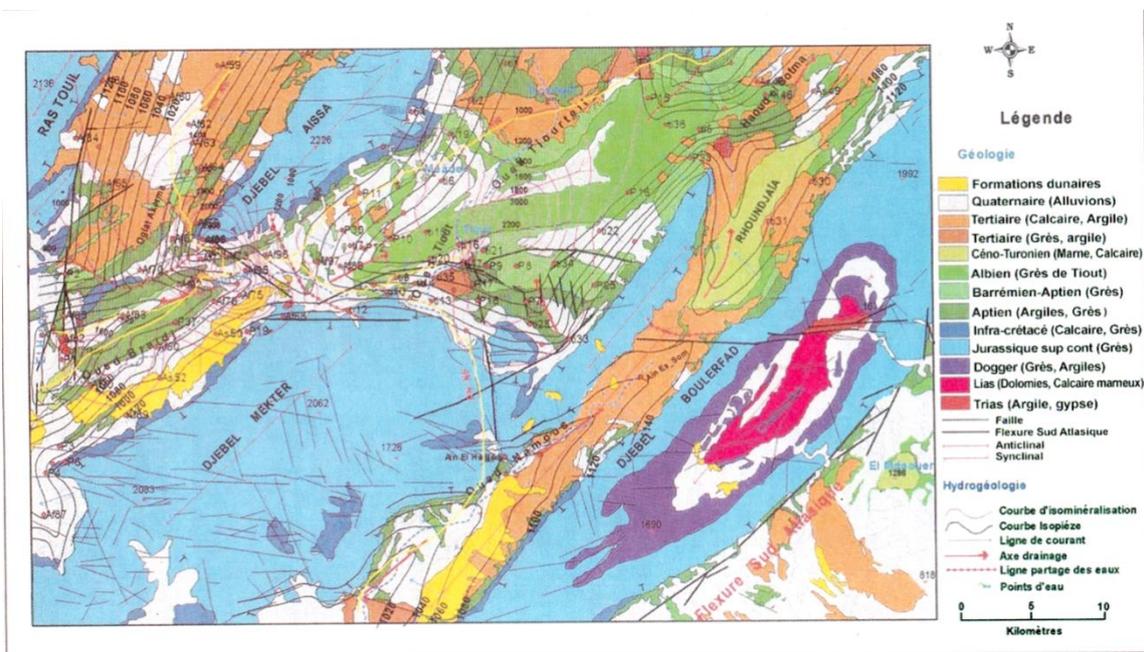


Figure N°15: Hydrogéologique d'Ain Sefra (Mansour H, 2007).

La vulnérabilité des milieux naturels dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra particulièrement leur faible potentiel de production d'un côté et les besoins grandissants d'une population nombreuse de l'autre ont conduit inévitablement à une mauvaise utilisation des ressources naturelles de ces milieux. Les manifestations les plus néfastes de ces utilisations sont : L'exploitation abusive de la végétation, bloquant la régénération naturelle et épuisant les réserves semencières ; Le surpâturage ; Le défrichement des steppes pour l'extension de la céréaliculture. (F.A.O, 2012)

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra subissent un processus de dégradation continue auquel ont contribué le surpâturage et une agriculture inadaptée. L'altération du milieu naturel, par les

comportements des agents économiques, est favorisée par une carence de l'information et des institutions existantes. La politique environnementale mise en œuvre par l'État est apparue inefficace. Il nous apparaît qu'un usage écologiquement viable des terres communes exige leur cogestion associant État et communautés.

Le bassin versant représente une population de pasteurs, avec élevage extensif et transhumant, ce qui permet un degré des aléas climatiques et des limites en unités des pâturages et de l'eau.

Dans le territoire du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, l'élevage est l'activité humaine qui détermine la structure fondamentale du paysage, dont dépend partiellement le fonctionnement spatial des autres activités comme l'agriculture. En fait, depuis l'extension des superficies cultivées au dépend de l'activité pastorale depuis les années soixante, le bassin versant est caractérisée par une activité pâturage extensive qui devient de plus en plus structurante d'un point de vue de l'occupation de l'espace. « *La population nomade ne cesse de diminuer et le nombre d'agglomérations d'augmenter* » (Hadied, 1996).

II. L'augmentation de la population pastorale et celle des troupeaux – causes de la dégradation naturelle de la steppe dans le bassin versant :

L'étude qui a été fait par le M.a.r.a (Ministère de l'agriculture et de la révolution agraire) en 1968 (Mara, 1974), affirme que le développement de la population et la croissance du troupeau augmente la dégradation de la steppe. Ainsi, tous les chercheurs affirment que cet aspect est réellement fautif, à l'exception de Couderc et R. Weexteen qui nuancent ce facteur.

« *Le poids démographique de ces agglomérations ne représente même pas la moitié de celui des villes principales de la steppe (El Bayadh, Mécherai et Aïn Sefra). Néanmoins, leur nombre important et leur répartition spatiale tendent à réorganiser l'espace steppique. Elles contribuent ainsi au "vidange" des zones éparses, au détriment de la population nomade qui se sédentarise, et réduit de plus en plus l'effectif des nomades* » (Hadied, 1996). Les actifs dans le secteur agricole sont important aussi, alors que ceux versés dans le secteur non-agricole ne sont pas négligeables non plus puisqu'ils représentent 15% de l'emploi. Pour le premier cas, il semble que Aïn Sefra, bien qu'ayant moins de dynamisme que Mécherai, continue à dominer l'espace Sourient environnant sur le plan social et culturel (Hadied, 1996).

1. Évolution de la population :

Le nombre d'habitants a été évalué à 60.717 habitants en 1966, pendant que la population de Naâma a atteint 165.578 habitants en 1998 et 209.470 habitants en 2008. En 2016, la population

totale de la wilaya de Naama était de 268 721habitants, soit une densité de 9,01habitants par Km² soit presque 3,5 fois son volume en l'espace de 50 ans (Fig. 17, Tab. 11).

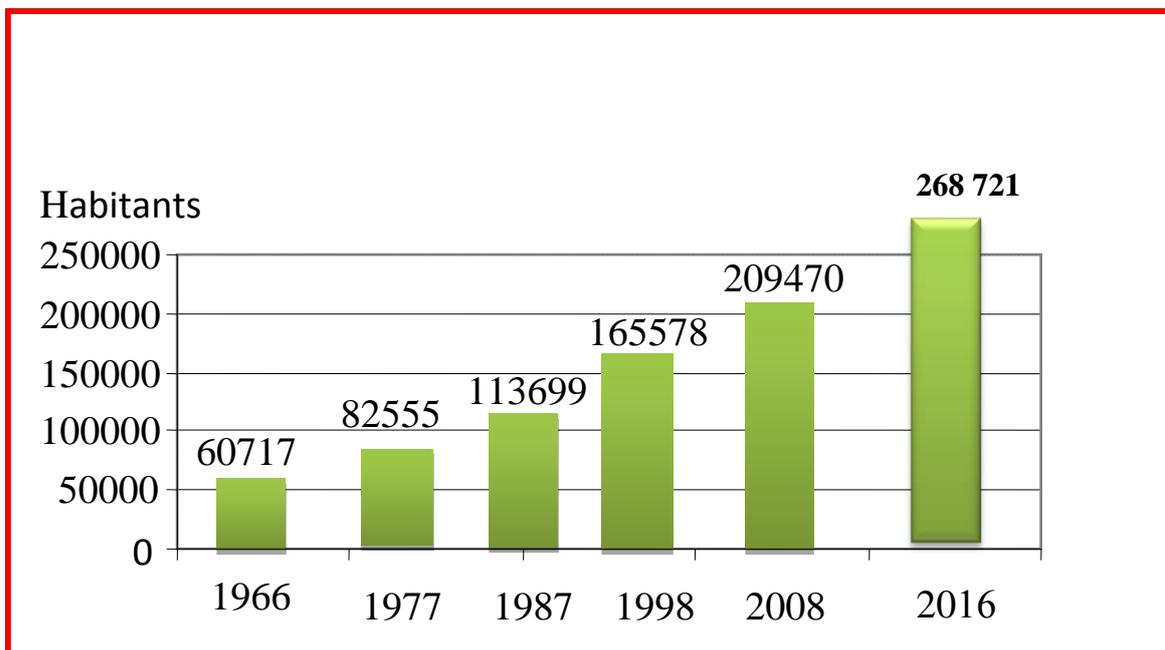


Figure N°16 : Evolution de la population aux différents recensements dans la période 1966-2016. (Source : PAW, 2009. RGPH ,2008)

Communes	Recensements*				
	1977	1987	1998	2008	2016
Naâma	5348	5694	11339	17788	25638
Mecheria	23313	40390	54627	64875	94202
Ain-Sefra	17141	27987	36577	51800	70790
Tiout	1835	4042	5014	6359	7179
Sfissifa	3423	4705	6457	6887	7592
Moghrar	2502	2958	3275	4233	4653
Asla	4137	5608	8030	9436	11167
Djenien-Bourezg	1358	2093	2765	3240	3621
Ain Ben Khelil	4652	5674	10205	12066	13772
Mekmen Ben Amar	5396	4221	8165	8221	10425
Kasdir	5509	3908	6674	7499	7717
Elbiodh	7941	6420	12450	11533	11965
Total Wilaya	82555	113700	165578	209470	268721

Tableau N°11 : Les recensements de la Population par communes de wilaya de Naama dans la période 1977- 2016.

(Source : RGPH , 2008*, PAW et Monographie de la wilaya de Naâma actualisée au 31/12/2016).

Communes	Accroissement annuel moyen en %				
	1977-1987	1987-1998	1998-2008*	2008-2016	1977-2016
Naâma	4,61	6,46	4,61	4,68	2,60
Mecheria	1,73	2,78	1,73	4,77	2,32
Ain-Sefra	3,54	2,46	3,54	3,98	2,35
Tiout	2,40	1,98	2,40	1,53	2,26
Sfissifa	0,65	2,92	0,65	1,23	1,31
Moghrar	2,60	0,93	2,60	1,19	1,02
Assela	1,63	3,32	1,63	2,13	1,64
Djenien-Bourezg	1,60	2,56	1,60	1,40	1,62
Ain Ben Khelil	1,69	5,48	1,69	1,67	1,80
Mekmen Ben Amar	0,07	6,18	0,07	3,01	1,09
Kasdir	1,17	4,99	1,17	0,36	0,55
El-biodh	-0,76	6,21	-0,76	0,46	0,67
Total Wilaya	2,38	3,48	2,38	3,16	1,95

Tableau N°12 : Accroissement annuel moyen de la Population par communes à wilaya de Naama dans la période 1977- 2016. (Source : RGPH, 2008*, PAW et Monographie de la wilaya de Naâma actualisée au 31/12/2016)

Sur les 268 721 habitants occupant le territoire de la wilaya de Naama, un tiers (1/3) est concentré dans les communes de Mecheria et Ain-Sefra dont la superficie ne dépasse pas 6% de la superficie

totale. Le taux d'accroissement démographique annuel moyen de la population est de 1.95% entre 1977 et 2016 contre 1,72% au niveau national. En revanche, le taux d'accroissement annuel moyen enregistré au cours de la période 2008-2016 est de l'ordre de 3,16%. A ce rythme la population de la wilaya de Naama doublerait chaque 32,7% par an soit 407 874 habitants en 2041 (Tab. 12).

Néanmoins, les délais de croissance de la population seront différents au niveau des communes de la wilaya en égard du taux d'accroissement démographique enregistré en leur zone. De ce fait, si nous prenons comme référence la dernière période intercensitaire (2008-2016), il est distingué que sur les 12 communes que compte la wilaya, quatre (04) d'entre elles enregistrent des taux supérieurs à la moyenne de la wilaya : Naâma (2,6%), Ain Sefra (2,35%), Mécheria (2,32%) et Tiout (2,26%), et huit (08) ont enregistré des taux compris entre 0,55% et 1,80%.

L'observation des taux d'accroissement, par dispersion, renseigne davantage sur les concentrations de population, d'une part et, d'autre part, éclaire un tant soit peu sur le peuplement des espaces où, au contraire, leur dépeuplement ce qui permettra d'identifier les régions nécessitant des attentions particulières notamment en identifiant les causes qui, elles-mêmes, seraient à la base des actions à engager pour freiner l'exode rurale.

2. Répartition spatiale de la population et densité :

La répartition de la population dépend particulièrement du lieu de travail et du degré de développement des transports. L'examen de la répartition de la population par commune, à révèlent une distribution très inégale. Sur les cinq (05) communes seules deux (02) communes comptent plus de 40.000 habitants, trois (03) communes entre 10.000 et 20.000 habitants et sept (07) communes de moins de 10.000 habitants. Les deux (02) communes de plus de 40.000 habitants (Mecheria et Ain Sefra) regroupent à elles seules 164000 habitants sur 2 865 Km² soit 60% de la population de la wilaya de Naâma sur 9,60% du territoire de la wilaya (29 840 Km²) (Tab. 13, Fig. 18 et 19).

Commune	Superficie Km²	Population	Densité habitant/km²
Naâma	2525,93	25638	10,15
Mecheria	750,12	94202	125,58
Ain-Ben- Khelil	3800,03	13772	3,62
El-Biodh	3728,18	11965	3,21
Ain-Sefra	1004,94	70790	70,44
Tiout	851,1	7179	8,43
Sfissifa	2438,61	7592	3,11
Moghrar	1746,26	4653	2,66
Mekmen- Ben- Amar	3325,48	10425	3,13
Kasdir	6386,46	7717	1,21
djenien- Bourezg	1193,19	3621	3,03
Assela	2069	11167	5,40
ToT	29819,3	268721	9,01

Tableau N°13 : La densité de la population de la wilaya de Naâma par commune, enregistrée en 2016.

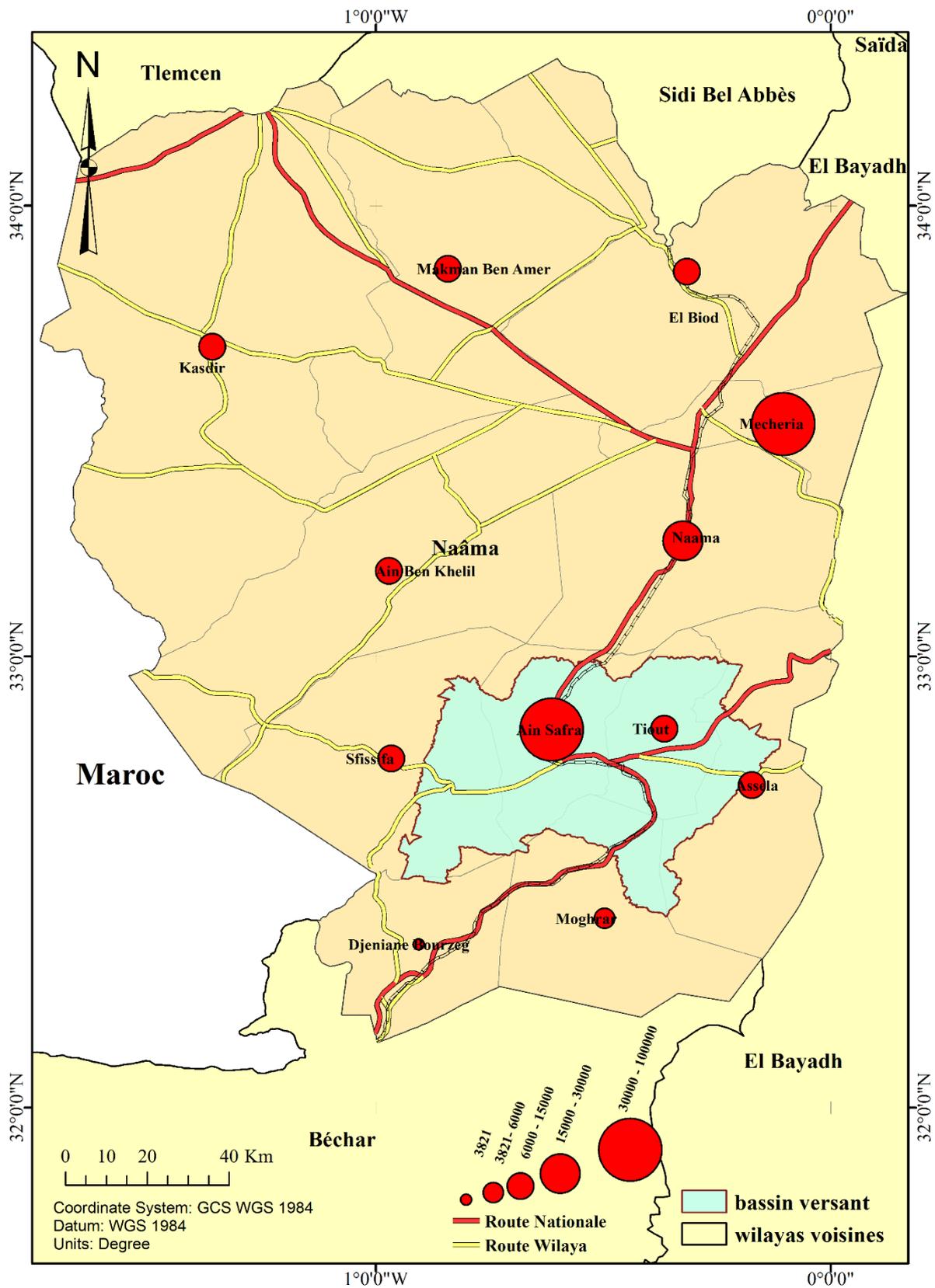


Figure N°17 : Répartition spatiale de la population de la Naâma par apport au bassin versant en 2016.

Cette répartition diverse de la population sur le territoire de la wilaya a donné lieu à des densités très disparates qui varient entre 1,21 habitant au km² à Kasdir, 125,58 habitants à Mécheria et 70,44 habitants au km² à Ain Sefra. La densité moyenne de la wilaya est de 9,01 habitants au km². D'autre part, il est distingué que la population a tendance à se concentrer, ainsi 82,05% de la population est concentrée au niveau des agglomérations. Cependant, il existe des différences importantes entre les communes. Au niveau de la commune de Mécheria, 97,4% de la population habitent l'agglomération chef-lieu et 89% à Ain Sefra (Tab. 14, Fig. 18).

C'est important de rappeler que la concentration des populations au niveau des agglomérations entraînera une demande sociale plus importante en matière d'alimentation en eau, réseaux d'assainissement, routes, transports, logements et autres services de base et que les fortes densités démographiques engendreront sans aucun doute des dégradations rapides de l'environnement où elles évoluent. Le flux migratoire est considérable et reste depuis longtemps positif du fait des possibilités d'offres résultant de la création d'emplois et de logements dans cette jeune wilaya. Le plus grand chiffre enregistré durant cette période est celui de 2013 avec 1 476 entrants ; ce qui a représenté un taux de migration de 6,07 p1000 (Monographie de la wilaya de Naâma actualisée au 31/12/2016).

Année	N. Résid.	Ch. Résid.	Solde (+/-)	Tx de migration P1000
1996	928	555	373	2,00
1997	940	630	310	1,12
1998	1 053	692	361	1,93
1999	703	624	79	0,42
2000	749	679	70	0,37
2001	1 248	1189	59	0,32
2002	1 407	1404	3	0,02
2003	1 219	1058	161	0,86
2004	1 062	1188	-126	-0,67
2005	1 392	1148	244	-0,67
2006	1 602	1108	494	2,53
2007	2 092	1402	690	3,46
2008	2 776	1505	1271	6,04
2009	2 742	1732	1010	4,67
2010	2 133	1354	779	3,50
2011	2 961	1749	1212	5,29
2012	2 860	1907	953	4,04
2013	3 575	2099	1476	6,07
2014	3 134	1953	1181	4,72
2015	2 837	1624	1213	4,58
2016	2 112	1367	745	2,81

Tableau N°14 : Taux de migration de population de 1996- 2016.
(Monographie de la wilaya de Naâma actualisée au 31/12/2016)

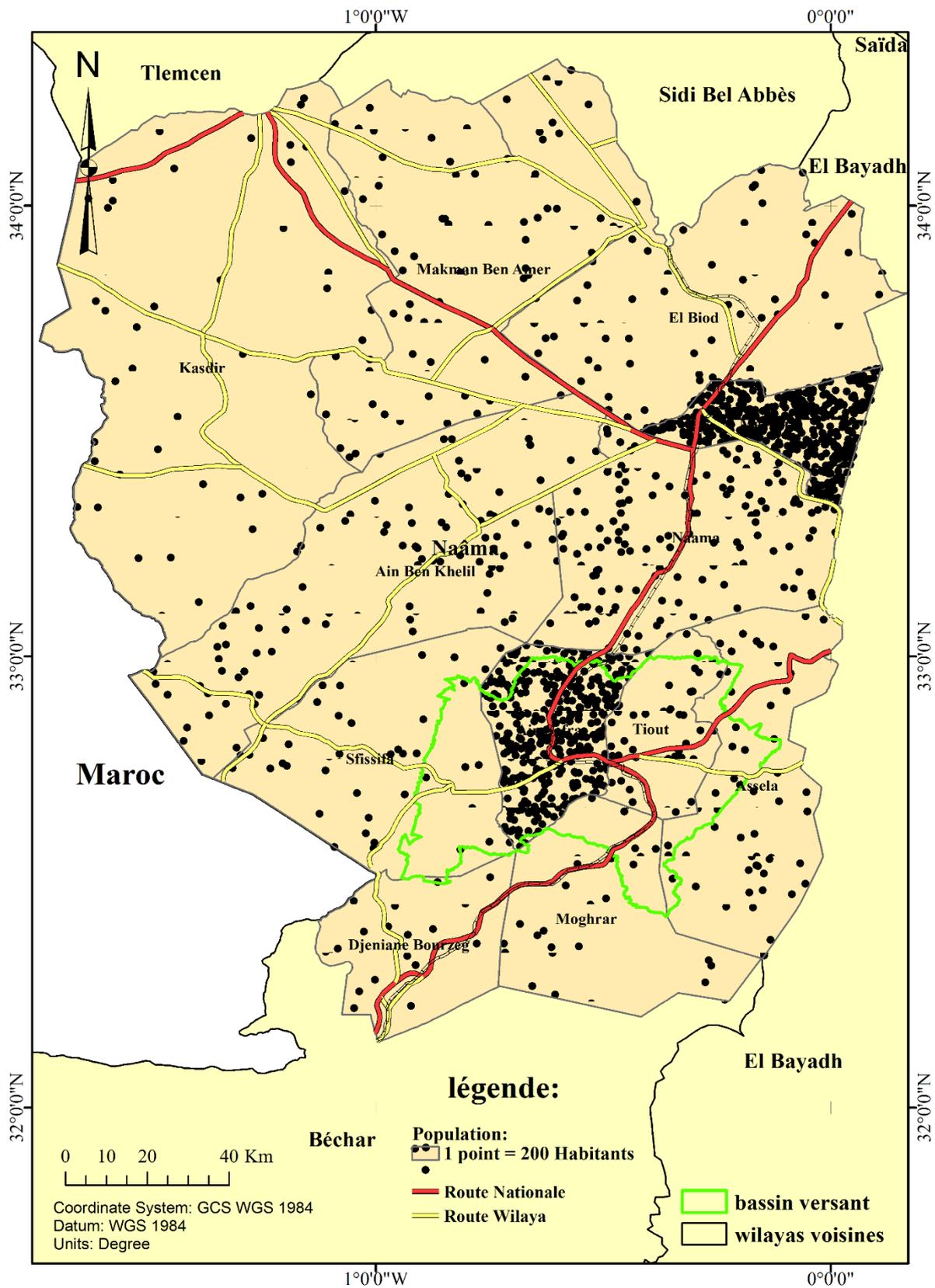


Figure N°18 : Répartition spatiale de la densité de population de la wilaya de Naâma par apport au bassin versant en 2016.

A l'échelle des communes, à l'exception de la commune de Mekemen Ben Amar, toutes les autres communes ont connu des soldes migratoires positifs. On peut conclure à travers ce bref aperçu que durant la période 1987-1998, la wilaya de Naâma a été attractive. Il faut, cependant, préciser que les mouvements migratoires intra-wilaya (inter-communes) ne ressortent pas. En effet, en considérant que le plan d'aménagement concerne la wilaya dans sa totalité, il est plus judicieux de dépasser le cadre communal.

L'examen des données communiquées par les services de la wilaya, démontre que la wilaya a enregistré que des soldes positifs dans la période 1999-2008, excepté l'année 2004 (-126 habitants). Le solde global serait, d'après ce calcul, de 2945 personnes, soit quasi identique à celui enregistré entre 1987 et 1998.

3. Sédentarisation et regroupement de la population :

Il existe une limitation de l'espace des transhumances et déséquilibre de la vie nomade. Durant la période précoloniale les nomades pratiquaient des déplacements à grande échelle entre le Sahara et le Tell. En été, le déplacement se faisait du Sud vers le Nord à la recherche des meilleurs pâturages (Bensaid, 2006). Toutefois, en dehors des déplacements vers le Nord (Achaba) et vers le Sud (Aziba), les transhumances des nomades sont difficiles à connaître, tant sont divers et mal connus les principes qui les régissent (Guillermo Y, 1990).

«...La colonisation du Tell a donné lieu à une dépossession aussi bien des éleveurs du nomadisme que des paysans. Les uns et les autres ont été contraints à se fixer sur les terres pauvres qu'ils ont soumises à une exploitation systématique et prolongée. La réduction des aires de pâturage au fur et à mesure des progrès de la colonisation a entraîné le recul dans le Tell de l'élevage nomade et sa disparition complète dès le début des années 20. Dès cette période le gros du nomadisme en Algérie a été éliminé » (Boukhobza, 1982).

Ainsi, il est remarqué, que le taux de répartition des habitants au niveau des agglomérations est élevé (82%) et dans la zone d'Ain Sefra est 89,9 %. En revanche, la population des nomades a enregistré un recul moyen annuel de 8,89% entre 1998-2008 après avoir enregistré une augmentation de 4,51% sur la période 1987-1998. En termes de volume, la population des nomades est passée de 37.554 habitants en 1998 à 15 051 habitants en 2008 et 18026 habitants en 2016. Nous nous interrogeons s'il s'agit d'une sédentarisation de cette population au niveau des agglomérations ou des zones éparses en adoptant un nouveau mode de vie ou d'un simple déplacement coïncidant avec la période du recensement (PAW de la wilaya de Naama, 2009).

Le tableau suivant, montre les évolutions enregistrées, par dispersion, au niveau de chaque commune.

Communes	Répartition des habitants 2016 en %			
	Aggloméré.	Zone éparses	Nomades	Total (habitant)
Naâma	86,50	6,46	7,03	25638,00
Mecheria	97,39	1,02	1,58	94202,00
Ain-Sefra	89,97	8,80	1,23	70790,00
Tiout	59,09	25,89	15,02	7179,00
Sfissifa	39,67	21,30	39,03	7592,00
Moghrar	69,85	13,54	16,61	4653,00
Assela	55,07	15,97	28,96	11167,00
Djenien Bourezg	92,52	2,60	4,89	3621,00
Ain Ben Khelil	44,63	42,90	12,47	13772,00
Mekmen Ben Amar	65,26	2,42	32,33	10425,00
Kasdir	32,50	66,77	0,73	7717,00
El Biodh	62,01	33,85	4,14	11965,00
Total Wilaya	82,05	11,24	6,71	268721,00

Tableau N°15 : La répartition de la population de la wilaya de Naâma par commune, enregistrée en 2016.

En général, la catégorie sociale à laquelle appartiennent citadins et anciens pasteurs est différente. Ces derniers s'installent plus souvent à l'extérieur des agglomérations, dans des communes, à cause

des plusieurs raisons parmi lesquelles : une population steppique en constante augmentation et en pleine mutation, la logique de la relation ville nomade. Il faut noter que les personnes qui déménagent pour résider en ville, ce sont celles qui n'ont aucun pouvoir de s'opposer à l'emprise de la loi du marché et qui ont des possibilités réelles d'accéder à une occupation (Boukhobza, 1982).

« Les difficultés, voire la crainte qu'éprouvent ces anciens nomades à s'insérer dans un système de relations strictement citadines auquel ils sont soumis malgré eux depuis déjà fort longtemps et l'espoir sans cesse réalimenté de reconstituer une partie du troupeau perdu (pour se rehausser à leurs propres yeux et aux yeux des autres à la hauteur des anciens pasteurs sédentarisés ayant bénéficié de meilleures conditions d'installation), limitent forcément l'attrait de la ville. L'installation en zone éparses est aussi un moyen de ne pas étaler leur misère devant les citadins aux conditions desquelles ils n'ont cessé d'aspirer » (Boukhobza, 1982).

Nous relevons qu'en agglomération, toutes les communes ont enregistré des taux d'accroissement positifs où Naâma avec 8,45% est classé en première position et Mécherai en dernière position avec 1,83%.

En revanche en zones éparses, huit (08) communes ont des taux d'accroissement positifs et quatre (04) ont enregistré des taux négatifs. Le taux d'accroissement positif le plus élevé se trouve au niveau de la commune de Kasdir (22,71%) et le taux négatif le plus important à Djénine Bourezg (-12,93%) (PAW de la wilaya de Naama, 2009).

3.1 L'agropastoralisme et utilisation de l'espace :

« Le mode de vie nomade est fondé essentiellement sur l'élevage. Cette activité qui est à l'origine des déplacements saisonniers des nomades à la recherche de pâturages est considérée comme la source principale de leurs revenus. Mais, se sédentariser ne veut pas dire abandonner cette activité. En effet, l'élevage n'a pas totalement disparu au sein des ménages enquêtés. » (Hadied, 1996). En effet la population nomade quitte le nomadisme sans pour autant abandonner l'activité de l'élevage.

Ces dernières années, nous avons constaté une perturbation du cheptel ovin. En 1987 le nombre des ovins était de 1 922 270 têtes, contre 821 850 en 1998 et 1 400 000 têtes d'ovins en 2016 soit 91,74 % de l'élevage d'ovins.

Toutefois, l'élevage bovin connaît une croissance positive. Le nombre de bovins est passé de 8940 à en 1990 à 35400 en 1999 jusque 37 605 en 2016, mais il représenté seulement 2,46% du nombre total de l'élevage.

La diminution du nombre du cheptel ovin et l'augmentation du nombre des bovins sont expliquées par le fait, qu'une catégorie des éleveurs a substitué leurs cheptels ovins par des bovins.

Ainsi que l'existence d'un pourcentage significatif du cheptel caprin de 5,44 % de la totalité des cheptels de 1521639, soit de 82 986 têtes caprines, Nous enregistrons une réticence à élever des camelins et cela ne dépasse pas 1 048 camelins soit 0,07% (Tab. 16, Fig. 20).

Communes	Ovins	Bovins	Caprins	Camelins	Total
Ain Ben Khelil	215329	6065	13100	0	234494
Ain Safra	85675	2985	5447	11	94118
Assela	104193	1565	6523	435	112716
Djeniane Bourzeg	18142	99	2252	15	20508
El Biod	180334	6518	10955	0	197807
Kasdir	227081	3819	7866	0	238766
Makman Ben Amer	178140	5902	10875	0	194917
Mecheria	49935	2364	3305	0	55604
Moghrar	30591	273	3304	432	34600
Naama	110640	3841	6842	50	121373
Sfissifa	123261	3247	7646	0	134154
Tiout	76679	927	4871	105	82582
Total	1400000	37605	82986	1048	1521639
%	91,74	2,46	5,44	0,07	99,71

Tableau N°16 : Nombre de têtes des troupeaux dans la wilaya de Naâma par communes en 2016. (Source : DSA)

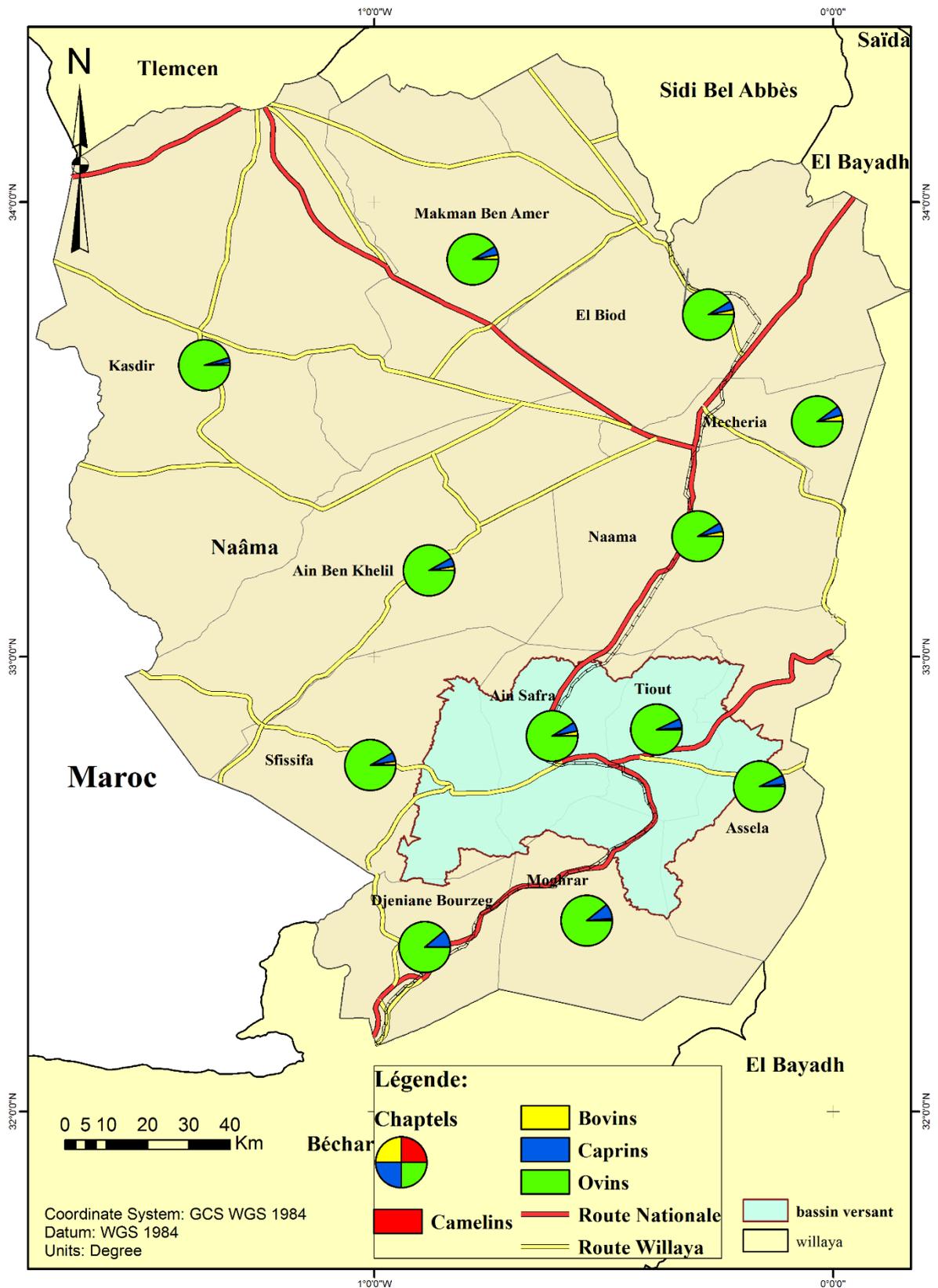


Figure N° 19 : Répartition des cheptels dans la wilaya de Naâma par communes en 2016.

L'élevage est une activité qui est à l'origine des déplacements saisonniers des nomades à la recherche de pâturages est considéré comme la source principale de leurs revenus. La réduction des aires de parcours et de la modernisation des moyens de transport peut aboutir le surpâturage, « *l'éleveur se prête toujours à retirer le maximum de bénéfices de son exploitation, sans se préoccuper d'une utilisation optimale des ressources végétales, ni du couvert végétal de la steppe. Bref, il cherche, par la commercialisation des animaux, un profit maximum.* » (Hadied, 1996).

Il est clair que la quantité de têtes dans le bassin versant semble stationnaire avec quelques différences. Ainsi, nous voulons savoir si le surpâturage est lié au nombre important des troupeaux ou bien c'est le système d'élevage lui-même qui n'est pas adapté à un milieu aussi fragile que celui de la steppe.

Par conséquent le nombre élevé d'ovines, approximativement 1400000 têtes, conduites à une dégradation de la végétation au bassin versant. Il faut noter également le souci constant du nomade de ne pas trop s'éloigner des points d'eau. Ainsi, la dégradation ou le surpâturage ne touche pas d'une façon uniforme les parcours steppiques.

Conclusion de la première partie :

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra présentent des conditions favorables à une vive érosion éolienne et par conséquent à l'ensablement, il offre des milieux morphologiques et édaphiques et les traits importants se résument pour un relief compartimenté du Nord vers le Sud en deux ensembles morphologiques.

D'une part nous avons des dépressions vastes étendue steppiques, souvent désertiques et d'autre part, une zone de montagnes à caractère oasien, mais dont les monts sont dénudés, érodés et souvent rocaillieux et dont le climat est à la limite de l'aride.

Le climat de type continental subaride à semi-aride est caractérisé par des précipitations insuffisantes et à fortes variations saisonnières et annuelles et de surcroît marquées par le changement climatique des dernières décennies. Nous avons des hivers froids, accompagnés de gelées fréquentes et des étés chauds et secs. Nous rencontrons une structure géologique aux formations de surface fragiles et sensibles à l'érosion éolienne, qui, conjuguée aux effets climatiques et à l'insuffisance du couvert végétal pérenne, a donné lieu à des sols de qualité médiocre pour l'agriculture. La végétation steppique est soumise aux effets néfastes du climat et du surpâturage, qui se rétrécit de plus en plus pour laisser place à l'érosion et à la désertification. Les constats effectués mettent donc en évidence une situation très singulière et qui peut susciter des inquiétudes quant à l'avenir de ces territoires. En effet, à travers la dégradation des conditions climatiques et les effets néfastes des interventions de l'homme sur le milieu naturel (surpâturage, défrichement, etc.) c'est toute la base de l'économie ancestrale du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, à savoir le pastoralisme, qui est menacée dans sa durabilité, et qui appelle donc à la nécessité des solutions urgentes.

Les facteurs anthropiques et socio-économiques qui ont un lien direct ou indirect dans le dysfonctionnement du système pastoral semblent très complexes et se situent à des niveaux divers.

Au cours de cette partie nous avons vu que ces facteurs, notamment, la sédentarisation de la population nomade, l'évolution et l'accroissement de la population, ont entraîné un déséquilibre et une dégradation souvent irréversible des écosystèmes pastoraux.

Par conséquent, le bassin versant de l'Oued Ain Sefra subit en de nombreuses localités de sérieux problèmes d'ensablement, constitue une menace sérieuse pour l'ensemble des infrastructures de développement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra ; alors que jusqu'à un passé assez récent, l'exploitation des ressources naturelles par les populations autochtones s'était effectuée de manière rationnelle pour assurer à la fois la pérennité du couvert végétal

PARTIE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA ET LE CADRE D'ETUDE

steppique et la ressource hydrique. C'est pourquoi dans la deuxième partie nous allons localiser les zones ensablées dans le bassin versant, on fait une étude diachronique afin d'évaluer la dynamique de sable et l'extension de l'ensablement de 1975 à 2015 dans le bassin versant.

**PARTIE II : ETUDE DIACHRONIQUE ET DETECTION DU
CHANGEMENT DE L'ENSABLEMENT DANS LE BASSIN
VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA(LES MONTS DES KSOUR)**

Introduction deuxième partie :

En Algérie, Les zones arides sont caractérisées par la fragilité de leur écosystème, sont les premières zones soumises au phénomène de la dégradation et d'ensablement. Ce dernier, qui représente un phénomène très complexe. Notre choix d'étude s'est porté sur le bassin versant de l'Oued Ain Sefra puisqu'il se trouve dans les zones arides et représente un cas d'exemple où l'ensablement demeure l'une des préoccupations majeures des collectivités locales, depuis longtemps.

Dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra l'ensablement est intrinsèquement lié à des facteurs extra zonaux tant sur le plan climatique que sur le plan des processus régionaux de transport éolien de sable entre zones sources et zones de dépôts. La compréhension du phénomène a été rendue possible grâce à l'effet combiné des actions édapho-climatiques, des facteurs géologiques et géomorphologiques (Bouarfa, 2012). La mobilité des dunes de sable dépend principalement de trois facteurs : la morphologie (McKee, 1979), le régime du vent dominant et son énergie (Fryberger et Dean, 1979) . Le vent reste l'élément principal responsable de la mobilité des sables (Mainguet, 1996), où le régime du vent, y compris la fréquence, la magnitude et la direction, qui est également l'un des facteurs qui déterminent la forme, la dynamique et la migration des accumulations de sable (Cooke et Warren, 1973; Lancaster, 1995; Pye et Tsoar, 2009). Ces accumulations sableuses dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, sont déplacées continuellement et envahissent d'autres surfaces chaque année, pourraient mettre en danger les sites urbains et les infrastructures socio-économiques (Khalaf et Al-Ajmi, 1993 ; Boulghobra, Hadri et Bouhana, 2014 ; Boulghobra, 2016).

La question qui se pose ici est comment se déplacer ces accumulations et les dunes de sables dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra ?

Notre objective principale a été d'analyser la mobilité des sables dans le bassin versant par la télédétection depuis 1975 jusqu'à 2015 et est-ce que ces sables transportés constituent des sources de risque réel sur les zones construites ainsi que les infrastructures socio-économiques.

Plusieurs travaux ont utilisé la télédétection pour l'étude de la dynamique éolienne et l'ensablement. Taibi (1997) a utilisé des images Landsat MSS de 1985 et TM de 1989 ainsi que des images SAR-ERS de 1992 et 1993 pour réaliser un suivi diachronique des formations sableuses sur cinq sites du piémont sud de l'Atlas Saharien. Bensaid A. (2006) a utilisé l'imagerie satellite pour l'étude de l'ensablement dans la wilaya de Naâma (Algérie) en zone aride. Afin de séparer les zones couvertes par le sable (zones de transfert ou d'accumulation), Desjardins et al. (2005) ont mis en évidence l'avancée des dunes dans plusieurs zones du Sud-Est marocain en utilisant

des images civiles et militaires de haute résolution spatiale pour comprendre la progression des édifices dunaires sur une période de quatre années. Nous avons analysé également une autre étude récente intitulée : « Assessment of d'une migration hazards against landuse Northwest Al-lith City, Saudia Arabia, using multi-temporal satellite imagery » de Khalid Al-Ghamdi¹ et ElSayed Hermas (2015).

Partant de ce fait, Nous allons dans cette partie, évaluer le phénomène de l'ensablement par une étude diachronique réalisé dans la période 1985-2015 grâce à la télédétection et les images de Landsat.

En outre, nous avons eu aussi des objectifs secondaires, comme la localisation des stocks de sable dans le bassin versant avec une relation spatio-temporaire, identifier la direction de migration des sable et le volume de dunes, la détection du changement des déférentes classes d'occupation du sol dans la période 1975-2015.

La méthode appliquée a été fondée sur le traitement et l'interprétation d'images satellites.

D'abord nous avons fait la composition colorée et les prétraitements tell que la correction géométrique, le calibrage radiométrique et les corrections atmosphériques (L'atmosphère Réflectance), ensuite il faut faire l'analyse des composants principaux PCA. Ainsi que, On va fait un test avec l'indice du voile sableux de Abdellaoui (1997). Une classification supervisée avec classes de signature spectrale (ROI) sera faite a fin de ressortir une classification maximale de la vraisemblance (Maximum Likelihood MLC) et la vérification avec un traitement de la classification des postes et enfin faire une Détection du changement des accumulations sableuses de 1975 à 2015.

Nous avons visé à localiser les zones d'accumulation sableuse, à suivre les mouvements de sables, et détecter le changement entre des dates différentes (1985-1989-1998-2005-2015).

I. Méthodes et matériels :

La télédétection satellitaire connaît véritablement son développement dans les années 1970-1980 (Bonn et Rochon, 1992), permettant alors de mieux appréhender l'évolution des états de surface et de mieux interpréter leurs modifications spatio-temporelles, leurs vulnérabilités et les phénomènes associés (Tidjani et al. 2009). Aujourd'hui, grâce à l'évolution des capteurs, des techniques d'acquisition et des méthodes de diffusion, les données provenant de la télédétection sont de plus en plus nombreuses et riches d'informations environnementales, ouvrant des nombreuses capacités pour des nouvelles recherches, en particulier pour un espace comme le bassin versant de l'Oued Ain Sefra où les moyens de surveillance au sol sont peu nombreux.

Etant donné ce large choix, l'objectif principal de cette partie est de présenter les données satellitaires nécessaires aux analyses des parties suivantes, en expliquant comment les paramètres essentiels pour le suivi de l'ensablement ont été obtenus (Thi Phuong ,2006). L'explication d'une image satellite est essentiellement basée sur l'hypothèse qu'il est possible d'identifier un certain nombre d'éléments présents à la surface de la zone à partir des valeurs de luminance de ces objets dans les différentes fenêtres du spectre électromagnétique (Thi Phuong Thao DO 2006). Les données fournies par les satellites d'observation de la Terre sont surtout définies par trois principales caractéristiques (Caloz et Collet, 2001) : La résolution spatiale, la résolution temporelle, la résolution spectrale :

1. Présentation générale des satellites Landsat et ses caractéristiques :

Le programme Landsat est le premier programme spatial d'observation de la Terre destiné à des objectifs civils. Il a été amélioré par l'agence spatiale américaine NASA, à l'instigation de l'Institut des études géologiques américain (USGS) et du département de l'agriculture à la moitié des années 1960. Sept satellites Landsat ont été lancés pendant la période 1972 - 1999 et un huitième, le 11 février 2013. Les outils embarqués sur les satellites Landsat ont permis de capturer plusieurs millions d'images. Celles-ci constituent des ressources indivisibles pour l'étude des changements climatiques, l'utilisation des sols, la cartographie, la gestion de l'habitat ; ainsi que pour de nombreuses autres applications dans les domaines de l'agriculture, la géologie, la sylviculture, l'éducation etc. (https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_Landsat)

Les satellites Landsat évoluent à une altitude moyenne de 705 km, sur des orbites circulaires quasi polaire caractérisées par une inclinaison de $98,2^\circ$. Un tour de la terre leur prend 98,9 min, si bien qu'ils décrivent 14,5 révolutions par jour. Un cycle orbital compte dure 16 jours. (Tab.17, Fig.20)

Caractéristiques	Landsat-1 à 3	Landsat-4 et 5	Landsat-6	Landsat-7	LDCM
Début et fin de mission	Landsat-1 : 1972-1978 Landsat-2 : 1975-1981 Landsat-3 : 1982-1993	Landsat-4 : 1982-1993 Landsat-5 : 1984-2013	1993 (échec)	1999-	2013-
Statut satellite	Achevé	Achevé (L-4) Fonctionne en mode dégradé (L-5)	Echec au lancement	Actif	En développement
Masse	816–960 kg	1 938–1 961 kg	-	2 200 kg	2 600 kg
Instruments	MSS : radiomètre RVB : caméra vidéo	MSS et TM : radiomètre	MSS et TM : radiomètre	ETM+ : radiomètre	OLI et TIRS : radiomètre
Bandes spectrales	0,5-0,6 µm 0,6-0,7 µm 0,7-0,8 µm 0,8-1,1 µm	0,45-0,52 µm 0,52-0,6 µm 0,63-0,69 µm 0,76-0,9 µm 1,55-1,75 µm 2,08-2,35 µm	-	0,45-0,52 µm 0,53-0,61 µm 0,63-0,69 µm 0,78-0,9 µm 1,55-1,75 µm 2,09-2,35 µm	0,433-0,453 µm 0,45-0,515 µm 0,525-0,6 µm 0,63-0,68 µm 0,845-0,885 µm 1,56-1,66 µm 1,36-1,39 µm 2,1-2,3 µm
Infrarouge thermique	-	10,4-12,5 µm	-	10,4-12,5 µm	10,3-11,3 µm 11,5-12,5 µm
Panchromatique	-	-	-	0,52-0,9 µm	0,5-0,68 µm
Résolution	Générale : 79 m	Générale : 30 m Infrarouge thermique : 120 m	-	Générale : 30 m Panchromatique : 15 m Infrarouge thermique : 100 m	Générale : 30 m Panchromatique : 15 m Infrarouge thermique : 60 m
Technique de prise d'image	Whiskbroom	Whiskbroom	-	Whiskbroom	Pushbroom
Orbite	Altitude : 907–915 km cycle : 18 jours heure : 9 h 45	Altitude : 705 km cycle : 16 jours heure : 9 h 30-10 h	-	Altitude : 705 km cycle : 16 jours heure : 10 h-10 h 15	Altitude : 705 km cycle : 16 jours heure : 10 h

**Tableau N°17 : Principales caractéristiques des satellites Landsat.
(Source : landsat.visibleearth.nasa.gov)**

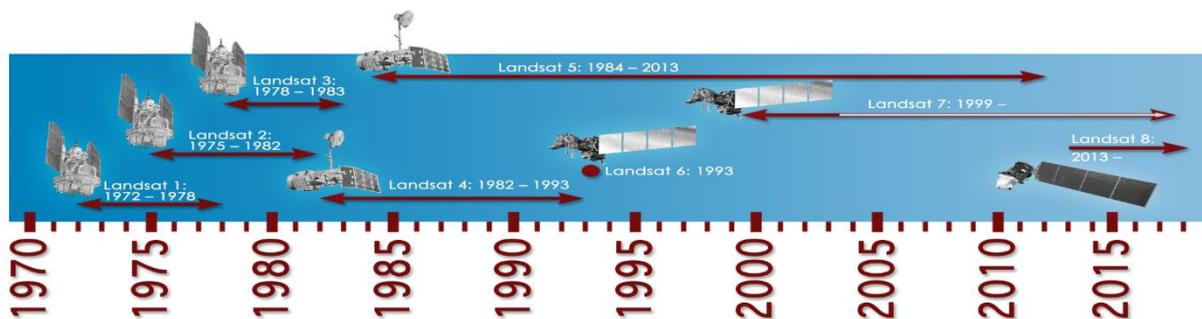


Figure N° 20 : Chronologie des satellites Landsat de 1970 à 2015.

(Source : landsat.visibleearth.nasa.gov)

Bandes de fréquences de l'instrument TM	Bande spectrale	Résolution	Couleur
TM1	0.45-0.52um	30 m	bleu
TM2	0.52-0.60um	30 m	vert
TM3	0.63-0.69um	30 m	rouge
TM4	0.76-0.90um	30 m	IR proche
TM5	1.55-1.75um	30 m	IR moyen
TM6	10.42-12.50µm	60 m	IR thermique/lointain
TM7	2.08-2.35 µm	30 m	IR moyen
Couverture terrestre : 185 km x 185 km			
Cycle d'acquisition d'images : 16 jours			

Tableau N°18 : Bandes spectrales des capteurs LANDSAT 5/7 TM / ETM + dans le spectre solaire.

(Source : landsat.visibleearth.nasa.gov)

Landsat 8 : Lancé le 11 février 2013, Landsat 8 (anciennement Landsat Data Continuity Mission, LDCM) est l'avenir des satellites Landsat. Il collecte des données précieuses et des images à utiliser dans l'agriculture, l'éducation, les entreprises, la science et le gouvernement.

Le programme Landsat offre une acquisition répétitive de données multispectrales à haute résolution de la surface terrestre à l'échelle mondiale. Les données du vaisseau spatial Landsat

constituent le record le plus long des surfaces continentales de la Terre vu de l'espace. C'est un record inégalé de qualité, de détail, de couverture et de valeur (Tab. 18 et 19).

Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 1 - Aérosols	0,433 - 0,453 μm	30 m
Bande 2 - Bleu	0,450 - 0,515 μm	30 m
Bande 3 - Vert	0,525 - 0,600 μm	30 m
Bande 4 - Rouge	0,630 - 0,680 μm	30 m
Bande 5 - Infrarouge proche	0,845 - 0,885 μm	30 m
Bande 6 - Infrarouge moyen 1	1,560 - 1,660 μm	30 m
Bande 7 - Infrarouge moyen 2	2,100 - 2,300 μm	30 m
Bande 8 - Panchromatique	0,500 - 0,680 μm	15 m
Bande 9 - Cirrus	1,360 - 1,390 μm	30 m

Tableau N°19 : Les bandes spectrales de l'instrument OLI.
(Source : landsat.visibleearth.nasa.gov)

2. Logiciels et outils utilisés :

Différents types de logiciels ont été utilisés dans le cadre de cette étude : le site web <https://earthexplorer.usgs.gov/> de la NASA pour télécharger les images Landsat « Tm4/TM5/TM7+ et OLI. Tous les traitements d'images Landsat, les classifications et la détection de changement, ont été réalisés grâce au logiciel de télédétection ENVI 5.1. Le logiciel Google Earth Pro 7.1.7.2606, a servi pour la phase de correction et validation des résultats. Enfin, la partie cartographie et création de la base de données géographique, ont été effectués avec le système d'information géographique ArcGIS 10.2.

3. Les différentes phases d'analyse d'image satellite–Landsat :

Le traitement d'image commence par l'extraction du secteur d'intérêt et la correction géométrique de l'image Landsat dans le système de référence UTM/WGS 84, fuseau 31N. Les techniques d'amélioration de contraste permettent ensuite d'augmenter la qualité visuelle de l'image. Les images Landsat sont composées de sept bandes différentes, chacune représentant une partie différente du spectre électromagnétique. Pour travailler avec des combinaisons de bandes Landsat (composites RVB de trois bandes), nous devons d'abord comprendre les spécifications de chaque bande (Fig. 21).

3.1 La composition colorée :

La composition colorée a été obtenue à partir d'une superposition de trois canaux (B4 B3 B2) de la scène. Elle a été utilisée comme une image de départ afin de guider les traitements d'images, l'échantillonnage au sol et l'extraction des points d'appui pour une éventuelle correction géométrique. Les bandes individuelles peuvent être composées dans une combinaison Rouge, Vert, Bleu (RGB) afin de visualiser les données en couleur. Il existe de nombreuses combinaisons différentes qui peuvent être faites, et chacune a ses propres avantages et inconvénients. Voici quelques combinaisons de bandes RVB Landsat généralement utilisées (composites couleur) (Fig. 21) :

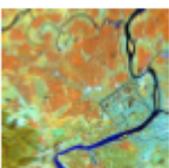
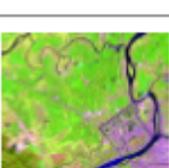
	<p>3,2,1 RGB</p> <p>This color composite is as close to true color that we can get with a Landsat ETM image. It is also useful for studying aquatic habitats. The downside of this set of bands is that they tend to produce a hazy image.</p>
	<p>4,3,2, RGB</p> <p>This has similar qualities to the image with bands 3,2,1 however, since this includes the near infrared channel (band 4) land water boundaries are clearer and different types of vegetation are more apparent. This was a popular band combination for Landsat MSS data since that did not have a mid-infrared band.</p>
	<p>4,5,3 RGB</p> <p>This is crisper than the previous two images because the two shortest wavelength bands (bands 1 and 2) are not included. Different vegetation types can be more clearly defined and the land/water interface is very clear. Variations in moisture content are evident with this set of bands. This is probably the most common band combination for Landsat imagery.</p>
	<p>7,4,2 RGB</p> <p>This has similar properties to the 4,5,3 band combination with the biggest difference being that vegetation is green. This is the band combination that was selected for the global Landsat mosaic created for NASA.</p>
	<p>5,4,1 RGB</p> <p>This band combination has similar properties to the 7,4,2 combination, however it is better suited in visualizing agricultural vegetation.</p>

Figure N° 21 : Combinaisons de bande commune Landsat.
(Source : landsat.visibleearth.nasa.gov)

4. Prétraitement :

Le prétraitement des images des capteurs satellites est obligatoire pour établir plus directement le lien entre les données et les phénomènes biophysiques, annulation des erreurs d'acquisition de données, bruit d'image et masquage de taches contaminées et non pertinentes telles que les nuages ou l'eau corps, ce qui pourrait conduire à une interprétation erronée et à la détection de phénomènes de changement irréel (Coppin et al. 2004).

4.1 Correction géométrique :

Les données satellitaires ont été cliquées dans un sous-ensemble de la zone d'étude de cas dans afin de se concentrer sur les données pertinentes. La couverture nuageuse a été masquée dans les deux sous-ensembles pour exclure les pixels contaminés. Dans cette étude, la rectification a été effectuée par l'acquisition des points amers figurant à la fois sur la scène et sur les cartes topographiques (projection UTM fuseau 31).

4.2 Calibrage radiométrique :

C'est très important de calibrer les informations des capteurs bruts à des unités physiques expressives avant une classification ultérieure pour un changement de détection. Un étalonnage radiométrique permet de s'assurer que cela a détecté les modifications et peuvent être prises en réalité au lieu des erreurs causées par les différences d'étalonnage du capteur et les angles du Soleil. Les phénomènes de changement irréel peuvent être causés par des variations temporelles solaire et angles d'azimut (Coppin et al. 2004).

4.3 Corrections atmosphériques (Réflectance atmosphérique) :

Les divergents angles du soleil et l'irradiante solaire ont été normalisés en calculant le TOA de la réflectance dans une réflectance planétaire sans unité. Ce calcul a été effectué avec l'équation 3 selon Chander et Markham (2003). Il a besoin de la distance Terre-Soleil dans les unités astronomiques et l'angle zénithaire solaire. Chander et Markham (2003) ont recommandé des calculs comme une réduction de la variabilité inter-scène, car l'effet cosinus de différents angles zénithaux solaires peut être éliminé. D'un autre côté, nous devons considérer qu'il n'ajoute pas des nouvelles informations à l'image.

4.4 Analyse des composants principaux PCA :

Un changement multispectral est une application commune en logique de la relation entre bandes dans des données d'images multispectrales. Par ailleurs, Fung et LeDrew (1987) citent que les données de télédétection multispectrales présentent une forte corrélation entre bandes. Cela veut dire si la réflexion est élevée à un endroit particulier dans une bande, ces points sont susceptibles d'être élevés dans des autres bandes. En bref l'information est maximisée dans la première composante et diminue successivement dans la suivante. Dans cette étude, une analyse de la composante principale (PCA) a été réalisée.

De même, le composite de couleur d'une image couleur est basé sur le système Red Green Blue (RGB), qui est un additif de mélange de couleurs. Le système RGB permet d'utiliser trois pistolets de couleur pour afficher les bandes spectrales satellitaires disponibles. Pour la fausse composite couleur (FCC) nous pouvons utiliser chaque bande spectrale satellite disponible. Ainsi, il est pratique dans la zone d'étude d'Ain Sefraune FCC infrarouge classique qui est utilisée pour détecter la végétation car la bande 4 dans le pistolet à couleur rouge, bande 3 dans le pistolet de couleur vert et bande 2 dans le bleu pistolet couleur (FCC est R: 4, G: 3 et B: 2). Les surfaces végétales sont affichées en couleur rouge (Florian Sallaba 2009).

5. L'indice du voile sableux (Abdellaoui 1997) :

Plusieurs auteurs ont suivi l'évolution de l'ensablement et de la sécheresse dans les zones arides et semi arides. Ainsi, Marius C. (1995) a étudié le problème d'ensablement et ses impacts négatifs sur les mangroves du Sénégal ; Callot *et al.* (1996) a analysé la géodynamique des sables éoliens dans le Nord-Ouest saharien ; Taibi (1997) a utilisé des images Landsat MSS de 1985 et TM de 1989 ainsi que des images SAR-ERS de 92 et 93 pour réaliser un suivi diachronique de trois thèmes principaux : la végétation dense et steppique et les formations sableuses sur cinq sites du piémont Sud de l'Atlas Saharien. Plus récemment, Benmohammadi *et al.* (2000) ont analysé les interrelations anthropiques et naturelles et leurs impacts sur la recrudescence des phénomènes d'ensablement et de désertification au Sud-Est marocain ; Desjardins *et al.* (2005) ont mis en évidence l'avancée des dunes dans plusieurs zones du Sud-Est marocain en utilisant des images civiles et militaires haute résolution spatiale pour comprendre la progression des édifices dunaires sur une période de quatre années. Aussi, Bensaid A. (2006) a utilisé l'imagerie satellite pour l'étude de l'ensablement dans la wilaya de Naâma en zone aride. Afin de diviser les zones couvertes par le sable, ils ont utilisé un indice de bâti élaboré par Abdellaoui *et al.* (1997) et qui ils ont modifié pour obtenir un indice de la forme suivante :

$$IVS = (b1 + u*b2 + v*b3) / (1 + b1)$$

Dans cette formule : b_1 , b_2 , b_3 désignent respectivement les canaux Bleu, Rouge et proche IR pour TM et ETM+ (canaux 1, 3 et 5) et ils ont fixé les constantes u et v à 1.5 et 2.5 respectivement. L'image obtenue a l'avantage de mettre en évidence très nettement quatre thèmes bien différenciés sur des gammes de gris séparées. Nous avons regroupé ces thèmes en deux catégories distinctes ; la première apparaît sur des nuances sombres et la seconde en blanc avec des valeurs nettement séparées. La végétation apparaît en noir, le sable consolidé ou humide en gris foncé et le sable bâti en gris plus clair. Le sable voilé ou en mouvement apparaît en blanc très séparé du reste. Nous avons testé cet indice pour confirmer les localisations des accumulations sableuses obtenus dans notre étude (Fig. 22).

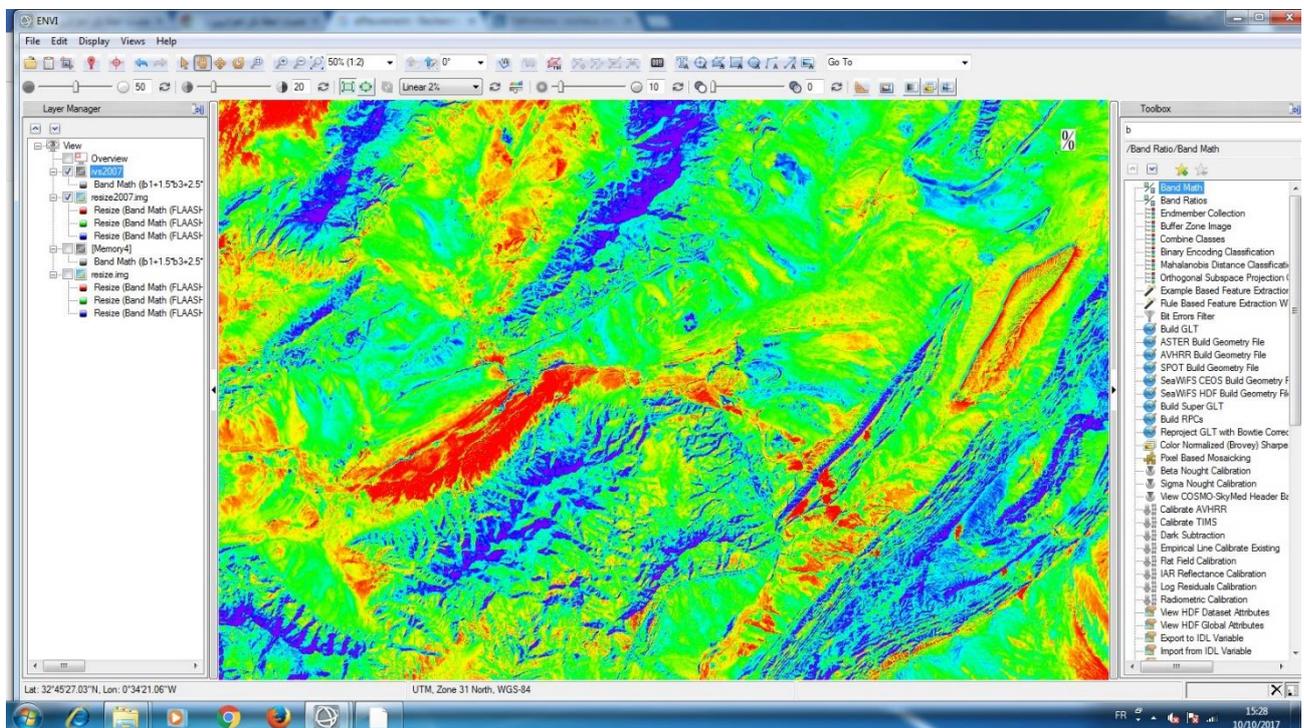


Figure N°22 : Indice du voile sableux (IVS) sur image Landsat ETM+ du 2005 (le rouge est le sable).

6. Classification supervisée :

La réalisation de signatures spectrales suffisantes est basée sur des sites de formation numérisés par les utilisateurs et leurs classes d'information correspondantes. Dans le cas de cette étude, une détermination des cours d'information doivent prendre connaissance de la région et l'indépendance saisonnière en compte.

Une bonne connaissance du bassin versant de l'Oued Ain Sefraa été réalisée grâce à une amélioration de l'image appropriée et études de la littérature. L'indépendance saisonnière des cours

d'information signifie que les classes devraient être exemptes de variations saisonnières parce que les données satellitaires n'étaient pas enregistrées à une date annuelle. Ceci pourrait être la principale source d'erreur lors de la détection de changement ultérieure d'une analyse. Les classes d'information sont choisies à l'aide de l'utilisation et de la couverture de l'USGS Système de classification recommandé par LilleSable et al. (2000).

Le sol de la classe comprend des piques et des zones éparses végétalisées puisque les signatures du sable dominant les signaux d'arrière-plan dans notre zone de classes de signature spectrale, aussi noté par Hostert et al. (2003) et Röder et Al. (2008). Les parcours n'ont pas été pris en compte pour la raison qu'ils sont assez difficile à identifier dans les images satellites sans travail de terrain et données de référence telles que les cartes topographiques ou les photographies aériennes. Cependant, la végétation éparses et les espèces de ridelles qui pourraient être utilisées pour le pâturage, sont supposées être dans la classe de sol en raison de la domination signal de fond du sol.

6.1 Classes de signature spectrale (ROI) :

La création de classes de signature spectrale est un processus itératif et son objectif est d'agrèger un ensemble de données statistiques qui décrivent la signature spectrale de chaque classe d'information.

Les systèmes de traitement d'image communs offrent des possibilités telles que des diagrammes de dispersion pour améliorer ces signatures. Les diagrammes de dispersion sont des espaces multispectrales bidimensionnels avec axes définis. Afin de créer des signatures spectrales satisfaisantes de chaque classe d'information et la sous-classe, une quantité suffisante de sites d'entraînement a été numérisée dans les deux images satellites. LilleSable et al. (2000) ont décrit la détermination des sites de formation comme art et la science, parce que c'est nécessaire d'avoir une interaction étroite entre l'utilisateur et l'image ainsi que des données de référence adéquates. En outre, le problème de pixel mixte des données TM et ETM + était pris en considération. La résolution au sol de 30 m conduit à un mélange de plusieurs spectres signatures en un pixel. LilleSable et al (2000) ont mentionné ce problème des capteurs à enregistrer et extraire des détails spatiaux et spectraux dans une image. Par conséquent, les sites de formation dès la classe d'information correspondante a été faite dans des domaines explicites afin d'être représentative et complète, alors que la classe de sol est une exception telle qu'elle est mentionnée ci-dessus. Le spectral les statistiques de la classe de signature ont été estimées dans les deux images Landsat hors des bandes 3, 4, 5 et 7 ainsi que les principaux composants 1 et 2. Richards et Jia (1999) ont recommandé ce type de sélection si les bandes ou les caractéristiques ne supportent pas de manière significative la discrimination.

La bande 6 a été exclue en raison de l'incohérence dans la résolution spatiale (Ediriwickrema et Khorram, 1997).

6.2 Classification maximale de la vraisemblance (Maximum Likelihood MLC) :

Bien que de nombreuses méthodes différentes ont été conçues pour mettre en œuvre une supervision de la classification, le MLC est toujours l'un des classements supervisés le plus utilisé par les algorithmes (Jensen, 1996). Dans cette étude, un algorithme MLC a été utilisé. Il a quantitativement évalué la variance et la covariance des modèles de réponse spectrale d'un inconnu Pixel (LilleSable et al. 2000). L'algorithme a été capable de reconnaître les caractéristiques spectrales de chaque classe dans un ensemble de données inconnu via les données statistiques obtenues par une formation numérisée de sites au préalable (Richards et Jia, 1999). Il a consisté dans une distribution normale multivariée de chaque classe spectrale. Le vecteur moyen et la matrice de covariance d'une distribution peut être utilisé pour le décrire complètement. À force de ces paramètres, il est possible d'estimer une probabilité statistique d'une valeur de pixel donnée étant un membre d'une classe spectrale particulière (Florian Sallaba, 2009).

Le résultat est une fonction de densité de probabilité pour chaque classe spectrale. Des fonctions de densité ont été utilisées pour affecter un pixel non identifié en calculant la probabilité de la valeur de pixel appartenant à chaque classe spectrale. En fin de compte, un pixel a été assigné à la classe spectrale la plus probable ou enregistré comme non classé si la probabilité les valeurs sont inférieures à un seuil défini par l'utilisateur (LilleSable et al, 2000).

En conséquence, il s'agit d'une estimation d'une appartenance à une classe d'un pixel inconnu utilisant une multivariée de modèles de distribution normale pour les classes. Un algorithme MLC peut modéliser une classe si les distributions sont allongées à des degrés différents dans des directions différentes dans les zones multispectrales. L'espace de fonctionnalité conduit à une erreur de classification moyenne minimale si elle est appliquée correctement. D'autre part, le MLC est sensible à l'hypothèse d'une normale multivariée - Distribution. Les classes spectrales devraient être des distributions uniques et souvent les classes sont multimodal (Richards et Jia, 1999). Par conséquent, durant l'étape itérative consistant à déterminer le spectral, les signatures de classe ont été répétées en raison de diagrammes de dispersion pour éviter les données d'entraînement multimodal.

Cependant, certaines classes spectrales ont naturellement des caractéristiques et des chevauchements tels que le sol, les terres arables et les zones urbaines. Une explication statistique plus détaillée du MLC, ses algorithmes et ses termes statistiques sont décrits par Richards et Jia (1999) et LilleSable et al. (2000). Les résultats de la zone ont été résumés dans cinq cartes

thématiques de 1975, 1985, 1998, 2005 et 2015 selon les classes spectrales (sable, dune, sol nu, parcours, zone rocheux et zones urbaines) (Florian Sallaba, 2009).

6.3 Évaluation de la précision de la carte (coefficient KAPPA) :

Une appréciation de la précision de la carte devrait toujours être réalisée après une classification afin de tester la qualité de la classification. Différents auteurs ont suggéré une telle évaluation de précision. Elle a besoin de données de vérité terrestre dans la zone d'étude correspondante. Ces données sont de préférence un échantillon de points mesurés avec un dispositif de système de positionnement global (GPS) avec des informations sur la classe LULC¹ dominante à ce stade. En outre, il faut considérer le terrain de la résolution du système de capteurs en décrivant le type LULC en vigueur. Si le processus est satisfaisant, les données de base de la vérité devraient être collectées idéalement dans la même semaine où l'image satellite a été enregistrée. Une évaluation de cette étude nécessiterait des données de vérité au sol pour les cinq cartes de la zone. Les cartes ont été recueillies de 1975 jusqu'en 2015 (1975, 1985, 1998, 2005 et 2015). Les points de vérité au sol devraient être répartis au hasard comme points sur la zone d'étude. Chaque classe spectrale devrait être représentée par au moins quinze points d'échantillonnage. Une évaluation de précision de carte est nécessaire pour utiliser une matrice d'erreur qui montre la fréquence des pixels dans chaque catégorie. Sauf erreur, la précision de l'utilisateur de la matrice et la précision du producteur devrait être estimée. La précision de l'utilisateur est calculée à partir du nombre de points d'échantillonnage corrects dans une classe divisée par nombre d'échantillons de cette classe dans la carte. Il illustre la probabilité d'un point inconnu sur la carte pour être correctement mappé (Fig. 23). La précision du producteur est estimée à partir du nombre de points d'échantillonnage corrects dans une classe divisé par le nombre de points de cette classe dans les données de vérité terrestre. Il décrit la probabilité d'avoir un point inconnu dans le champ ainsi que la possibilité d'être correctement mappé. En outre, le coefficient Kappa (voir l'équation 5), devrait être calculé pour expliquer l'amélioration proportionnelle de la classification sur une assignation aléatoire de classes. Une explication détaillée de l'évaluation de la précision de la carte se trouve dans Richards et Jia (1999) et LilleSable et al. (2000).

1 LULC : land use and land cover

$$\text{Kappa Coefficient: } K = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{it} * x_{ti})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{it} * x_{ti})}$$

Equation 5 : Kappa Coefficient De LilleSable et al. (2000)

- r Nombre de lignes dans la matrice d'erreur ;
- x_{ii} Nombre d'observations dans la rangée i et la colonne i ;
- x_{i+} Total des observations dans la rangée i ;
- x_{+i} Nombre total d'observations dans la colonne i ;
- N Nombre total d'observations incluses dans la matrice.

Une évaluation de la précision de la carte n'a pas pu être effectuée pour le motif qu'aucun travail sur le terrain n'était terminé et aucune autre donnée sur la base de la vérité n'était disponible.

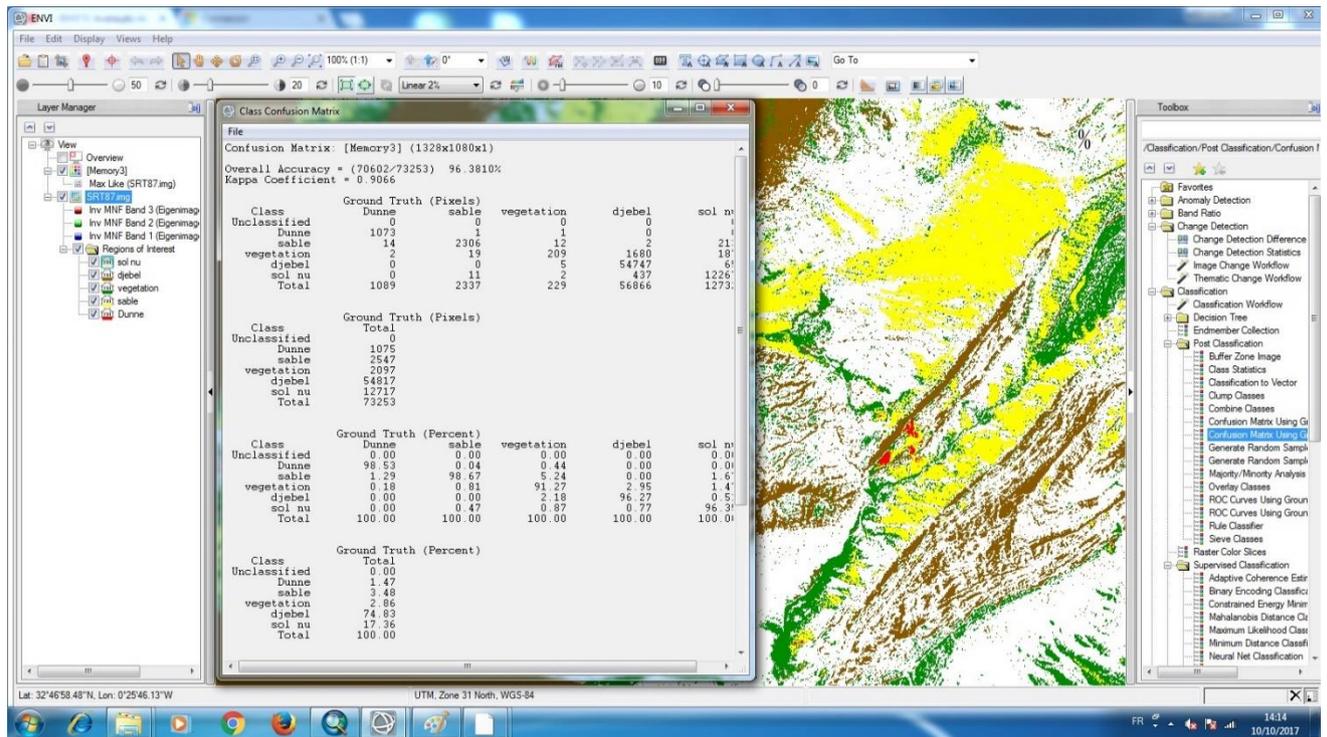


Figure N°23 : L'indice de Kappa et Matrix de confusions de la classification de 2015.

Il est possible d'évaluer les performances de cette classification en évaluant le pourcentage et le nombre de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone test. La matrice de confusion illustre cette performance (Tab. 20).

Classe	Dune	Sable	Parcours	Rocheux	Sol nu
Unclassified	0	0	0	0	0
Dune	1073	1	1	0	0
sable	14	2306	12	2	213
Parcours	2	19	209	1680	187
Rocheux	0	0	5	54747	65
sol nu	0	11	2	437	12267
Total	1089	2337	229	56866	12732
Kappa Coefficient = 0.8572			Overall Accuracy =	(34060/37332) 91.23%	

Tableau N°20 : Matrice de confusion de la classification de l'image LANDSAT (exemple1985).

Classification	1975	1985	1998	2005	2015
Taux de précision	79.760%	91.23%	84.5720%	79.3970%	96.381%
Kappa Coefficient	0.7896	0.8572	0.8123	0.7473	0.9066

Tableau N° 21 : La précision et le coefficient Kappa de toutes les classifications (1975-2015).

La qualité de la classification a été évaluée aussi à l'aide du coefficient de Kappa. Lorsque le coefficient de Kappa dépasse 0,8 (80%), la classification est conventionnellement considérée comme pertinente (Landis et Koch, 1985). Dans notre cas et pour les quatre classifications réalisées le coefficient de Kappa a dépassé le 0.8 presque dans toutes les cinq classifications (1975 : 79.7%, 1985 : 91.23%, 1998 : 84.5%, 2005 : 79.39 %, 2015 : 84.41%). Ce qui nous a permis de valider nos résultats (Tab. 21).

Les résultats obtenus sont de deux ordres : les cartes d'occupation des sols et des changements, et les statistiques se rapportant aux superficies des unités cartographiées.

6.4 Traitement de la classification des postes :

Dans cette étape, les résultats de la MLC ont été traités avant d'utiliser le changement détection. En raison de l'existence de sous-classes agricoles, ces sous-classes ont été fusionnées à une classe foncière agricole dans les deux résultats. En outre, une sollicitation post-classification a été appliquée.

Un exemple typique dans cette étude est la présence de pixels dispersés, classés comme forêt dans une zone presque homogène étiquetée comme une terre agricole en raison de la similarité approximative de Signatures spectrales de la forêt et des terres cultivées. Afin d'exclure ces pixels épars, le filtre majoritaire a été appliqué en fonction des opérations logiques (Fig. 24 et 25).

Le filtre majoritaire emploie une fenêtre mobile qui traverse la classification du résultat. Dans cette étude, la fenêtre de déplacement a été réglée sur une taille de 5x5. Si le pixel moyen ne fonctionne pas, il n'appartient pas à la classe majoritaire et le pixel sera attribué à la classe majoritaire dans la fenêtre. Lorsque la fenêtre se déplace à travers le jeu de données, les valeurs de pixels d'origine sont constamment utilisé par le modifié. Si aucune classe majoritaire n'existe, le pixel central ne sera pas a changé (LilleSable et al. 2000). De plus, tous les pixels non classés dans les deux résultats de MLC ont été masqués afin de séparer ces pixels de l'opération arithmétique de détection de changement suivante (Florian Sallaba, 2009).

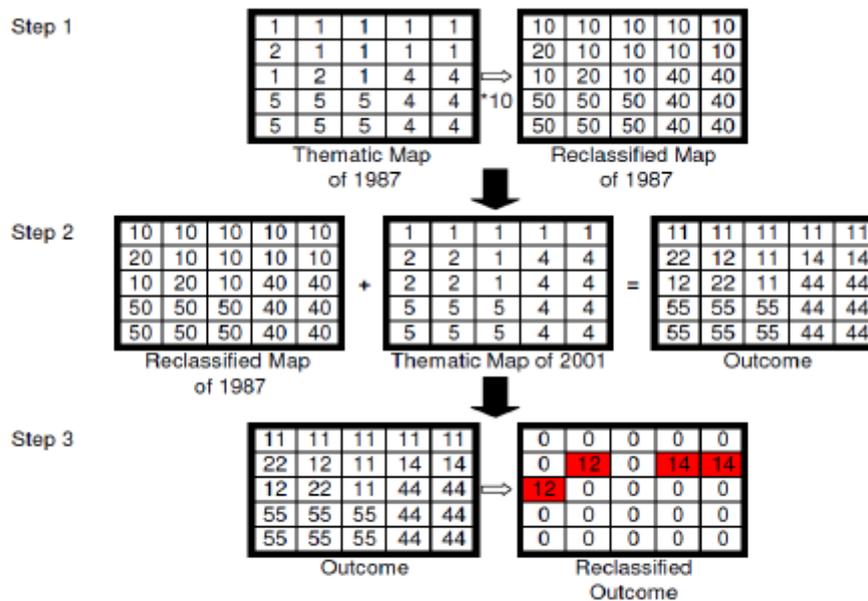


Figure N°24 : Système de détection de changement et poste -classification.

7. Détection du changement :

Il est essentiel pour une détection de changement de choisir les dates appropriées d'acquisition du calendrier et les résolutions temporelles. Les dates annuelles des images satellites ont la capacité de minimiser les écarts de réflexion causés par les flux saisonniers du sol et l'angle différent du soleil. Les dates annuelles sont recommandées pour la détection de changement bi-temporel. Par ailleurs, sur les dates annuelles ainsi que sur les disparités phénologiques dues à la situation locale, les précipitations et les variations de température peuvent apparaître (Coppin et al. 2004). Nous avons considéré les variétés saisonnières courantes au début et à la fin d'une saison. Une analyse de détection de changement de classification des messages a été effectuée dans un SIG. C'est une analyse comparative des classifications de dates différentes effectuées indépendamment via une simple combinaison mathématique pixel par pixel. Dans les figures 26 et 27 nous avons illustré la combinaison de détection de changement employée. Il contient les trois suivants pas :

La première étape est un reclassement de la carte de couverture terrestre de 1975 en multipliant les valeurs d'origine avec un facteur de 10 afin de pouvoir effectuer un suivi comparaison.

Dans la deuxième étape, un simple ajout à la fois du résultat reclassifié de 1975, avec des valeurs allant de 10 à 30 ans et le résultat de 2015 avec des valeurs allant de 1 à 30 ans a été appliqué.

Dans la dernière étape, toutes les valeurs de pixels, qui n'indiquent aucun changement tel que 11, 22, 33, 44 et 55 ont été reclassés comme 0.

Ainsi, on peut détecter les changements d'un LULC classe dans une classe différente en raison des valeurs de la cellule calculée. Une valeur de cellule 12 signifie que c'était classé en forêt en 1975 et en 2015 en tant que parcours. En conclusion, la cellule a changé de sable dans les sols pendant la période observée. Le résultat de la détection des changements a été transformé en données vectorielles et mis en géodatabase pour la raison pour laquelle les données vectorielles garantissent un mappage amélioré dans un SIG (Florian Sallaba ,2009).

Pour la visualisation cartographique, un seuil spatial a été utilisé. Le seuil a été appliqué pour exclure des polygones trop petits qui rendront la carte de résultat illisible. C'est recommandé par différents auteurs et correspond à une édition cartographique appropriée.

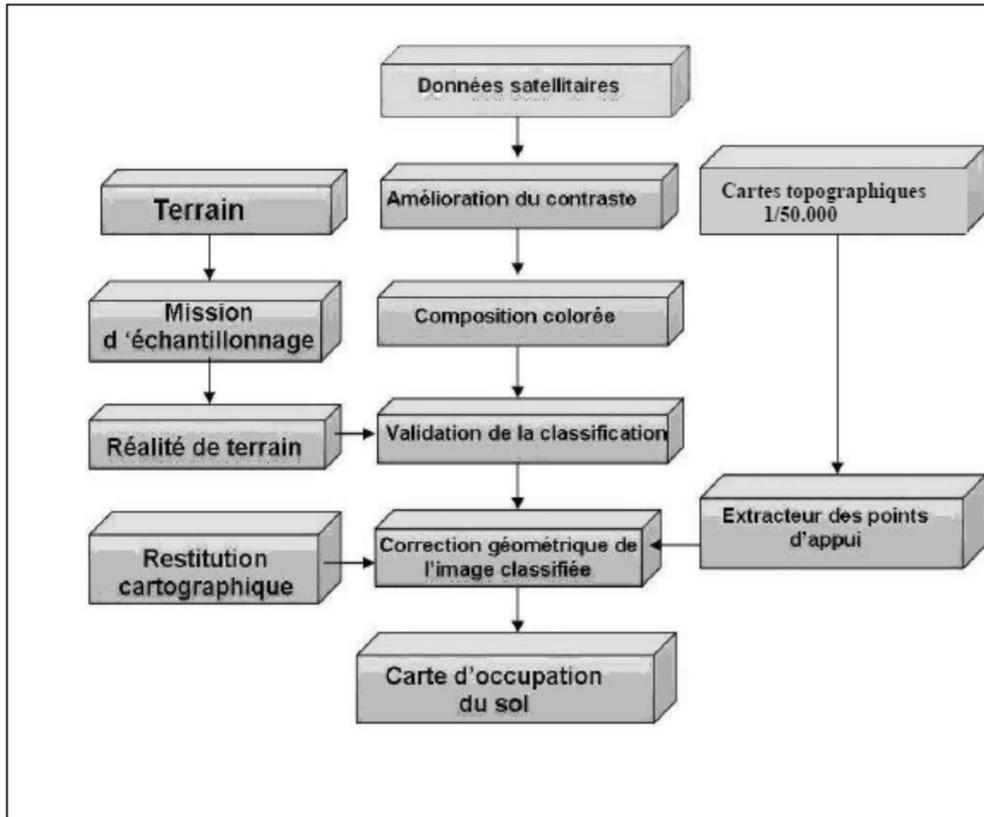


Figure N°25 : Les différentes phases d'analyse d'une image –Landsat

II. Interprétation et discussion des résultats :

La disposition géométrique des corps sableux et des formations éoliennes renseignent sur la direction globale des vents et des mouvements de sable. Les travaux de Coude-Gausson et Rognon (1993) ont exposé que les problèmes d'ensablement ont pris une grande acuité dans les pays semi arides et arides et particulièrement au Maghreb. Cette étude a permis de cartographier l'évolution de l'ensablement à partir des images Landsat (TM et ETM+) dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Pour observer et suivi la dynamique des accumulations sableuse durant la période 1975-2015, nous avons détecté le changement entre les images de mars 1975 jusqu'en mars 2015. La détection des zones ensablées, ayant une forte présence d'accumulations éoliennes a été évidente pour l'année 2015. La vérification sur terrain et la prise des plusieurs levées des points G.P.S où sont localisées les zones d'ensablement ont facilité la réalisation d'une carte d'ensablement récente. Toutefois ceci n'était pas le cas pour les autres périodes parce qu'il était un peu difficile de réaliser des cartes précises et compatibles avec la réalité sur le terrain.

L'importance de la réalisation d'une classification supervisée est d'extraire les zones ensablées (à forte présence d'accumulations éoliennes) et d'autres classes, puisque nous avons été intéressés essentiellement à l'étude de l'ensablement et sa dynamique spatiotemporelle (Fig. 26).

Dans ce cadre nous avons choisi les classes suivantes : Les dunes de sable de plus de 2 mètres représentent : les barkhanes, les sifs et les cordons longitudinaux. Les accumulations sableuses ou les zones d'ensablement nommé «sable » sont les amas de sable, Nebkas et voile sableux, englobe tous les autres composants du paysage dans la zone (parcours steppique, zone rocheux, zones cultivées, sol nu qui représenter le parcours steppique très dégradé).

L'évaluation de la classification a été basée sur la matrice de confusion. En effet cette matrice montre pour chacune des classes effectuées le niveau de la fiabilité et les principales confusions faites lors de la classification d'une image (les pixels de certaines classes peuvent être confondus avec d'autres).

1. Classification maximale de la vraisemblance (Maximum Likelihood) et Post-classification :

Les résultats des cinq matrices de classification permettent une comparaison du degré d'espace ampleur. Cette connaissance du bassin versant de l'Oued Ain Sefra permet d'avoir une impression de la distribution des données. Tous les cinq résultats de la MLC² et après Post-classification sont cartographiés (Fig. 27). En outre, la figure (histogramme) 28 a montré la répartition des accumulations sableuse des cinq résultats de classification en ha (%). (Tab. 22)

² MLC : Classification maximale de la vraisemblance (Maximum Likelihood)

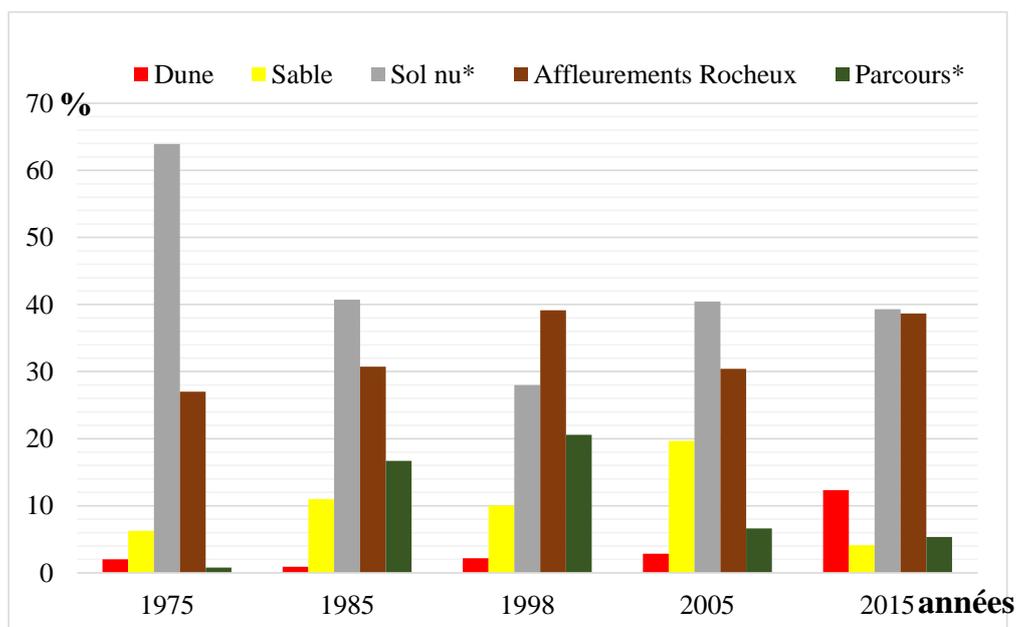


Figure N°26 : Répartition de l'occupation du sol de la Zone obtenue par la classification en pourcentage dans la période 1975-2015.

* sol nu : représenter le parcours steppique très dégradé *parcours : parcours steppique

* sable : amas de sable, Nebkas et voile sableux

* Dune : c'est les dunes de sable de plus de 2 mètres représentent : les barkhanes, les sifs et les cordons longitudinaux.

Class%	1975	1985	1998	2005	2015
Dune	2,03	0,89	2,18	2,84	12,33
Sable	6,26	10,97	10,02	19,67	4,11
Sol nu	63,92	40,71	28,00	40,47	39,31
Affleurements Rocheux	27,01	30,72	39,16	30,41	38,67
Parcours	0,78	16,70	20,58	6,62	5,36
	100,00	100,00	99,94	100,00	99,78
Classe h	1975	1985	1998	2005	2015
Dune	6115	2681.8	6547.4	8535.6	37083.6
Sable	18834.2	32999.4	30120.3	59156.8	12371.2
Sol nu	192229	122426.7	84211	121704.3	118222.3
Affleurements Rocheux	81218	92389.9	117780.8	91444.4	116300.7
Parcours	2339.3	50237	61902	19894.1	16108

Tableau N°22 : Répartition de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra obtenue par la classification en hectare et en pourcentage dans la période 1975-2015.

* sol nu : représenter le parcours steppique très dégradé *parcours : parcours steppique

* sable : amas de sable, Nebkas et voile sableux

* Dune : c'est les dunes de sable de plus de 2 mètres représentent : les barkhanes, les sifs et les cordons longitudinaux.

PARTIE II : ETUDE DIACHRONIQUE ET DETECTION DU CHANGEMENT DE L'ENSABLEMENT DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA(LES MONTS DES Ksour)

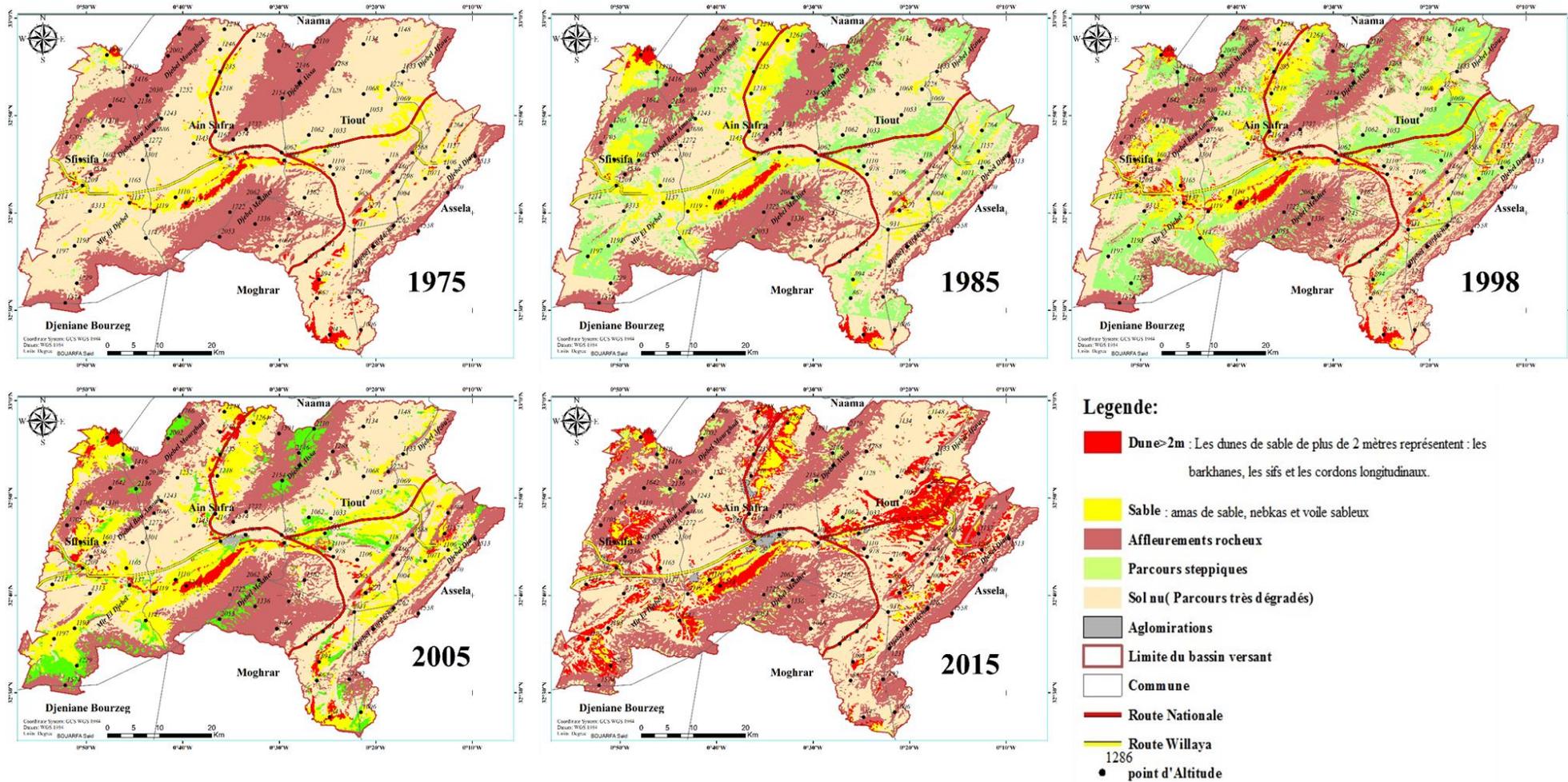


Figure N°27 : Cartes d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra de : 1975- 1985-1998-2005-2015. (Annexe Fig A08)

L'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra a une superficie de 300735.3 hectares soit 0.13% de la surface de l'Algérie, nous avons constaté la dominance du sol nu. Il est situé dans la dépression du bassin versant entre les Mont des Ksour et en expression géologique c'est un synclinal, l'une situe entre djebel Aissa et djebel Mekther et l'autre entre djebel Mourghad et Djebel Aissa. Il a occupé 192229 hectares soit (63,92%) de la superficie du bassin versant de l'Oued Ain Sefra en 1975, 40,71% en 1985, 28,00% en 1998, 40,47% en 2005 et 39,31% en 2015, ce qui explique que la zone est aride et touchée par des vagues de sècheresse. (Nous avons détaillé ce processus dans 3 parties).

La deuxième plus grande unité est représentée par les affleurements rocheux. Ils sont principalement des massifs situés dans les régions montagneuses d'Ain Sefra et ce sont considérés comme un anticlinal. Ils couvrent entre 81218 et 117780.8 ha (27- 40%).

En ce qui concerne l'ensablement, qui a été notre sujet d'intérêt et notre objectif, est représenté par des dunes de plus de 2 mètres et les accumulations désignent un ensemble de 24949 hectares (8.3%) en 1975, de 35681 hectares (11.8%) en 1985, de 36667 h (12.2 %) en 1998, de 67692 hectares (22.51%) en 2005 et de 49454 hectares (16.44%) en 2015.

L'ensablement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a plusieurs localités, on a : Une grande formation dunaire de 4 km de hauteur, 8 km de largeur et 30 km de longueur, aussi le champ de dunes de Magroune est principalement formé par des petites barkhanes et des champ barkhaniques et des aklis qui s'étendent de Sefissifa à Haraza. Les accumulations de sable sont principalement des amas de sable ou des dunes de sable de 2 à 4 mètres de haut, à Boughilaba et Maktaa -Dli au pied du Djebel d'Aissa. Ces accumulations se situent le long de la route nationale N°06. Même sur les rives de l'Oued Ain Sefra, le sable occupe ces lieux et cause des problèmes d'inondation.

Les conséquences de ses dangers sont surtout l'invasion des infrastructures de base par des sables (routes, canaux d'irrigation, champs de culture...etc.) et sur le plan socio-économique ce phénomène est à l'origine de la baisse de la production agricole et la réduction des espaces pastoraux, ce qui alimente l'exode rural massif vers la ville d'Ain Sefra et les centres urbains avoisinants.

Il a une répartition hétérogène et il est classé principalement dans les plus élevées parties montagneuses. Dans les basses terres, il semble avoir une distribution dispersée avec une légère tendance de distribution le long des terres agricoles (Fig. 28 et Tab. 23).

Class change%	1975-1985	1985-1998	1998-2005	2005-2015	1975-2015
Dune > 2m	-56,14	144,15	30,36	334,46	506,44
Sable	75,21	-8,72	96,40	-79,09	-34,32
Sol nu	-36,31	-31,22	44,52	-2,86	-38,50
Affleurements Rocheux	13,76	27,48	-22,36	27,18	43,20
Parcours	2047,57	23,22	-67,86	-19,03	588,60
Class change h	1975-1985	1985-1998	1998-2005	2005-2015	1975-2015
Dune > 2m	-3433,00	3865,00	1988,00	28547,00	40968,5
Sable	14165,00	-2879,00	29036,00	-46785,00	-64623
Change ensablement	10732,00	9863,00	31024,00	-18237,00	34902,81

Tableau N°23 : La différence entre les classes - en pourcentage et en hectare dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra la période 1975-2015.

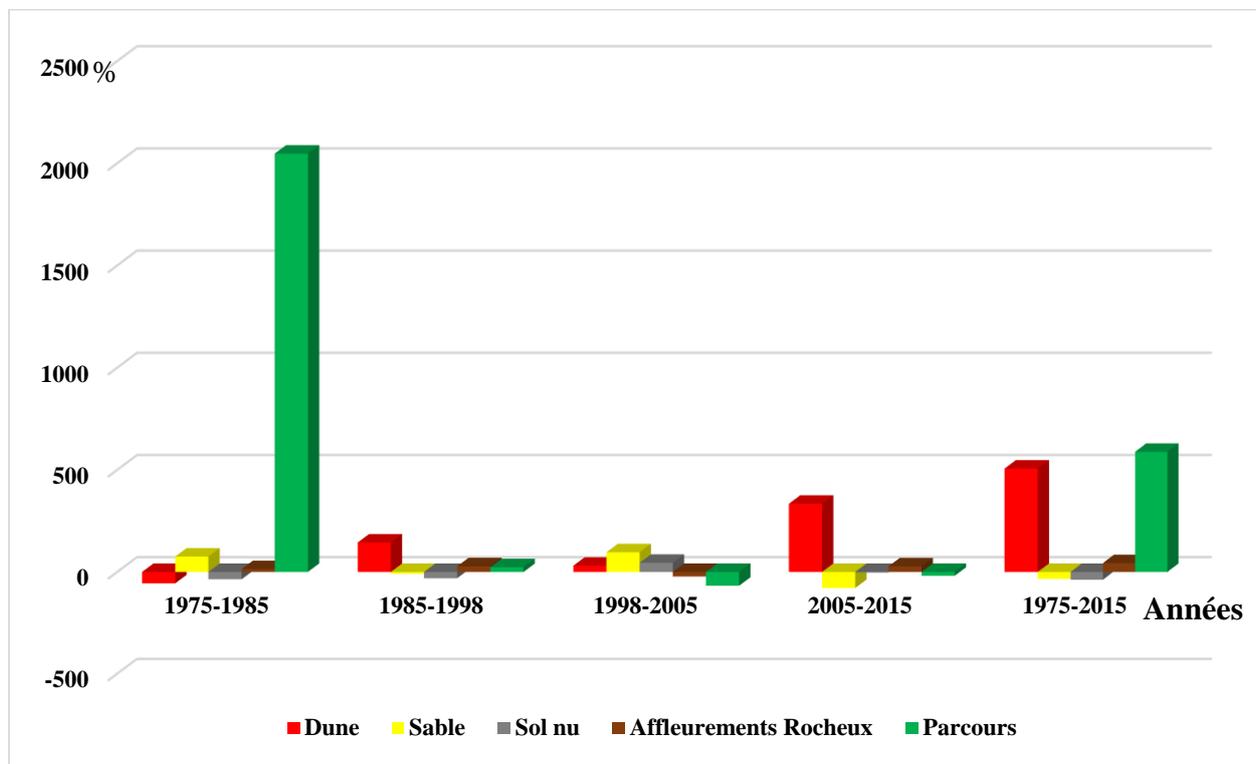


Figure N°28 : La différence entre les classes en pourcentage dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra de la période 1975-2015

Les différences entre les classes du tableau 23 et les figure 29 et 30 ont mis en évidence la différence des mêmes classes entre les années. En conséquence, le parcours est très changeable d'une année à l'autre par exemple, il a été multiplié de 2047 % en 1989 que en 1975 et c'est logique parce que l'année 1983/1984 a été humide. En raison de l'abondance de la pluie de cette année, il signifie que la végétation est variable et liée aux conditions météorologiques. Le sable est aussi variable et lié aux plusieurs conditions et facteurs extra zonaux, et c'est la raison pour laquelle il a augmenté en 1985 (75.21%) et diminué en 1998 (-8.72%). Mais en ce qui concerne les affleurements rocheux, la différence n'est pas importante puisque la composition des montagnes ne change pas souvent.

Pour obtenir les statistiques de changements dans une région, nous avons procédé au calcul du taux de changement (T_c) pour chaque classe (FAO, 1996 ; VEIázquez et al. 2002 ; Brou, 2010).

$$T_c = (1 - (S_2/S_1)^{1/n}) \times 100 \quad (7)$$

Où :

- T_c = taux de changement (%) ;
- S_1 = superficie de la catégorie à la date 1 ;
- S_2 = superficie de la catégorie à la date 2 ;
- n = nombre d'années entre les deux dates.

Les valeurs positives du taux de changement représentent une progression des classes pendant une période et les valeurs négatives indiquent la dégradation des classes entre les deux dates.

Les valeurs proches de zéro nous indiquent que la classe reste relativement stable (tab 24).

La dynamique sableuse dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra durant les cinq dates choisies dans ces études (1975, 1985, 1998, 2005 et 2015) a connu plusieurs phases qui varient entre la régression et la progression. Cette variation dépend essentiellement de plusieurs facteurs qui sont à la fois climatiques (sécheresse, vitesse du vent, etc.), anthropiques (labours extensif, surpâturage, etc.) et physiques (type de sol, couverture végétale, pente, etc.).

Classe	Périmètre m	Surface h	%
Dune > 2m	3550260	27818,24	9,25%
Sable	1191780	7084,57	2,36%
TOT	4742040	34902,81	11,61

Class Dune+ Sable	Surface h	%
Augmentation	+ 34902,8	+11,6%
Diminution	- 16529,8	-5,50%

Tableau N°24 : Le changement de la surface du sable entre 1975-2015 dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Pour la progression des sables et dunes nous avons enregistré une augmentation de 27818,24 hectares pour les dunes soit 9,25% et de 7084,57 hectares soit 2,36% pour les sables de 1975 à 2015 (Fig. 29,30). Après la consultation des différentes cartes nous avons constaté que les accumulations sableuses dans la zone ont connu une évolution et une variation au cours du temps, l'ensablement de 1975 à 2015 a représenté 34902,8183 hectares soit 11,61% de la superficie totale de cette zone ce qui est équivalent à 300735,29 hectares (Fig. 31,32 et Tab. 24,25).

L'interprétation de l'augmentation les dunes par apport aux sables est due à un changement du sable en dunes de sable et qui a eu lieu pendant ces années.

Class%	1975	1985	1998	2005	2015
Dune > 2m	2,03	0,89	2,18	2,84	12,33
Sable	6,26	10,97	10,02	19,67	4,11
TOTAL	8,30	11,86	12,19	22,51	16,44

Tableau N°25 : Le pourcentage de la surface du sable (sable+ dune ≥ 2 m) dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra la période 1975-2015.

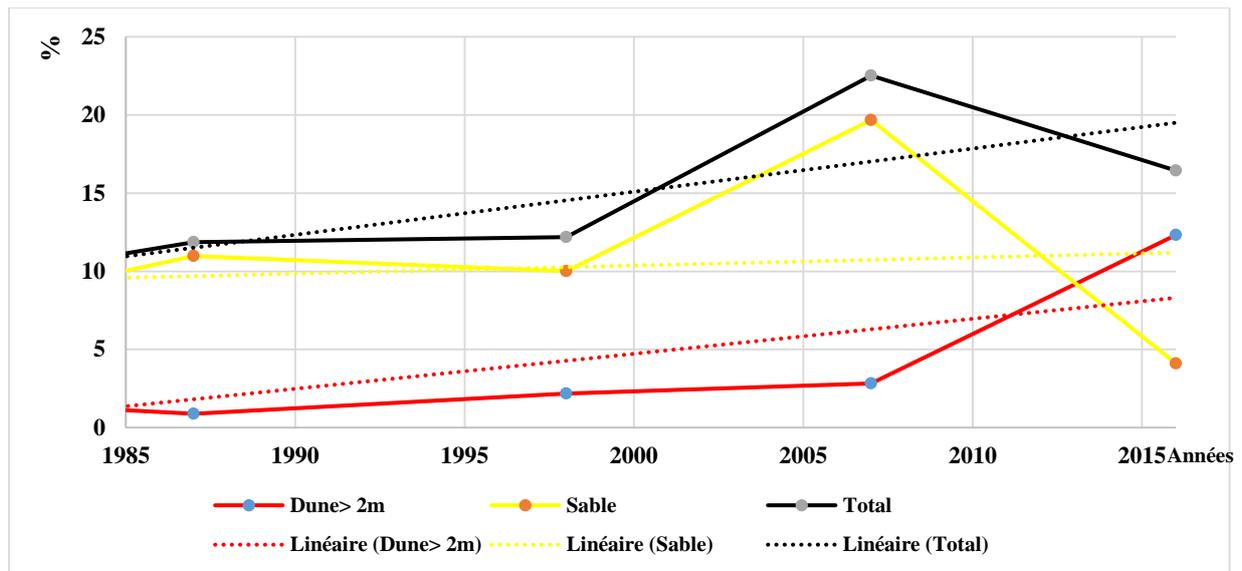


Figure N°29 : Le pourcentage de surface du sable (sable+ dune \geq 2 m) dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra de la période 1985-2015.

Une régression enregistré durant ces 40 années a été estimé à -16529,8 hectares soit -5,5 % de surface totale des accumulations sableuses dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra. En fait, il n'y a pas de diminution de l'ensablement, mais un processus de déplacement des sables vers des autres endroits, à l'intérieur ou à l'extérieur de la région (Tab 26, Fig. 34).

Pour la progression des accumulations de sable et dunes Nous avons enregistré une augmentation de 27818,24 hectares pour les dunes soit 9,25% et de 7084,57 hectares soit 2,36% pour les sables. Après la consultation des différentes cartes nous avons constaté que les accumulations sableuses dans la zone ont connues une évolution et une variation au cours du temps, l'ensablement en 1985 a 2015 présenté 34902,8183 hectares soit 11,61% de la superficie totale de cette zone ce qui est équivalent à 300735,29 hectares.

L'interprétation de l'augmentation les dunes par apport aux sables ; est due à un changement des sables à travers ces années aux dunes de sable.

PARTIE II : ETUDE DIACHRONIQUE ET DETECTION DU CHANGEMENT DE L'ENSABLEMENT DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA (LES MONTS DES KSOUR)

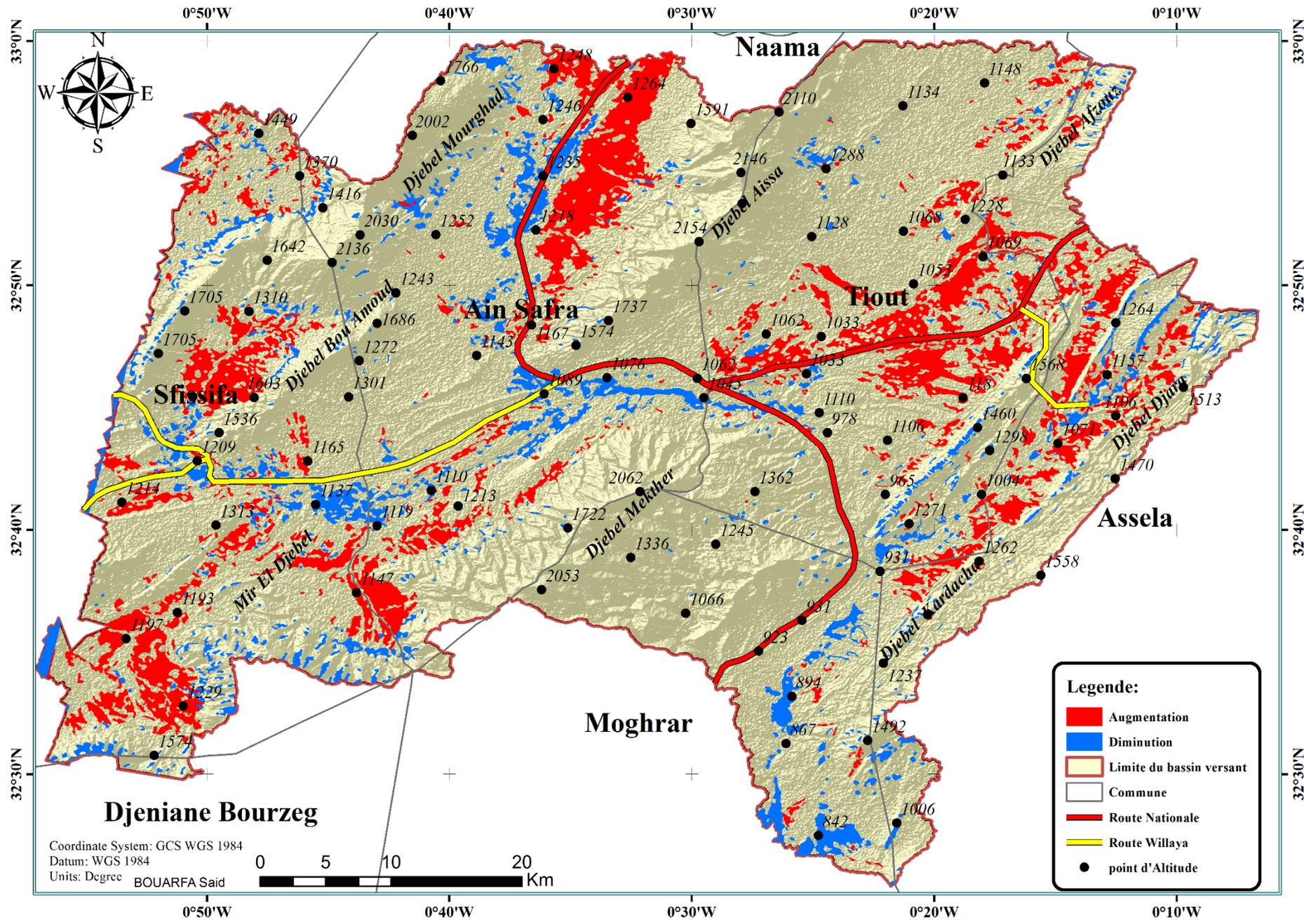


Figure N° 30 : la différence des surfaces sableuses dans le bassin versant de l'Oued Aïn Sefra (augmentation et diminution) dans la période 1975-2015.

Classe	1975-1989	1989-1998	1998-2005	2005-2015	1975-2015
change%					
Dune > 2m	-56,14	144,15	30,36	334,46	506,44
Sable	75,21	-8,72	96,40	-79,09	-34,32
Change	43,02	2,77	84,61	-26,94	98,22

Tableau N°26 : La différence entre les classes du sable en pourcentage dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra de la période 1985-2015.

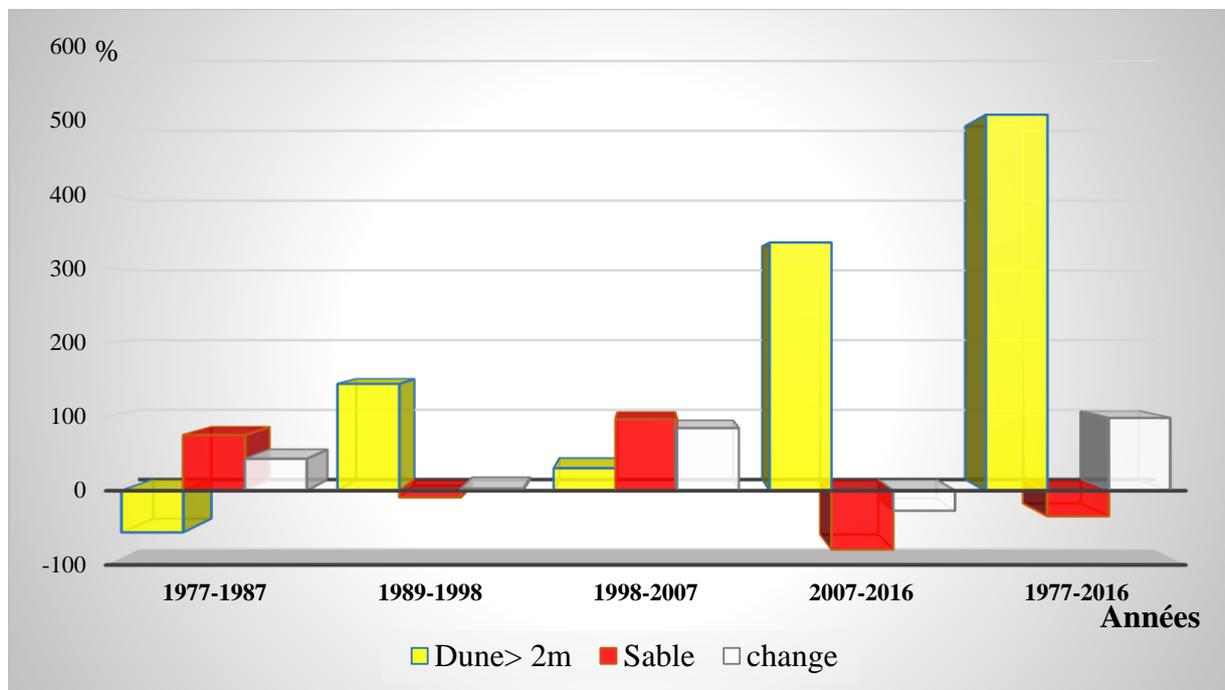


Figure N°31 : La différence entre les classes du sable en pourcentage dans la période 1985-2015.

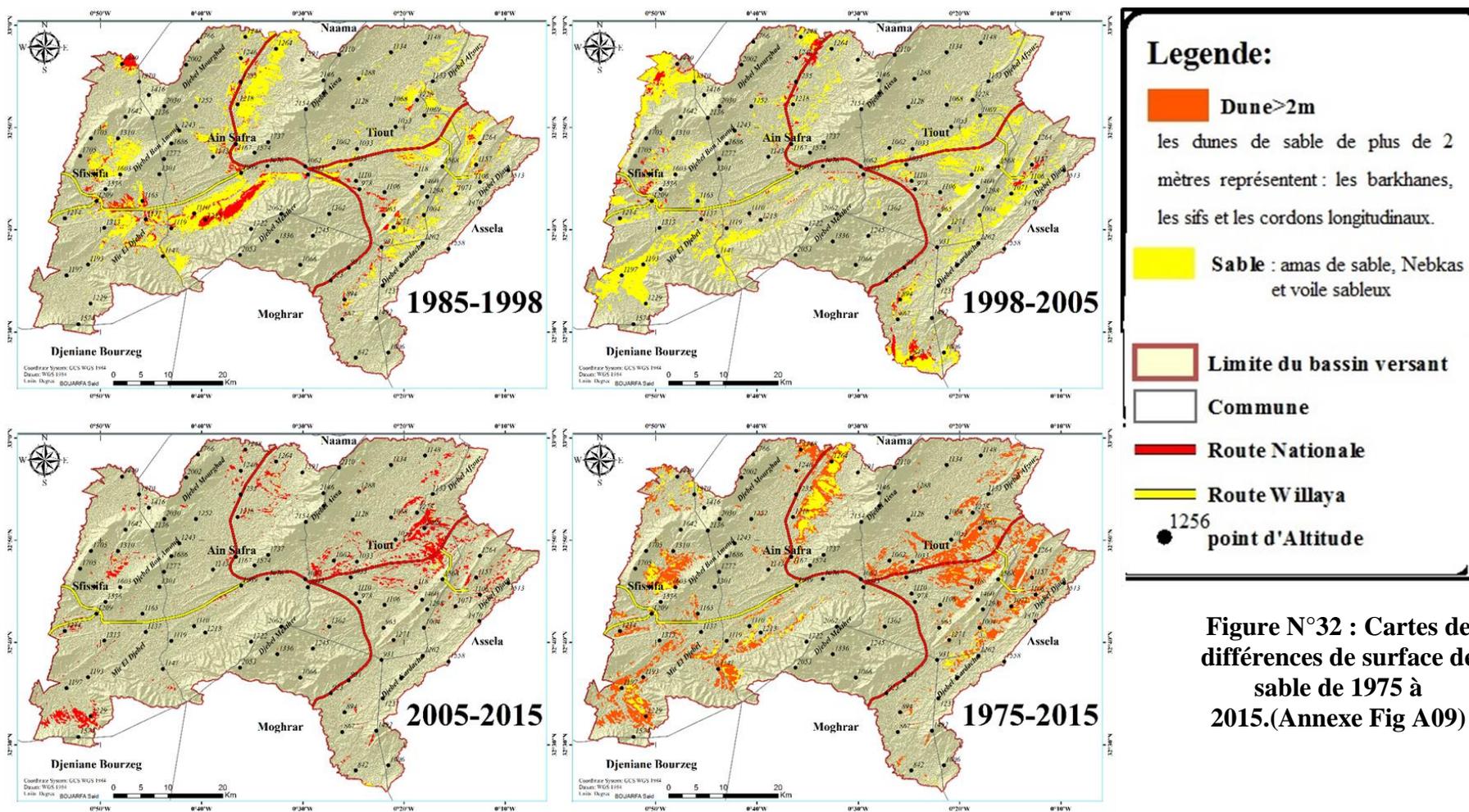


Figure N°32 : Cartes de différences de surface de sable de 1975 à 2015.(Annexe Fig A09)

La période entre 1975 et 2015 est considérée comme une phase de transgression, une phase de pic est enregistrée pendant l'année 2005. Par contre, la période entre 2005 et 2015 est considérée comme une phase de régression, l'ensablement a augmenté d'une façon générale, cette augmentation est continue relativement jusqu'à présent (Fig.30-32). Les accumulations des sables sont devenues d'une taille réduite de 2005 à 2015, mais l'ensablement reste toujours présent dans la zone étudiée et présente une grande menace.

Nous avons remarqué que les accumulations sableuses dans la zone ont connues une évolution et une variation au cours du temps, l'ensablement en 2015 a présenté 16.6% de la superficie totale de bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

L'ensablement dans cette période a été localisé spatialement toujours sous les versants ouest des montagnes (ubac) c'est à dire la direction WSW et SW ce qui confirme l'étude du vent ultérieurement (fig.32-33), cette répartition est généralement sous forme des flashes et accumulation de sables dispersées.

D'autres accumulations sableuses s'étendent dans les berges des Oueds, ces zones occupent, en effet, des grandes surfaces, témoin d'un ancien glacis. Ces glacis sont couverts par des croûtes calcaires et gypseuses sur lesquelles prennent place des horizons sableux fins (Markazī, 2003). Les accumulations sableuses entre 2005-2015 ont connu une diminution très remarquable, les zones ensablées sont estimées à 16529,8 hectares correspondant à 5 % de la superficie totale du bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Les masses de sables sont toujours localisées dans la partie aval et presque dans les mêmes endroits mentionnées pour les périodes précédentes (fig.34-35). Cependant l'apparition d'une grande masse sableuse a été remarquée à la proximité de la route principale N°06 en 2015.

Nous avons remarqué clairement que toutes les accumulations sableuses récentes de 1975 à 2015 sont localisées généralement à la dépression qui se situe entre Djebel Aissa et Djebel Mekther, de Tiout jusqu'à Assela, aussi dans la zone de Boughilaba, à la dépression qui se situe entre Djebel Mourghad et Djebel Aissa de Naama jusqu'à Ain Sefra, et quelques accumulations se trouvent dans Sfisifa.

2. La détection du changement

Puisque certaines classes (par exemple le Sable) ont un gain et une perte élevés dans le même cas, il est possible de fournir une représentation détaillée des changements de classe. Des points d'illustration détaillés montrent comment l'occupation du sol a changé (c'est-à-dire de quelle classe à quelle classe). Ceci est utile pour contrôler la valeur informationnelle d'un changement de l'occupation du sol afin de prouver si un changement détecté a un sens et son étendue spatiale. Dans le tableau 27 nous avons montré à quelle extension spatiale chaque classe a été modifiée.

Afin de localiser les changements surveillés, une carte de détection de changement est illustrée. Dans cette carte un changement de zone détaillé de chaque classe est répertorié dans le tableau 28. La figure illustre le gain et la perte de surface des classes de changement généralisées dans la période étudiée. La plus grande perte de superficie est détectée pendant le processus d'ensablement. Le parcours est de 26,163%, et il a une perte de -19,03% de la surface entre 1975-2015 (Tab. 28, Fig. 33). En deuxième catégorie nous avons le sol nu et 12,745% de sa surface devient sable. Il perd -38,50% de surface entre 1975-2015. C'est la classe la plus menacée par l'ensablement. En outre, le sable s'est transformé en dunes par un grand pourcentage de 37,340%. Par conséquent, nous ne pouvons pas dire que le sable a diminué de son volume, car il s'est transformé en dunes par le temps. D'un autre part, les dunes qui se sont transformées en sable représentent un petit pourcentage de 2,1%.

Les dunes de sable (plus de 2 m) ont atteint la plus grande superficie avec un total de 30968,5 hectares (506%) de 1975 à 2015. Les dunes envahissent les pâturages et le sol nu. L'ensablement a gagné une superficie de 34902,81 hectares (11,61%) par rapport à la surface de la zone.

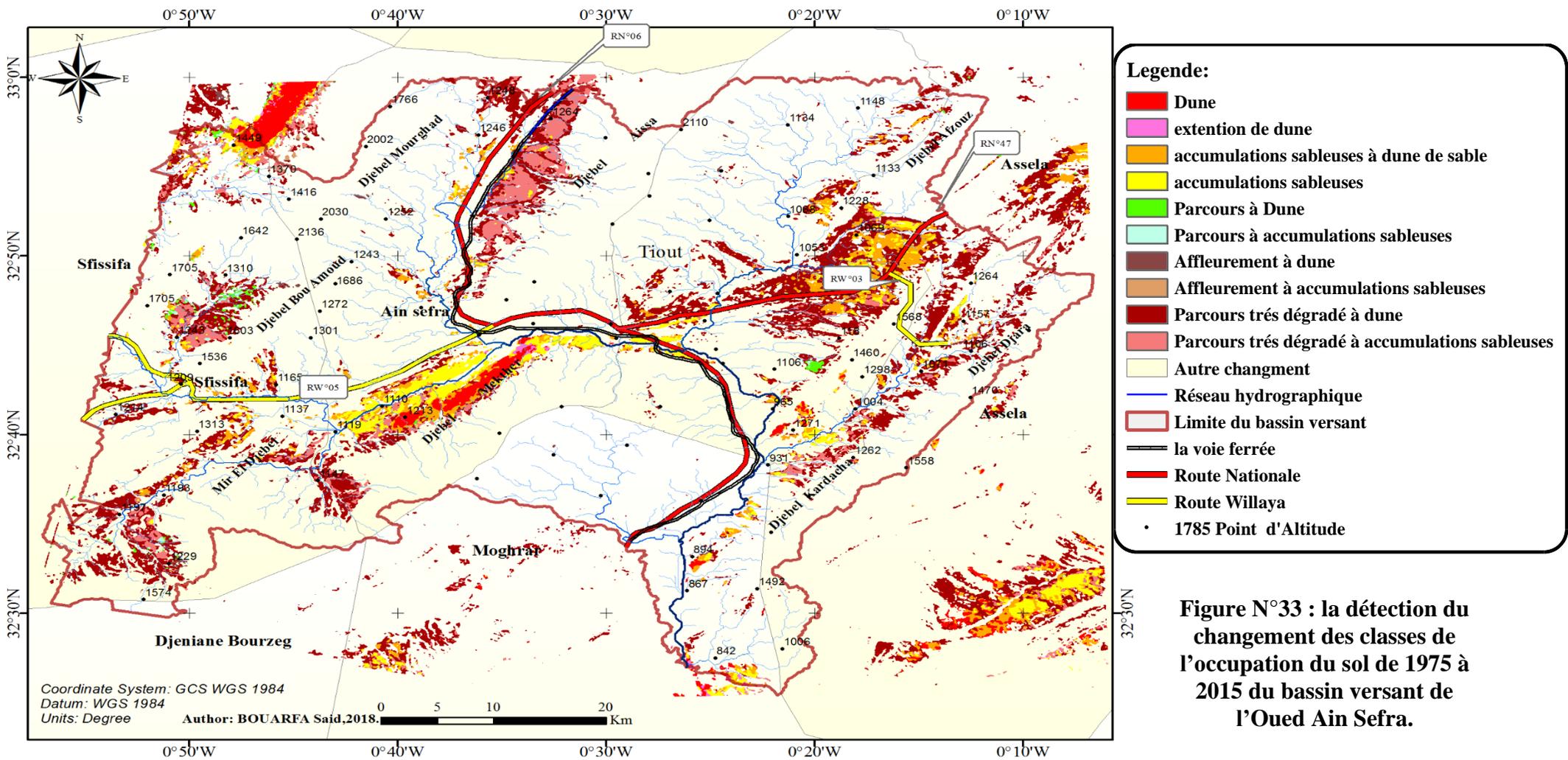


Figure N°33 : la détection du changement des classes de l'occupation du sol de 1975 à 2015 du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Pour fournir une représentation détaillée des changements de classe de l'occupation du sol, nous avons des points d'illustration détaillés (nous avons montré de quelle classe à quelle classe il y avait eu du changement). Ceci est utile pour contrôler la valeur informationnelle d'un changement afin de prouver son sens et son étendue spatiale. Dans le tableau 27 et figure 34 nous avons montré à quelle extension spatiale chaque classe de l'occupation du sol a été modifiée. (Tab. 28, Fig. 35).

1975 2015	Dune>2M	Sable	Affleurements Rocheux	Parcours	Sol nu	Classe Total
Dune>2M	24.675	37.340	0.580	17.633	10.241	100.000
Sable	2.139	26.073	0.170	8.530	2.504	100.000
Affleurements Rocheux	42.979	13.582	73.491	33.110	19.321	100.000
Parcours	0.417	3.370	6.679	17.381	2.382	100.000
Sol nu	5.736	9.212	8.954	6.490	48.252	100.000
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	0.000
Classe Changes	75.325	73.927	26.509	82.619	51.748	0.000
Image Différence	208.060	-36.660	41.277	381.823	-47.632	0.000
Total (dune+sable)	26,814	63,413	0,75	26,163	12,745	

Tableau N°27 : La détection des changements dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra de 1975 à 2015. Gain et perte de classes de changement « sable et dune »

Le changement	Surface hectare	Perimeter m	%
Extension de dune	1242,1929	229632	0,41%
D'accumulations sableuses à dune de sable	9226,1196	2174070	3,07%
D'Affleurement à dune de sable	2722,3688	880427	0,91%
d'Affleurement à accumulations sableuses	111,3192	51164	0,04%
Parcours à Dune de sable	8115,0912	2477455	17,60%
Parcours à accumulations sableuses	5200,7921	1296729	8,50%
de Parcours très dégradé à dune	1901,1811	469800	10,25%
de Parcours très dégradé à accumulations sableuses	807,0694	165307	2,50%
Total changement	117190,5	/	38,97
Pas de changement	183544,79	/	61,03
	1		

Tableau N°28 : La détection du changement des classes de l'occupation du sol de 1975 à 2015 au niveau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Depuis 1975 à 2015, nous avons constaté que les parcours steppique de façon générale perdent 16024,1338 hectares soit 12 % de leurs surfaces, ces parcours devient des accumulations sableuses ou ils ont été envahi par le sable, les zone les plus toucher dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra sont dans la dépression qui situe entre Djebel Mourghad et Djebel Aissa, d'Ain Sefra jusqu'à Naama e, sur le longue de pied de Djebel Aissa et la route nationale numéro 06. Ainsi que la zone de Tiout, Ain Ouarka et Assela jusqu'à Djebel Afzouz et Djebel Kerdacha et Djara. Et Autres zone de Sfissifa à Djebel Bou Amoud et Mir-Djebel.

Conclusion de la deuxième partie :

La région d'Ain Sefra fait partie des Monts des Ksour et elle subit en de nombreuses localités des problèmes importantes d'ensablement. Ces derniers qui résultent de la sévérité des conditions climatiques, la friabilité des affleurements géologiques et de l'utilisation non rationnelle des ressources naturelles constituent le phénomène le plus spectaculaire de la désertification.

L'essai de quantification a l'intérêt d'être une des seules approches du difficile problème des déplacements éoliens. Elle présente des lacunes, car bien des paramètres lui échappent.

D'autre technique disponible pour suivre la mobilisation des sable est le traitement d'images satellitaires entre 1975 et 2015, et il a été réalisé en plusieurs volets qui sont obligatoires pour arriver à une autre image plus réelle puisque nous avons intégré les données du terrain, appelées « la classification supervisées » ainsi que le croisement entre ces deux images classifiés pour détecter le changement de l'extension d'ensablement.

D'après les traitements des images satellitaires, les formations éoliennes dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra ont connu durant ces 40 ans des différentes phases qui varient entre la régression et la progression des couvertures sableuses.

L'ensablement occupe une surface de 49454,8 hectares soit 16.44 de la surface totale du bassin versant de l'Oued Ain Sefra en 2015, dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a plusieurs localités de l'ensablement, on a : Une grande formation dunaire est le sif dunaire de Mekther, parallèlement le champ barkhaniques et des aklis de Magroune est qui s'étendent de Sefissifa à Haraza au long pied de Djebel Mourghad. D'autre des accumulations de sable sont principalement des amas de sable ou des dunes de sable de 2 à 4 mètres de haut, à Boughilaba et Maktaa -Dli au pied du Djebel d'Aissa. Ces accumulations se situent le long de la route nationale N°06. Même sur les rives de l'Oued Ain Sefra, le sable occupe ces lieux et cause des problèmes d'inondation.

On a enregistré une augmentation dans la formation dunaire soit les dunes de sable ou les accumulations sableuses de 34902.8 hectares soit 11.6% depuis 1975 à 2015.

La période 1975 - 2015 est considérée comme une phase de transgression, une phase de pic est enregistrée pendant l'année 2005. Par contre, la période 2005- 2015 est considérée comme une phase de régression, l'ensablement a augmenté d'une façon générale et cette augmentation a continué relativement jusqu'à présent. Les accumulations des sables ont diminué dans période de 1975 à 2015 de – 64623 hectares soit -34%, par contre les dunes de sables connu une augmentation par 40968.5 hectares soit 506%, mais l'ensablement reste toujours présent dans le Bassin versant

de l'Oued Ain Sefra et représente une grande menace avec une augmentation de surface de 98.22% de 1975 à 2015.

Ainsi que, depuis 1975 à 2015, nous avons noté que les parcours steppique perdent 16024,1338 hectares soit 12 % de leurs surfaces, les zone les plus touché dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra sont dans la dépression qui situe entre Djebel Mourghad et Djebel Aissa, d'Ain Sefra jusqu'à Naama e, sur le longue de pied de Djebel Aissa et la route nationale numéro 06. Ainsi que la zone de Tiout, Ain Ouarka et Assela jusqu'à Djebel Afzouz et Djebel Kerdacha et Djara. Et Autres zone de Sfissifa à Djebel Bou Amoud et Mir-Djebel.

Mais pour connaître l'impact du phénomène d'ensablement sur la morphologie et l'évolution des dépôts sableux, il reste utile de coupler cette techniques avec des levés topographiques de grande précision permettant des calculs de volumes de sable déposé ou érodé par le vent (Arens, 1997).

En effet, L'intensité de l'érosion éolienne et l'ensablement dépend essentiellement du vent qui est l'agent causal et des autres caractéristiques écologiques et physiques du milieu où s'exerce ce phénomène. A cet égard, nous avons appris à préparer une étude approfondie sur la dynamique morphosedimentaire et quantification de l'érosion éolienne dans le bassin versant de l'oued Ain Sefra et le régime des vents et le déplacement potentiel de sable dans la troisième partie.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Introduction de la troisième partie :

Le Sahara est le plus vaste des déserts, toutefois il est le plus expressif et typique par son extrême aridité, c'est à dire celui dans lequel les conditions désertiques atteignent leur plus grande âpreté (Toutain, 1979 et Ozenda, 1991).

Dans les milieux arides, Les migrations éoliennes de sables ne procèdent pas d'un déplacement continu et unique jusqu'à la zone de dépôt finale (Benazzouz, 1993). Contrairement ces migrations sableuses agissent par un recyclage continu des sables transitant par les oueds, étalés par ces derniers au débouché d'une plaine, repris par le vent avant de s'accumuler à nouveau et remobilisés ensuite par les eaux. (Benazzouz, 1994).

En permanence, le vent de surface est le principal élément responsable du transport et du dépôt de sédiments de sable (Mainguet, 2012). L'ensablement constitue également une menace critique pour l'ensemble des infrastructures du développement. De plus, à part des effets environnementaux néfastes, nous avons enregistré les retombées de ce phénomène aussi sur le plan socio-économique et qui sont graves (baisse de production agricole, exode rural etc.).

La vitesse, la direction et la fréquence sont les principaux éléments du vent qui définissent son efficacité. Néanmoins, seulement les vents puissants qui atteignent la vitesse de seuil peuvent avoir l'activité érosive.

Dans cette partie nous exposons également les problématiques suivantes :

- Quels sont les conditions qui accompagnent les processus de l'érosion éolienne ?
- Quels sont les causes et les facteurs de la morphogénèse éolienne et les mouvements des sables ?

Pour ces raisons, le but principal de cette partie est d'affirmer que les conditions climatiques difficiles, les forme géomorphologiques, la nature des affleurements géologiques et la mauvaise utilisation des ressources naturelles sont généralement derrières la dégradation du milieu et du déclenchement de l'érosion éolienne.

L'objectif primaire de l'étude est une meilleure compréhension des migrations du matériel éolien dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra. L'étendue de dunes du bassin versant tell que de Mekther et Magroune lui procurait son unité spatiale mais nous avons voulu comprendre comment de telles masses de sable ont pu se mettre en place. La géomorphologie peu marquée du bassin n'a pas pu expliquer un phénomène de cette ampleur, et donc nous avons considéré la recherche des autres causes primordiales. Donc, nous avons envisagé des autres objectives pour notre étude. Nous avons noté également que toute barrière, toute proéminence, toute excavation, toute surface rugueuse et toute pente peuvent selon leur efficacité ralentir la vitesse du vent et provoquer l'atterrissement à leur niveau du sable transporté.

Il est bien connu que les dunes de sable ont des formes différentes suivant les régions. Du point de vue scientifique, nous ne pouvons pas prétendre comprendre un phénomène naturel tant que nous ne connaissons pas les agents qui le contrôlent, suffisamment pour prévoir avec certitude l'effet produit sur le phénomène par un changement quantitatif donné de ses agents (Bagnold, 1953).

I. Morphogenèse éolienne et causes :

Les géographes appellent «système morphogénique» (ou morphogénétique) toute combinaison complexe de processus qui élabore le relief de vastes portions de continent correspondant à des ensembles morphostructuraux ou bioclimatiques (Encyclopédie. univ.t.111972, p.345).

Il y a dans les modelés des Monts des Ksour une empreinte très forte de la structuration géologique primaire et qui a été reconnue depuis longtemps. Néanmoins, la mise en exergue de ces structurations géologiques par les processus d'érosion a été assez peu étudiée. En effet, dans les régions désertiques chaudes et dans les climats périglaciaires des régions subarctiques, le vent joue un rôle important dans la géomorphologie. Plusieurs facteurs interviennent dans cette morphogénèse éolienne : fréquence de vents violents, faible précipitation, réduction du couvert végétal, la sublimation de l'eau qui dessèche la surface des sols et laisse en place des matériaux silto-sableux meubles propices à l'érosion, enfin la gélifraction des calcaires qui "ameublissent" et préparent à l'érosion les couvertures calcaires (Association des naturalistes Anvl, 2015).

1. Les exigences climatiques :

Généralement les régions affectées par l'ensablement correspondent aux étages bioclimatiques arides et sahariens dont les principales caractéristiques écologiques sont particulières comme le climat et la géomorphologie. Les indices météorologiques comme : les précipitations, les températures, l'évapotranspiration et les vents sont des indicateurs à la menace du phénomène d'ensablement à la région.

Les causes et les exigences climatiques de l'ensablement du bassin versant de l'Oued Ain Sefra sont principalement l'aridité et la sécheresse.

L'aridité est un climat caractérisé de façon constante par de faibles précipitations, une température élevée et par conséquent une végétation pauvre. Elle correspond à l'insuffisance et l'irrégularité de la pluviosité avec l'augmentation de l'amplitude thermique dont la principale conséquence est la sécheresse et la dégradation de la couverture végétale. Elle prédispose la région à l'ensablement si elle est associée au vent. En effet, une région aride peut connaître des épisodes de sécheresse. Le manque de pluie sera une caractéristique permanente du climat de la zone aride. Il s'agit généralement de régions où la pluie est rare et les températures sont élevées, la sécheresse sera donc un phénomène ponctuel sur cette zone (Chloé, 2015). C'est un phénomène conjoncturel qui

ne doit pas être confondu avec l'aridité qui est un phénomène structurel climatique. La sécheresse se manifeste dans le temps tandis que l'aridité est un phénomène spatial (Roche, 1986).

La pluviométrie est parmi les principales composantes du climat qui contribue à la désertification et à la dégradation des sols dans les zones arides. En effet, l'aridité est une conséquence d'un déficit de précipitation par rapport à l'évaporation durant une période plus au moins longue de l'année (Arrignon, 1987). Dans les zones arides et semi arides les facteurs climatiques jouent un rôle prépondérant dans l'évolution des processus désertiques (Haureau, 1993).

De nombreux auteurs ont essayé de démontrer la tendance à l'aridité dans les steppes algérienne (Djellouli, 1981 ; Rogon, 1996 ; Nedjraoui et Djellouli ,1996 ; Tabet Aoul ,1998 ; Labani et al, 2006). Ces études, basées sur des séries d'observation fournis par les services de l'Office National de la Météorologie, ont montré que les steppes algériennes sont marquées par une grande variabilité interannuelle des précipitations.

En Algérie, les dernières années ont connu une baisse notable de la pluviosité annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante (Djellouli et Nedjraoui, 1995 ; Hirche et al, 2007).

Savoir quel indice de sécheresse serait le plus ajusté à tel ou tel climat et à telle application est une question qui a suscité fortes débats au fil des ans. Les définitions et les indices de la sécheresse ont été disponibles et certains auteurs ont essayé de formuler des avis éclairés sur le sujet.

Ainsi, la sècheresse peut avoir des aspects divers qui varient suivant le type de ressource affectée par ce phénomène naturel et suivant le type d'activité économique le plus touché. Par ailleurs, nous pouvons distinguer quatre types de sécheresse différents : hydrologique, météorologique, agricoles et socio-économique.

La sécheresse climatologique est due à la diminution naturelle de la pluviométrie sur une région donnée pendant une année ou sur des nombreuses années consécutives. Souvent, elle est définie par l'écart entre la pluie annuelle et la pluie moyenne annuelle (Alouni et al, 1999). En outre, Dhar et al. (1979) ont défini la sécheresse et utilisé la définition Météorologique qui précise qu'il faut avoir un manque de 20% ou plus au-dessous de la moyenne normale de pluie.

La sécheresse hydrologique considère les effets des intervalles de déficit pluviométrique sur les eaux de surface. En effet la sécheresse est suivie généralement par une diminution des volumes d'eau écoulés dans le réseau hydrographique et par conséquent par une diminution des volumes collectés par les ouvrages hydrauliques. De plus elle a des répercussions sur le régime d'écoulement des sources naturelles, sur le niveau piézométrique des nappes d'eau souterraines et de l'humidité du sol (Alouni et al, 1999).

La sécheresse édaphique est concernée aux réserves d'eau utiles retenues au niveau du sol. En effet, ces réserves utiles dans le sol résultent de l'apport en eau d'origine pluviale après soustraction de l'eau de gravitation, de l'eau des remontées capillaires, l'eau de transpiration et de l'évaporation du sol. L'assèchement du sol peut provoquer alors des modifications de leurs propriétés physiques résultant du dépôt des produits dissous véhiculés par l'eau. La salinisation constitue un risque très grave pour tous les sols des régions sèches (Dhaou, 2003).

La sécheresse hydrogéologique engendre des répercussions parfois très défavorables sur les eaux souterraines. En effet, au moment de la sécheresse, l'alimentation des nappes diminue considérablement alors que l'exploitation augmente d'une façon significative. Cette situation se traduit par le tarissement des ressources, des forages artésiens et des puits, la baisse des débits d'exploitation des puits et des forages ainsi que des débits d'écoulement des émergences (Alouni et al, 1999).

La sécheresse agronomique, selon l'OMM, est en rapport avec la présence d'humidité pour les récoltes et l'élevage. L'humidité disponible dans le sol pour permettre aux plantes de croître et de se développer constitue un indicateur usuel de la sécheresse agricole.

La sécheresse socio-économique, qui tient compte des notions de sécheresse météorologique, hydrologique et agricole, est une forme de choc interne de l'offre, c'est à dire une grave perturbation provoquée par des événements hors du contrôle d'un pays et qui a des effets importants sur les variables économiques intérieures (Dhaou, 2003).

Ces types de sécheresse peuvent ne pas se manifester simultanément, mais la sécheresse météorologique reste l'événement moteur des autres (Dhaou et al., 2009). Du point de vue météorologique 'la sécheresse est une longue période extrêmement sèche 'pendant laquelle le manque d'eau perturbe gravement l'équilibre hydrologique d'une région (Huschke, 1959). En outre, l'extension spatiale et l'apparition progressive et essentiellement imprévisible de la sécheresse provoquent des effets négatifs visibles sur la population, la récolte, le cheptel, les pâturages, les forêts et ressources en eaux (Dhaou et al., 2009).

Le présent travail adopte les indices révélateurs du degré d'intensité de la sécheresse comme approche méthodologique (Bergaoui et Alouini, 2002).

Caractérisation de la sécheresse météorologique et de l'aridité du bassin versant

Plusieurs méthodes et indices ont été utilisés pour caractériser et estimer l'intensité de la sécheresse et de l'aridité dans notre zone d'étude.

Les données climatiques utilisées dans cette étude (la pluviométrie, la température de l'air l'humidité relative de l'air) ont été collectées auprès du office nationale de météorologie.

Ainsi, nous avons choisi la série pluviométrique de la station d'Ain Sefra (30 années d'observations complètes de la période 1985-2015) qui constitue le meilleur exemple de caractérisation de la sécheresse météorologique à l'échelle de la région.

1.1 Caractérisations de l'aridité :

La valeur géographique de la fonction d'aridité représente la synthèse des deux éléments les plus importants du climat. La température de l'air est déjà une fonction synthétique définie par le rayonnement solaire, la latitude, les formes morphologiques, et l'altitude est d'autre part l'agent primordial de l'évaporation. Le nouveau concept se calcule facilement et il est applicable à toutes les régions du globe qui ne sont pas complètement inconnues au point de vue météorologique (De Martonne, 1926).

Un certain nombre d'indices d'aridité ont été présentés. Ces indicateurs acceptent d'identifier, de localiser ou de délimiter les régions qui subissent un déficit d'eau disponible, une condition qui peut impacter vraiment l'efficacité de l'utilisation des terres pour des activités telles que l'agriculture ou l'élevage.

La prévision d'un indice d'aridité, au même titre que la classification des climats, a toujours été un sujet de recherche en climatologie. Il existe une affluence d'indices et de formules, certaines établies sur des critères climatologiques, d'autres biogéographiques. Dans tous ces indices, les plus connus restent ceux d'Emmanuel de Martonne (1926 à 1941), de Charles Warren Thornthwaite (1948), et de Bagnouls et Gaussen (1953 à 1957).

1.1.1 Indice d'aridité annuelle et mensuelle d'Emmanuel de Martonne :

L'indice d'aridité annuelle d'Emmanuel de Martonne, permet de calculer le degré annuel d'une station quelconque. De Martonne utilise, pour une station donnée, la moyenne annuelle des températures et le total annuel des pluies. Il s'écrit de la manière suivante (Anser, 2017):

$$IM = P / (T+10)$$

$$Im = 12p / (t+10)$$

IM : est l'indice d'aridité annuelle. **Im** : est l'indice d'aridité mensuelle.

P : est le total annuel des pluies en mm. **p** : totale mensuelle des pluies d'un mois en mm.

T : est la moyenne thermique annuelle. **t** : est la moyenne thermique mensuelle du même mois (Tab 29).

IM	Type de Climat	Type de végétation potentiel
IM < 5	Hyper aride	Aridité absolu
5 < IM < 10	Aride	Désert et Steppe – Aucune culture sans irrigation
10 < IM < 20	Semi-aride	Steppe (formations herbacées, steppes ou savanes. Irrigation nécessaire pour les cultures exigeant de l'humidité)

Tableau N°29 : Indice d'aridité annuelle et mensuelle d'Emmanuel de Martonne.

C'est cette fonction que nous avons appelé indice d'aridité. Il semble en effet qu'elle offre le moyen de mesurer facilement et avec assez de précision l'aridité du climat (De Martonne, 1926).

1.1.1.1 Indice d'aridité annuelle et mensuelle d'Emmanuel de Martonne à Ain Sefra de 1985 à 2015 :

Les régions arides et hyper arides sont le domaine du désert où l'aridité est forte. Nous avons trouvé également des régions arides et semi-arides dans le domaine des steppes. Elles sont caractérisées par une rareté et un forte variable dans le temps et dans l'espace des précipitations, par l'intensité de l'évaporation et par précarité des ressources en eau. Dans ces zones souvent prédisposées à l'apparition des phénomènes érosifs, la surexploitation des système écologiques naturellement fragiles, conduit à des changements irréversibles et à la dégradation des potentiels de production (Le Floc'h et al., 1992) . Ces caractéristiques engendrent des limitations sévères au développement de ces zones, notamment au développement des régions arides.

L'insuffisance des précipitations s'accompagne d'un déficit important du développement des espèces végétales. Le plus souvent, le tapis végétal est discontinu et laisse des vastes étendues de roches ou de sol à nu. Les indices que nous avons calculés, expriment plus ce phénomène.

Le tableau 30 (Tab. A04Annexe) montre la température moyenne annuelle, la précipitation moyenne annuelle, et l'indice d'aridité calculés pour la station d'Ain Sefra, pour la période considérée de 1985 à 2015. Nous avons remarqué à travers les valeurs obtenues de l'indice d'aridité que la région appartient au climat Aride, ce qui est conforme à ce qui est connu pour la zone.

Le tableau No 30 montre aussi que le nombre des années de type de climat hyper aride et aride sont 26 années soit 70.64 % avec type de végétation potentiel de désert et steppe où nous ne pouvons pas avoir aucune culture sans irrigation. Néanmoins nous avons enregistré 5 années de type de climat de semi-aride, mais elles sont les seules années humides.

Type de Climat	Type de végétation potentiel	Nombre D'années	Pourcentage
Hyper-aride	Aridité absolu	06	22,58%
Aride	Désert et steppe - Aucune culture sans irrigation	20	58,06%
Semi-aride	Steppe (formations herbacées, steppes ou savanes. Irrigation nécessaire pour les cultures exigeant de l'humidité	05	19,35%

Tableau N°30 : l'indice d'aridité annuelle d'Emmanuel de Martonne à Ain Sefra dans la période 1985-2015.

Le calcul de l'indice d'aridité mensuelle d'Emmanuel de Martonne à Ain Sefra, d'après le tableau 31, les mois de juin, juillet et août représentent le climat hyper-aride où une aridité absolu, pour les mois février, avril, mai, septembre et décembre le type de climat est aride avec une végétation potentiel désertique ou steppique et avec aucune culture sans irrigation. La steppe est représentée pour les mois de janvier, mars, octobre et novembre et le climat est du type semi-aride.

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Im	11,37	7,83	12,78	7,91	7,88	2,92	1,48	3,53	7,23	14,59	11,86	5,48
Ty	Semi-aride	Le désert	Semi-aride	Le désert	Le désert	Aridité absolu	Aridité absolu	Aridité absolu	Le désert	Semi-aride	Semi-aride	Le désert

Tableau N° 31 : L'indice d'aridité mensuelle d'Emmanuel de Martonne à Ain Sefra dans la période 1985-2015.

1.1.2 Le quotient pluviométrique d'Emberger :

Le quotient pluviométrique d'Emberger, appelé aussi l'indice pluviométrique d'Emberger est le rapport de la hauteur de précipitations recueillies en un lieu et un mois donnés à la hauteur qu'on y aurait recueillie si la hauteur moyenne annuelle avait été également répartie sur tous les jours de l'année, permet de situer une station pluviométrique sur le diagramme d'Emberger, sur lequel sont définis les domaines et sous domaines bioclimatique (étages ou sous étages), du même auteur (Anser, 2017).

Il est connu comme l'indice climatique d'Emberger, développé par le botaniste Louis Emberger en 1930, puis modifié en 1955 pour définir les cinq différents types de climats méditerranéens, depuis le plus aride, jusqu'à celui de haute montagne, climats que seul le Maroc dans la région méditerranéenne, possède en totalité. Stewart l'a simplifié en 1969.

Cet indice s'exprime de la manière suivante :

$$Q = 1000 * P / ((M+m)/2 * (M-m))$$

Q : quotient pluviométrique d'Emberger

M : moyenne des maxima (températures maximales journalières) du mois le plus chaud, en degrés Celsius

m : moyenne des minima (températures minimales journalières) du mois le plus frais, en degrés Celsius

P : cumul pluviométrique annuel, en millimètre

Le quotient d'Emberger a été modifié et défini par la formule :

La valeur $(M + m)/2$ du fait de son expression en degrés Kelvin varie peu. Stewart l'a assimilé à une constante $k = 3,43$, d'où le quotient (Benabadji et Bouazza, 2000).

$$Q_2 = 3,43 \times [P / M - m]$$

M et m s'expriment en degré Celsius, Emberger a mentionné qu'un climat ne peut être caractérisé si à la valeur de Q_2 ne vient pas s'ajouter celle de « m » (Emberger, 1955) . Les stations météorologiques de même Q_2 peuvent être différenciées par leurs valeurs de « m » où M et m qui s'expriment en degré Celsius.

1.1.2.1 Le quotient pluviométrique d'Emberger à Ain Sefra de 1985 à 2015 : (Tab N°A04 en annexe)

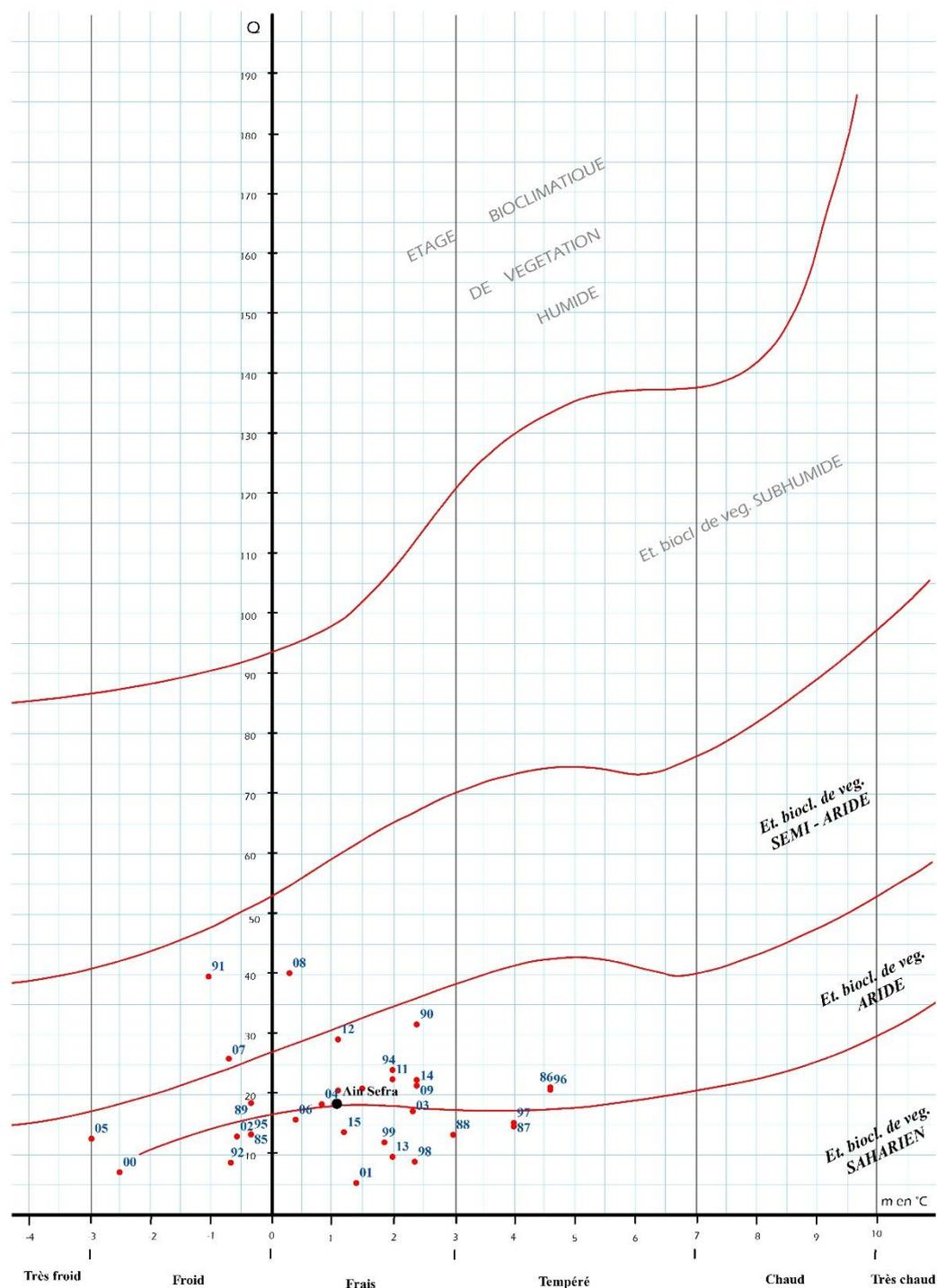


Figure N°34 : Le quotient pluviométrique d'Emberger indiqué à la station d'Ain Sefra et les années étudiées.

Le quotient pluviométrique d'Emberger indique la station d'Ain Sefra et les années étudiées à une valeur de 18.2 et il classifie notre zone d'étude et les données climatiques de la période (1985-2015) dans l'étage aride inférieur à hiver frais (Fig. 34).

Nous avons distingué 14 années (Fig. 34) classées dans l'étage Saharien avec hiver froid, frais et tempéré ; 13 années classées dans l'étage Aride avec hiver froid, frais et tempéré ; 3 années classées dans l'étage semi-Aride avec hiver froid et frais.

En fait, le quotient pluviométrique d'Emberger classe la zone dans l'étage Saharien avec hiver froid, frais et tempéré, mais en moyenne dans l'étage aride inférieur à hiver frais.

1.1.3 Indice xérothermique de Gaussen :

L'indice xérothermique est destiné à fournir des indications sur la durée de la période de sécheresse. Parmi les divers climats mondiaux, certains présentent une longue période de sécheresse coïncidant avec les températures les plus hautes considérées. Pour ces climats-, ce facteur prend une grande importance en application de la loi du minimum (l'humidité est à son minimum) et dans une synthèse biologique bien faite, ce facteur peut presque suffire à lui seul pour caractériser un climat. Par contre, les pays qui ont, au cours de l'année, une humidité suffisante, ne sont pas intéressés par la valeur de ce facteur (Gaussen et Bagnouls, 1952).

Cet indice associe les moyennes mensuelles des pluies (en mm) et des températures (en Celsius), pour faire la distinction entre les mois humides et les mois secs. Il s'écrit de la manière suivante :

$$P \leq 2T$$

Où : p : est la moyenne mensuelle des pluies en mm

T : est la moyenne mensuelle des températures en degré Celsius.

Un mois est observé sec si P est inférieur à $2T$ (Anser, 2017). Il est considéré comme humide si P est supérieur à $2T$. Cet indice est généralement illustré par un diagramme appelé le Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS. Ce dernier permet de faire la distinction entre la période humide, où P est supérieur à $2T$, et la période sèche où P est inférieur à $2T$.

1.1.3.1 Indice xérothermique de Gaussen à Ain Sefra de 1985 à 2015 :

La période sèche est déterminée par une représentation graphique portant en abscisse les douze mois de l'année, en ordonnant au droit les précipitations mensuelles moyennes exprimées en (mm) et à gauche les températures moyennes exprimées en C°.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

A ce propos, nous avons noté que la saison sèche est toujours marquée en Afrique du Nord, même en altitude. On peut donc parler d'un climat de montagne a été sec : oroxérothère (Gausсен et Bagnouls, 1952).

Le seuil de démarcation entre saison sèche et une saison humide a été mise en évidence par Bagnouls et Gausсен (1953), les mois dont la pluviosité moyenne exprimée en mm est inférieure au double de la température moyenne exprimée en degrés Celsius sont considérés secs. Tout fois, les mois pour lesquels la pluviosité moyenne est égale au supérieur au double de la température sont considérés comme humides. Pour notre zone d'étude on enregistre 8 mois secs contre seulement 4 humides (Tab. 32).

Dans notre zone d'étude le mois de janvier reste le mois le plus froid de l'année et le mois de juillet, le mois le plus chaud, la température moyenne est de 17.92 C° durant la période [1985-2015]. Cette dernière affiche une tendance à la hausse, surtout pour les quatorze dernières années [1997-2010] (Fig. 35).

Partout, les mois les plus chauds sont juin, juillet, août et septembre. Assez souvent, le mois de septembre est un peu plus chaud que le mois de juin.

En Sud-Ouest d'Algérie, les mois extrêmement secs, nettement marqués, sont juillet et août. A ce moment-là, il ne tombe pas plus d'eau à Tlemcen qu'à Bechar.

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Des
P	15,96	12,45	24,43	17,34	20,47	8,89	5,00	11,52	20,63	34,62	21,66	8,13
2T	13,68	18,18	25,86	32,62	42,35	53,11	61,00	58,44	48,52	36,96	23,81	15,58

Tableau N°32 : Le seuil de démarcation entre un mois sec et un mois humide à Ain Sefra de 1985-2015 (P=2T).

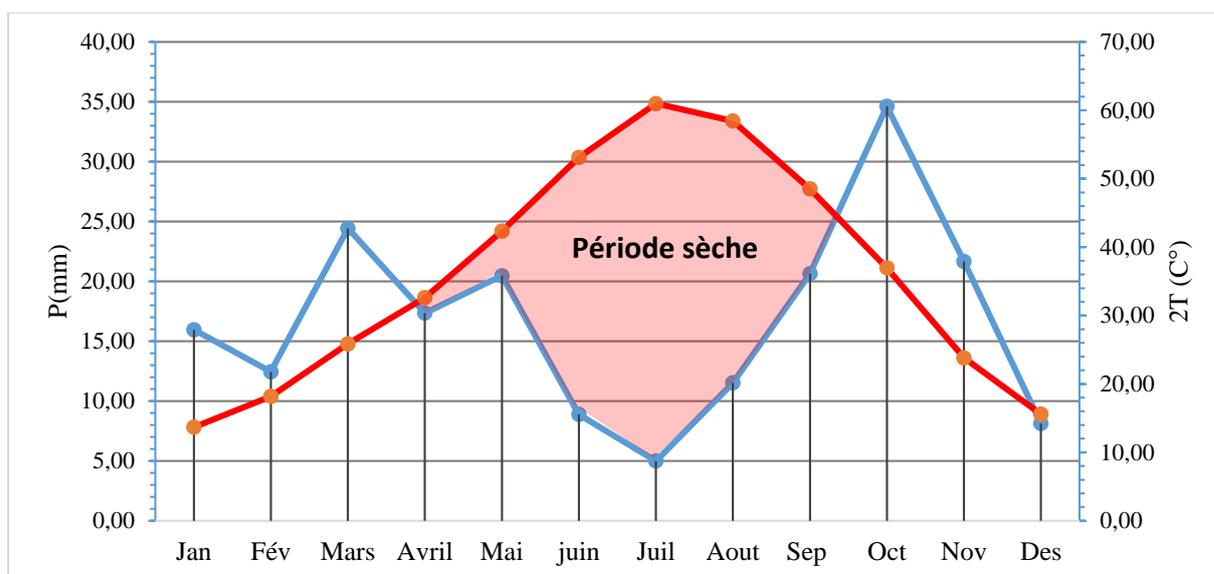


Figure N° 35 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson Station d'Ain Sefra (1985-2015).

1.2 Caractérisations de la sécheresse et les indices de météorologiques utilisées :

La sévérité d'une sécheresse est d'autant plus ressentie si l'année en question a suivi une ou plusieurs années sèches. Une séquence d'années sèches successives est bien entendu plus grave qu'une sécheresse isolée (Benzarti, 1990).

Des indices ont été utilisés à deux échelles de temps : mensuelle et annuelle, pour l'identification et la détection précoce de la sécheresse climatique dans la région d'Ain Sefra. Ils incluent l'indice de l'écart à la moyenne (Em), l'indice standardisé de précipitation (SPI), l'indice de pluviosité (Ip) et l'indice du nombre d'écarts type.

Afin que nous puissions déterminer la gravité de la sécheresse et l'aridité dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, tous ces indices ont été appliqués à la série pluviométrique d'Ain Sefra qui est la série longue et comptant 30 années d'observation complète (1985-2015). Les tableaux se rapportant à ces indices sont indiqués en annexe.

1.2.1 Indice de l'écart à la moyenne (Em) :

C'est la différence entre la hauteur de précipitation annuelle (Pi) et la hauteur moyenne annuelle de précipitation (Pm).

$$Em = Pi - Pm$$

La répartition annuelle des précipitations renseigne de manière directe sur la fluctuation des hauteurs des pluies et permet, comparé à la moyenne de la série, de dégager les années humides et sèches. Elle permet aussi d'estimer le déficit pluviométrique à l'échelle de l'année et de visualiser

et de déterminer le nombre d'années déficitaires et leur succession. Nous parlons d'année déficitaire quand la pluie est inférieure à la moyenne et d'année excédentaire quand la moyenne est dépassée (Triki, 2009).

Pour les années humides l'écart est positif et négative pour les années sèches. En effet, une année déficitaire est représentée par un niveau de pluie inférieure à la moyenne et une année excédentaire quand la moyenne est dépassée. Cet indice permet de visualiser et de déterminer le nombre d'années déficitaires et leur succession (Bergaoui et Alouini, 2002).

1.2.1.1 Indice de l'écart à la moyenne à Ain Sefra de 1985 à 2015 :

Le calcul de l'indice de l'écart à la moyenne de la série pluviométrique de la station d'Ain Sefra dans la figure 36 permet de montrer que durant cette longue période d'observation de 30 ans (1985-2015), nous avons enregistré 39.3% d'années excédentaires et 60.7 % d'années déficitaires. Le déficit le plus important retenu de cette série pluviométrique est de l'ordre de - 140,59 mm en 2001-2002 (soit 69.5 % de déficit).

Ainsi, on a enregistré 19 séquences sèches de plus dans une année dont les plus longues s'étendent respectivement sur 3 années et 12 années consécutives de 1985-1986 à 1986-1989 ; 1988-1989 à 1989-1990 et de 1995-1996 à 2006-2005.

La tendance globale, durant la période 1988-1915, est la sécheresse mais celle-ci est entrecoupée de courte période à tendance humide. De 1990-1991 à 1992-1993, et de 2005-2008 jusqu'à 2013-2014, la tendance est humide. Par contre, de 1996-1997 à 2001-2002, il s'agit d'une tendance à la sécheresse.(Tab N°A01 Annexe)

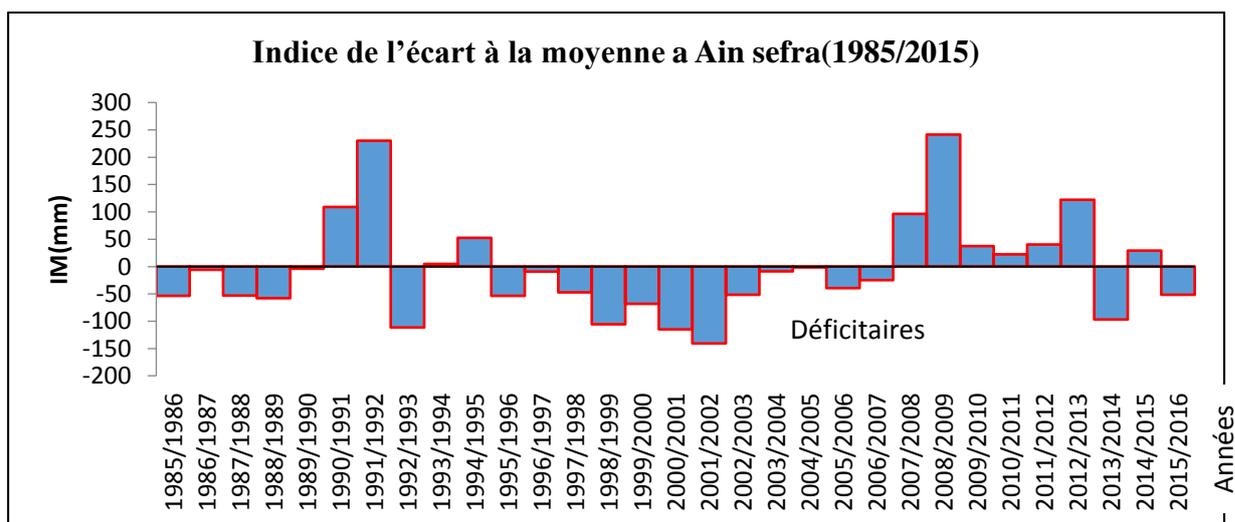


Figure N°36: Ecart par rapport à la moyenne de la station d'Ain Sefra dans la période 1985-2015.

L'étude de Triki (2009) montre que sur une série de 101 ans, il y a deux périodes sèches selon l'Organisation Mondiale pour la Nutrition, de 1922 à 1948 et de 1960 à 2001. Dans la période 1960-2001 nous avons eu une période sèche de 27 années sur 37 années soit plus de 73 %, et selon notre étude de l'Indice de l'écart à la moyenne, la période 2001-2008 représente une période de sécheresse.

En conséquence, la durée de la période de sécheresse de 1960 à 2005 est estimée à 47 années consécutives soit 70 %. Nous avons noté que la deuxième phase est plus sèche que la 1ère avec une moyenne respectivement de 125.6mm et 150.2mm, l'écart-type et le CV sont assez important durant les deux phases où ils sont de ($\delta=90$, $CV=0.6$) entre 1922-1948 et ($\delta=101.8$, $CV=0.8$) ce qui indique une variabilité assez forte (Fig. 37) (Triki, 2009).

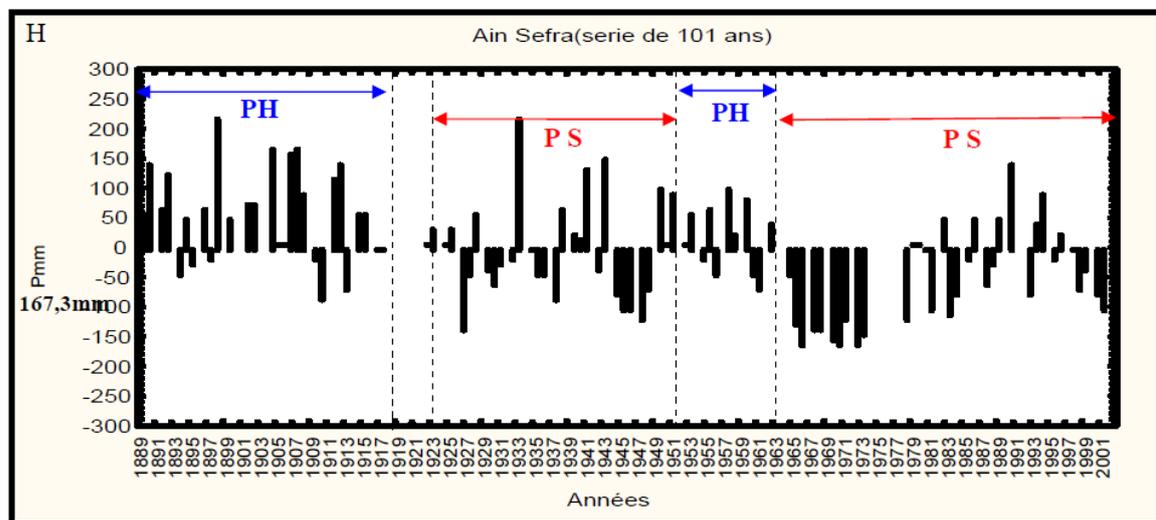


Figure N°37: Délimitation des phases sèches et phases humides (Triki, 2009)

1.2.2 L'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) (Standardized Precipitation Index) :

L'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) (Standardized Precipitation Index) est un indice permettant de mesurer la sécheresse météorologique. Il s'agit d'un indice de probabilité qui repose seulement sur les précipitations. Les probabilités sont standardisées de sorte qu'un SPI de 0 indique une quantité de précipitation médiane (par rapport à une climatologie moyenne de référence, calculée sur 30 ans). L'indice est négatif pour les sécheresses, et positif pour les conditions humides. Les principaux avantages du SPI sont les suivants : il requiert seulement les précipitations mensuelles ; il peut être comparé pour des régions aux climats différents ; la normalisation de l'indice permet de déterminer la rareté d'une sécheresse.

L'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) a sollicité l'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, en espérant que cet indice aidera les pays et les institutions à appréhender comment calculer l'indice SPI et à servir de l'indice pour développer ou renforcer leurs capacités en ce qui concerne le suivi des situations de sécheresse et l'alerte précoce à la sécheresse.

L'indice standardisé des précipitations « SPI » (Standardized Precipitation Index) a été traité en 1993 vue d'évaluer le déficit des précipitations pour des échelles de temps multiples qui vont refléter l'effet de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau pour une période donnée (McKee et al. 1993 ; Hayes, 1996). Le calcul de SPI ne demande pas de longues séries pluviométriques et il montre le grand avantage de fonctionner à diverses échelles de temps et de permettre des évaluations de la sécheresse à court, moyen, ou long terme (Triki, 2009). SPI est calculé notamment lorsque les précipitations ne sont pas normalement distribuées. Il est formulé mathématiquement comme suit :

$$SPI = (P_i - P_m) / s$$

P_i : Pluie de l'année i ;

P_m : Pluie moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée ;

S : Ecart-type de la série sur l'échelle temporelle considérée.

McKee et al. (1993) ont utilisé le système de classification présenté dans le tableau des valeurs de l'indice SPI figurant ci-dessous (Tab. 33) pour définir l'intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur de l'indice. Ils ont aussi défini les critères d'un épisode de sécheresse pour une échelle de temps quelle qu'elle soit. Une sécheresse sévit quand l'indice présente de façon continue une valeur négative de -1,0 ou moins et elle se termine lorsque l'indice devient positif. Par conséquent, on distingue pour chaque épisode de sécheresse une durée, avec un commencement et une fin, et une intensité pour chaque mois durant lequel l'épisode se poursuit. Pour obtenir ce que nous pouvons appeler la « magnitude » de la sécheresse, il suffit d'ajouter toutes les valeurs de l'indice pour l'ensemble des mois sur lesquels porte l'épisode (Organisation météorologique mondiale, 2012).

Valeur SPI	SIGNIFICATION
2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2 et moins	Extrêmement sec

Tableau N°33 : Valeurs et significations de l'indice SPI.

Quand il porte sur un laps de temps relativement court, entre 1 et 3 mois par exemple, l'indice SPI permet de détecter rapidement les conditions de sécheresse et d'en évaluer la gravité. L'indice SPI présente une bonne cohérence spatiale, ce qui accepte d'établir des comparaisons entre des zones différentes soumises à des autres climats. Sa nature probabiliste le place dans un contexte historique, ce qui convient bien en cas de prise de décision.

Mais l'indice SPI repose seulement sur les relevés de précipitations et donc, le bilan hydrique du sol n'est pas pris en compte. L'indice ne permet pas le calcul le rapport évapotranspiration/évapotranspiration potentielle (ET/ETP). Grâce à une variante de l'indice qu'ils ont mis au point, Vicente-Serrano et al. (2010) ont essayé de régler le problème mentionné ci-dessus en prenant en compte la température dans les calculs du nouvel indice qu'ils nomment indice de précipitations et d'évapotranspiration normalisé (SPEI). Les paramètres dont il faut disposer pour effectuer le programme sont les précipitations, la température moyenne et la latitude de la station (Organisation météorologique mondiale, 2012).

1.2.2.1 Méthode de calcul SPI :

Le calcul de l'indice SPI est toujours fondé sur un historique de précipitations d'une longue période chronique au laps de temps étudié. Nous avons ajusté une distribution de probabilité à cette longue série de relevés, puis nous l'avons transformé en une distribution normale pour que l'indice SPI moyen, du lieu considéré et pour le laps de temps étudié, soit égal à zéro (Edwards et McKee, 1997). Les valeurs positives de l'indice SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives, des précipitations inférieures à la médiane. Étant donné que l'indice est

normalisé, il est possible de représenter de la même manière les climats humides et les climats arides.

En conséquence, nous voulons savoir si c'est possible grâce à l'indice SPI, d'assurer une surveillance des périodes humides (Organisation météorologique mondiale, 2012).

1.2.2.2 L'indice standardisé de précipitation (SPI) à Ain Sefra de 1985 à 2015 :

L'indice standardisé de précipitation a été développé en vue de caractériser les déficits de précipitation d'une région donnée à différentes échelles de temps (1, 3,6, 12, 24 et 48 mois) (Mckee et al. 1993,1995). Cette analyse, qui prend en considération la futilité du temps, reflète surtout l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différentes ressources en eau. L'SPI est calculé grâce à l'ajustement des séries pluviométriques recueillies sur de longues périodes à une courbe de probabilité (Mckee et al, 1993).

L'indice SPI offre une bonne souplesse d'utilisation. Il est possible de le calculer pour de multiples échelles de temps. Les données de base sont constituées de relevés pluviométriques journaliers. Les données ont été mises à disposition par la Direction de la Météorologie Nationale d'Ain Sefra et la variable d'étude est la pluie annuelle de la période 1985 - 2015. (Fig. 38)

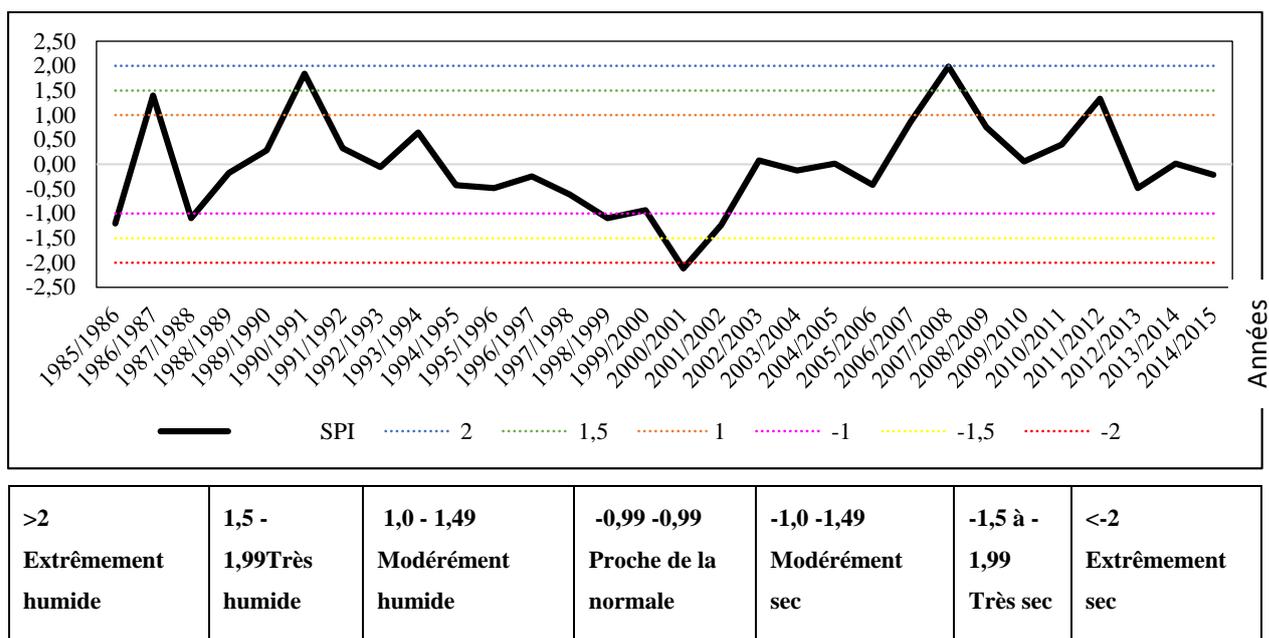


Figure N°38 : Valeurs annuelles moyennes de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) de la période 1985-2015 à Ain Sefra.

Les valeurs moyennes de l'indice SPI sont globalement positives sur les années 1985-1995, la moyenne de SPI est (0.34) ou l'année 1991 est extrêmement humide, et les années 2005-2015, avec moyenne de SPI (0.52). Remarque 'on que l'année 2008 est extrêmement humide, alors qu'elles sont négatives sur la période 1996-2005 les douzaines années soit de 40% : -0.65 en moyenne,

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

avec des valeurs extrêmes de -2,11 en 2001 (Fig. 38).d'après le tableau 34, les années portent une description de sécheresse Tell que : Modérément sec, Très sec et Extrêmement Sec représentent 14,29 %.

Descripteurs	pourcentage %	Description
Proche de la normale	69,88	Normal 69,88 %
Modérément humide	6,52	Humide 15,81 %
Très humide	5,59	
Extrêmement humide	3,73	
Modérément sec	7,76	Sèche 14,29 %
Très sec	3,73	
Extrêmement Sec	2,80	

Tableau N°34 : Fréquences (en % de station d'Ain Sefra de 1985 à 2015) des classes de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) dans la période 1985-2015.

Annees	SPI	Descripteurs
1985/1986	-1,20	Modérément sec
1986/1987	1,40	Modérément humide
1987/1988	-1,09	Modérément sec
1988/1989	-0,17	Proche de la normale
1989/1990	0,28	Proche de la normale
1990/1991	1,84	Très humide
1991/1992	0,33	Proche de la normale
1992/1993	-0,06	Proche de la normale
1993/1994	0,65	Proche de la normale
1994/1995	-0,42	Proche de la normale
1995/1996	-0,48	Proche de la normale
1996/1997	-0,24	Proche de la normale
1997/1998	-0,61	Proche de la normale
1998/1999	-1,09	Modérément sec
1999/2000	-0,93	Proche de la normale
2000/2001	-2,11	Extrêmement Sec
2001/2002	-1,24	Modérément sec
2002/2003	0,08	Proche de la normale
2003/2004	-0,13	Proche de la normale
2004/2005	0,02	Proche de la normale
2005/2006	-0,42	Proche de la normale
2006/2007	0,86	Proche de la normale
2007/2008	1,99	Très humide
2008/2009	0,76	Proche de la normale
2009/2010	0,06	Proche de la normale
2010/2011	0,40	Proche de la normale
2011/2012	1,34	Modérément humide
2012/2013	-0,48	Proche de la normale
2013/2014	0,02	Proche de la normale
2014/2015	-0,21	Proche de la normale

FigureN°39 : Valeurs annuelles moyennes de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) de station d'Ain Sefra de 1985 à 2015

La figure 39 mis en évidence les valeurs de SPI de 1985 à 2015 à la station d'Ain Sefra.

Pendant la période 1985-2015 à Ain Sefra, nous avons noté : 16 années sèches avec 1 années d'extrême sécheresse et 4 années modérément sec, mais d'autre part, nous avons eu 16 années qui ont une valeur négative de SPI et donc, elles sont des années proche a la sécheresse.(Tab N°A03 Annexe)

1.2.2.3 Comparaison entre EM et SPI à Ain Sefra de 1985 à 2015 :

La figure 40 montre une proportionnalité entre IM et SPI. L'EM donne des bons résultats mais c'est une généralité, tandis que l'Indice de SPI précise bien l'amplitude de sécheresse avec des classes.

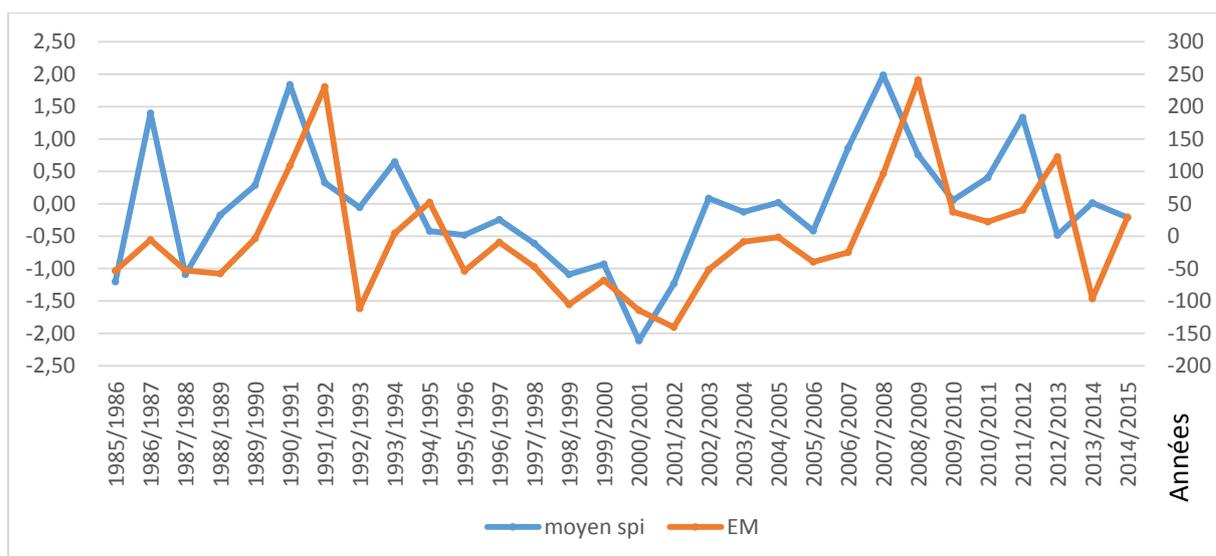


Figure N°40 : Une proportionnalité entre IM et SPI de station d'Ain Sefra de 1985 à 2015

1.2.3 Indice de pluviosité (I_p) :

C'est le rapport de la hauteur de précipitation annuelle à la hauteur moyenne annuelle de précipitation.

$$I_p = P_i / P_m$$

Une année est qualifiée d'humide si ce rapport est supérieur à 1 et de sèche s'il est inférieur à 1. Pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques, nous avons utilisé l'écart proportionnel à la moyenne (I_{pm}).

$$I_{pm} = I_p - 1$$

Le cumul des indices (I_{pm}) d'années successives permet de dégager les grandes tendances en faisant abstraction des faibles fluctuations d'une année à l'autre. Quand la somme des indices augmente, il s'agit d'une tendance humide. La tendance est de type « sèche », dans le cas contraire (Bergaoui, 2002).

1.2.3.1 Indice de pluviosité (I_{pm}) à Ain Sefra de 1985 à 2015 :

L'analyse de la sécheresse par la méthode de l'indice de pluviosité et des cumuls des écarts fait apparaître une alternance de séquences à tendance globale sèche et des séquences à tendance globale humide (Fig. 41). Ainsi nous avons constaté que :

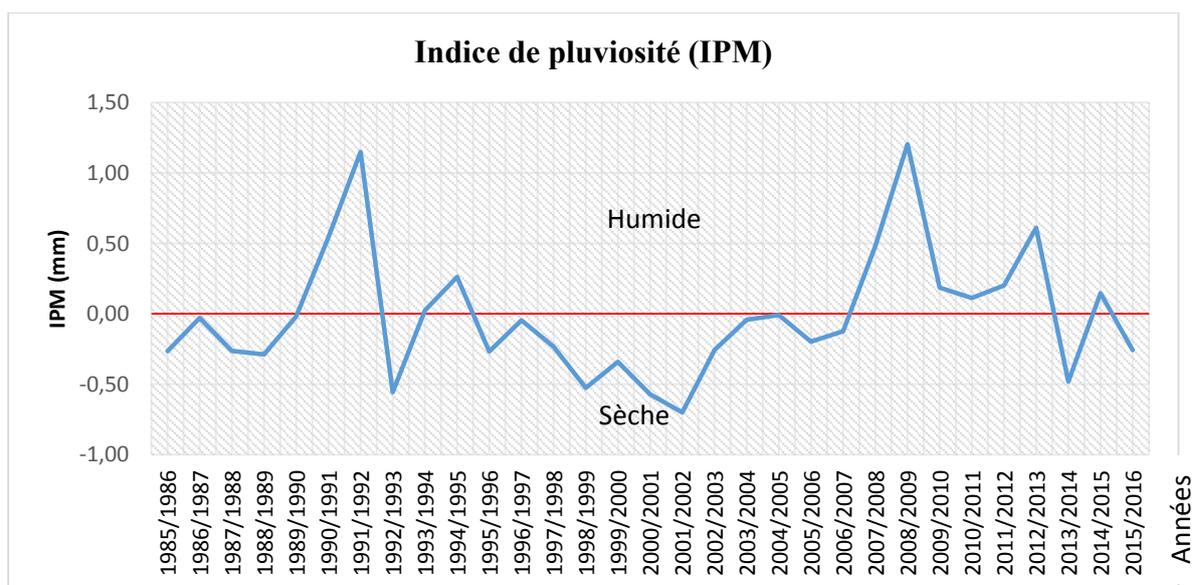


Figure N°41 : L'indice de pluviosité de 1985 à 2015 à Ain Sefra.

De 1985-1990 à 1992-2005, la tendance globale est représentée par la sécheresse. Mais elle est entrecoupée par des courtes périodes à tendance humide dont les plus importantes s'étendant sur des années consécutives (1990-1992 et 2008-2009).

De 2005-2008 jusqu'à 2012-2013, la tendance est humide. Par contre, de 1992-1993 à 2006-2005, il s'agit d'une tendance à la sécheresse. Ce qui confirme les constatations dégagées en se basant sur les observations de l'écart par rapport à la moyenne et SPI.

Du fait que l'indice de l'écart à la moyenne (E_m) et l'indice de pluviosité (I_p) nous ont indiqué simplement les années sèches et les années humides et afin de mieux préciser le degré de sécheresse enregistrée, nous avons recouru aux autres indices comme l'analyse fréquentielle et la comparaison à la moyenne diminuée respectivement d'une fois et de deux fois l'écart type (Dhaou, 2003).

1.2.4 Analyse fréquentielle :

Les pluies annuelles sont classées dans l'ordre croissant suivant leur probabilité au non-dépassement (F) dont la formule est la suivante :

$$F = (r / (N + 1)) * 100$$

Avec :

r : rang de l'année selon une classification croissante des quantités de pluies ;

N : nombre d'années d'observation.

Selon Alouini et Bergaoui (2001), les années seront classées en fonction de leur probabilité au non-dépassement en cinq classes comme indiqué dans le tableau 35.

Class	Fréquence ou probabilité au non-dépassement
Très sèches	$F < 15 \%$
Sèches	$15\% \leq F < 35\%$
Normales	$35\% \leq F < 65\%$
Humides	$65\% \leq F < 85\%$
Très humides	$F \geq 85\% >$

**Tableau N°35 : Classes de sécheresse en fonction des fréquences (F)
(Bergaoui, 2002)**

1.2.4.1 Interprétation des résultats d'Analyse fréquentielle à Ain Sefra de 1985 à 2015 :

L'application de l'analyse fréquentielle à la série pluviométrique de la station d'Ain Sefra (tableau A1 en annexe) nous a donné une précision supérieure pour des années normales par rapport aux années déficitaires et excédentaires. Ainsi, les figures 42 et 43 montrent la représentation des variations des pluies annuelles en fonction des années hydrologiques par comparaison aux différentes classes des fréquences, que nous avons distinguées sur les 30 années d'observation : 12 années sèches, très sèches et déficitaires de 40 %. Nous avons eu 9 années normales, 11 années humides, très humides et excédentaires de 36 %.

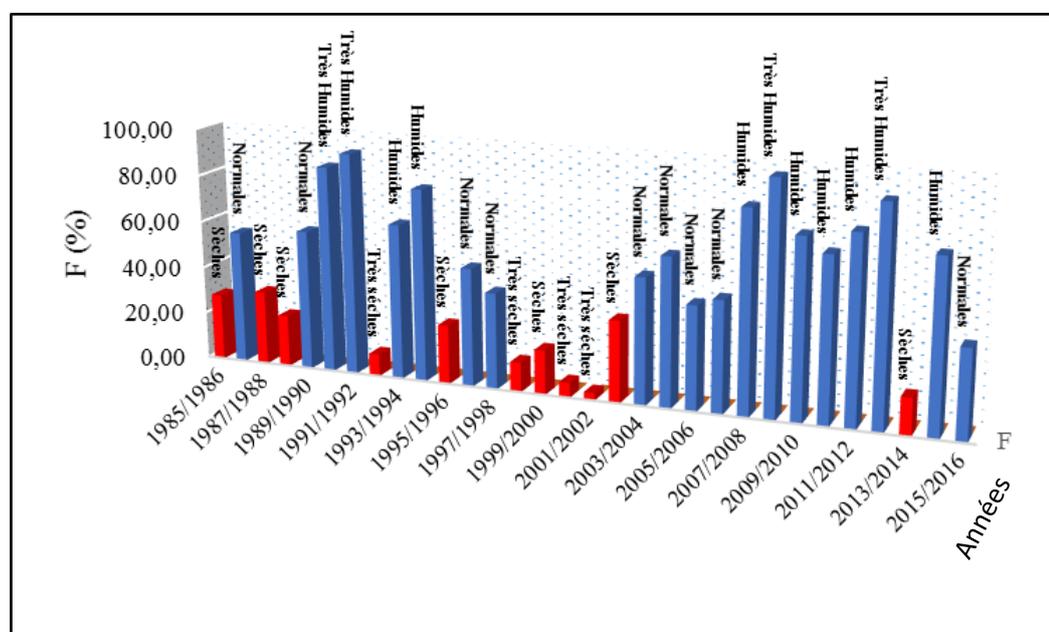


Figure N°42 : Histogramme l'analyse fréquentielle à la série pluviométrique de la station d'Ain Sefra de 1985 à 2015

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION EOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Ainsi nous avons conclu qu'il y a une existence simultanée de deux indices, de deux faits - le SPI et l'analyse fréquentielle. Ceci est illustré dans le tableau 36, où les deux indices ont les mêmes résultats et descripteurs. Cependant l'analyse fréquentielle a des explications plus détaillées et plus particulièrement en ce qui concerne les années normales par rapport à SPI et IM.

Néanmoins, l'analyse fréquentielle ne permet pas de dégager les tendances globales de la pluviométrie au niveau de la station étudiée (Dhaou, 2003).

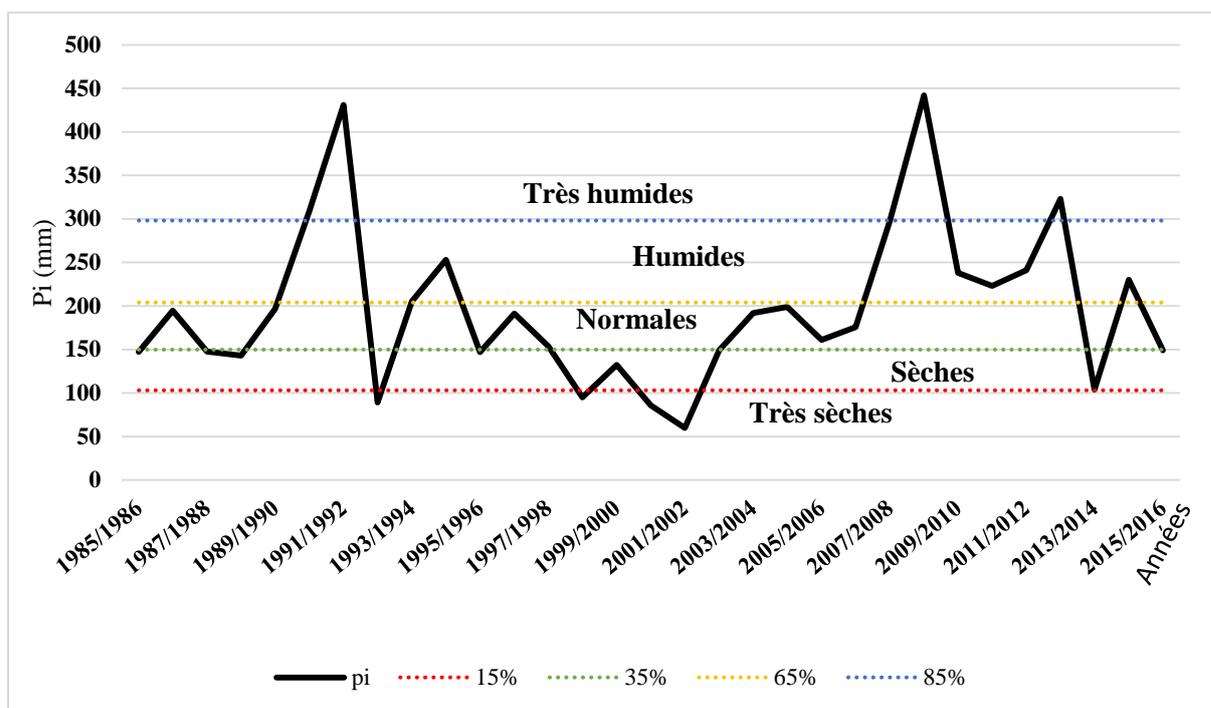


Figure N°43 : Courbe de l'analyse fréquentielle à la série pluviométrique de la station d'Ain Sefra de 1985 à 2015.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Rang	Années	pi	F	Class F	Classe spi
9	1985/1986	147,3	28,13	Sèches	Modérément sec
18	1986/1987	194,8	56,25	Normales	Modérément humide
10	1987/1988	147,6	31,25	Sèches	Modérément sec
7	1988/1989	142,9	21,88	Sèches	Proche de la normale
19	1989/1990	196,8	59,38	Normale	Proche de la normale
28	1990/1991	309,7	87,50	Très Humide	Très humide
30	1991/1992	431	93,75	Très Humide	Proche de la normale
3	1992/1993	89,1	9,38	Très sèches	Proche de la normale
21	1993/1994	205,4	65,63	Humide	Proche de la normale
26	1994/1995	253	81,25	Humide	Proche de la normale
8	1995/1996	147	25,00	Sèches	Proche de la normale
16	1996/1997	191,3	50,00	Normale	Proche de la normale
13	1997/1998	153,6	40,63	Normale	Proche de la normale
4	1998/1999	95	12,50	Très sèches	Modérément sec
6	1999/2000	132,3	18,75	Sèches	Proche de la normale
2	2000/2001	85,9	6,25	Très sèches	Extrêmement Sec
1	2001/2002	60	3,13	Très sèches	Modérément sec
11	2002/2003	149	34,38	Sèches	Proche de la normale
17	2003/2004	192	53,13	Normale	Proche de la normale
20	2004/2005	199	62,50	Normale	Proche de la normale
14	2005/2006	161	43,75	Normale	Proche de la normale
15	2006/2007	175,7	46,88	Normale	Proche de la normale
27	2007/2008	297	84,38	Humide	Très humide
31	2008/2009	442	96,88	Très Humide	Proche de la normale
24	2009/2010	238	75,00	Humide	Proche de la normale
22	2010/2011	223	68,75	Humide	Proche de la normale
25	2011/2012	241	78,13	Humide	Modérément humide
29	2012/2013	323	90,63	Très Humide	Proche de la normale
5	2013/2014	104	15,63	Sèches	Proche de la normale
23	2014/2015	230	71,88	Humide	Proche de la normale
12	2015/2015	149	37,50	Normale	Proche de la normale

Tableau N°36 : L'analyse fréquentielle à la série pluviométrique de la station d'Ain Sefra dans la période 1985-2015 et SPI.(Tab N° A02 Annexe)

1.2.5 Indice du nombre d'écart type :

Il est calculé par la comparaison de la pluie moyenne annuelle (P_m) au nombre d'écart types (σ) dont la formule est la suivante :

$$\sigma = [1/(N-1)]\sum(P_i - P_m)1/2$$

Lorsque P_i est inférieur à $P_m - \sigma$, on parle d'une sécheresse forte. Il s'agit d'une sécheresse très sévère si P_i est inférieur à $P_m - 2\sigma$ (tableau 37).

Type de sécheresse	Critère de comparaison
Modérée	$P_m - \sigma < P_i < P_m$
Forte	$P_m - 2\sigma < P_i < P_m - \sigma$
Très sévère	$P_i < P_m - 2\sigma$

Tableau N°37: Sévérité de la sécheresse (Bergaoui, 2002)

1.2.5.1 Indice du nombre d'écart type à Ain Sefra de 1985 à 2015 :

Nous avons utilisé le critère de comparaison à la moyenne et à la moyenne moins un ou deux écart types comme présenté dans le tableau 22 en annexe, afin de mesurer la sévérité de la sécheresse vécue dans la région d'Ain Sefra. Ainsi, la représentation graphique nous a permis de distinguer, parmi les années déficitaires 51,61 % d'années de sécheresse modérée 6,45 % d'années de sécheresse forte et 41,94 % d'années de sécheresse très sévère (Tab. 38 Fig. 44).

Alors que, la sécheresse frappe dans cette période d'après le critère de comparaison à la moyenne pour 15 années soit 50% si nous prenons l'ensemble le critère de « Très sévère » et de « Forte ».

Nombre d'années	Pourcentage	Critère de comparaison
13	41,94%	Très sévère
16	51,61%	Modérée
2	6,45%	Forte

Tableau N°38 : Variation des pluies annuelles par comparaison à la moyenne et à la moyenne

Moins un ou deux écarts-types de la station d'Ain Sefra :

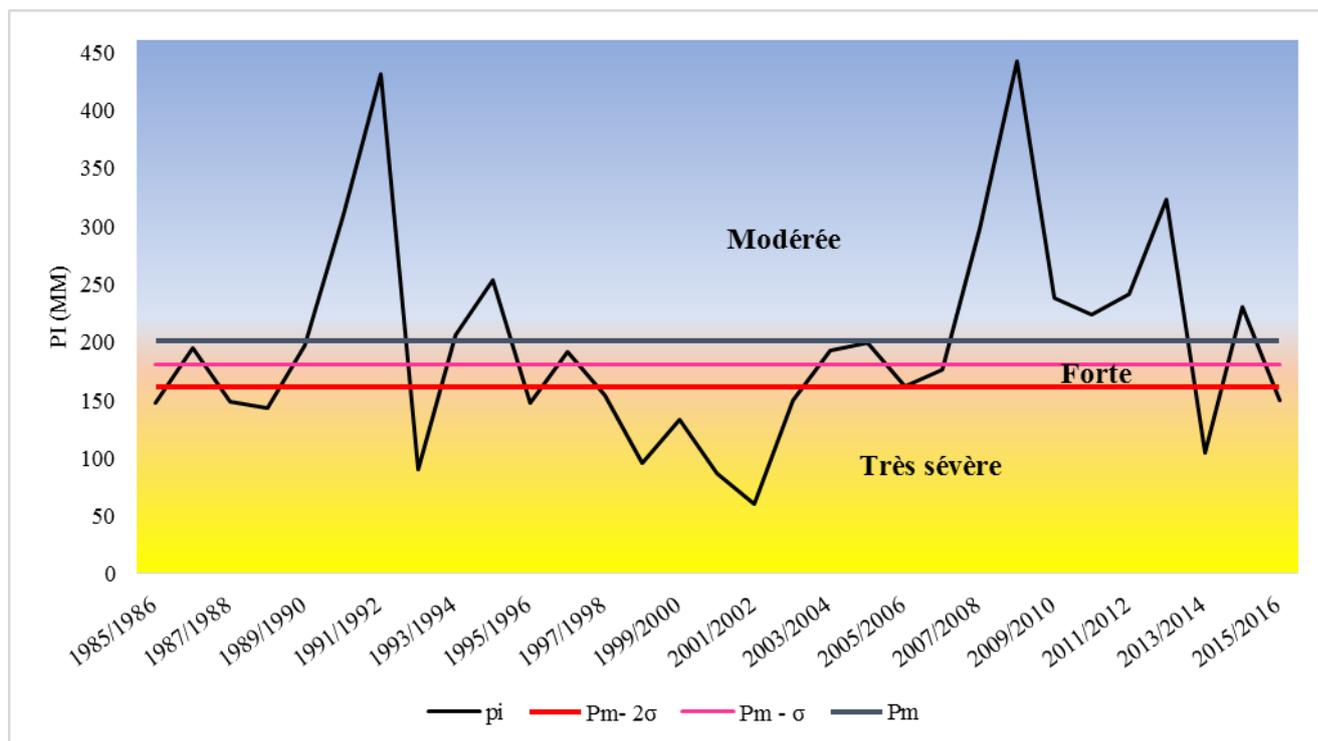


Figure N°44 : Variation des pluies annuelles par comparaison à la moyenne et à la moyenne moins un ou deux écarts-types de la station d'Ain Sefra entre 1985 et 2015.

1.2.6 Persistance de la sécheresse à Ain Sefra de 1985 à 2015 :

La sévérité d'une sécheresse est d'autant plus ressentie si l'année en question suit une ou plusieurs années sèches. Une séquence d'années sèches successives est bien entendu plus grave qu'une sécheresse isolée (Benzarti, 1990).

La sévérité d'une sécheresse est d'autant plus ressentie si l'année en question suit une ou plusieurs années sèches. Une séquence d'années sèches successives est bien entendu plus grave qu'une sécheresse isolée (Benzarti, 1990).

La sécheresse, telle qu'elle est déterminée par l'Indice de l'écart à la moyenne, s'est produite pendant deux périodes de séquence et elle représente 55%, une de 12 années (de 1994/1993-2006/2005) et l'autre de 5 années (1985-1990). Avec des périodes isolées de 3 années.

Suite à l'analyse des années sèches déterminées par la méthode de l'analyse fréquentielle à la station de Ain Sefra, nous avons constaté que il y a 11 années sèches soit 33% ou 4 séquences d'une seule année sèche (année sèche isolée), une séquences de deux années sèches successives (et 1988/1989-1989/1990) et une séquences de cinq années sèches successives (de 1999/2000 à 2003/2004).

Pour l'ensemble de la région, le pourcentage d'une année sèche isolée est entre les 07% et 16%. Les séquences des années sèches (de deux et plus) consécutives sont plus fréquentes et dépassent souvent les 50 %. D'après l'analyse des données pluviométriques de la station d'Ain Sefra qui représente l'exemple le plus représentatif de toute la zone, à travers plusieurs indices de sécheresse, nous pouvons retenir que la sécheresse est un phénomène récurrent (Tab. 39).

		Indice de l'écart à la moyenne	L'indice standardise de précipitation (SPI)	Indice de pluviosité	Analyse fréquentielle	Indice du nombre d'écart type
années sèches	Nombre	20	16	20	11	15
	%	64,52%	51,61%	60,52%	35,48%	50%
années sèches isole	Nombre	3	3	3	4	5
	%	9,68%	9,68%	9,68%	12,90%	16,13%
années séquence	nombre	2(5 années et 12 années)	1(4 années)	2(5 années et 12 années)	2(2+5)	3(6+2)
	%	54,84%	12,90%	54,84%	22,58%	25,81%

Tableau N°39 : Persistance de la sécheresse de la station d'Ain Sefra de 1985 à 2015.

1.3 L'évapotranspiration potentielle (ETP) à Ain Sefra :

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant. La valeur limite de l'ETP est en fonction de l'énergie disponible (J. Margat, 1997).

Les données mensuelles de l'évapotranspiration potentielle (ETP) de la station d'Ain Sefra indique que ETP de la station sont estimées à l'aide de la méthode de Thornthwaite qui donne une valeur moyenne annuelle de l'ordre de 135.03 mm Nous avons constaté que l'ETP est nettement supérieure à la pluviométrie. Elle est de 5 fois à 7 fois supérieure à la valeur de la pluviométrie. A cet effet, la dominance de l'ETP engendre et/ou favorise le processus de la dégradation du sol et plus particulièrement l'ensablement des terres de cultures et les parcours steppiques (Tab. 40).

Les données climatiques de la période ancienne classent Ain Sefra dans l'étage aride inférieur à hiver froid sec et l'été chaud. Donc il y a une accentuation du climat et d'aridité. Cette accentuation du climat est due à la régression du tapis végétal suite à une longue sécheresse qui a frappé la région. Si nous regardons le diagramme Ombrothermique (Fig. 45), nous pouvons constater qu'il existe des alternances de périodes sèches suivi d'une période humide.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION EOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

	T°MOY	i	I	ETP	F(λ)	ETP crg	P moy	P- ETPcrg
Septembre	24.82	11.31	90.76	2.24	1.00	2.24	19.29	17.05
Octobre	18.58	7.30	90.76	3.95	1.12	4.43	19.93	15.50
Novembre	11.04	3.32	90.76	10.92	1.14	12.44	11.53	-0.91
Décembre	7.04	1.68	90.76	26.27	1.21	31.79	9.96	-21.83
Janvier	6.06	1.34	90.76	35.20	1.20	42.24	8.90	-33.34
Février	7.51	1.85	90.76	23.16	1.03	23.85	5.46	-18.39
Mars	14.85	5.20	90.76	6.12	1.06	6.49	7.26	0.77
Avril	17.26	6.53	90.76	4.56	0.95	4.33	10.73	6.40
Mai	21.45	9.07	90.76	2.98	0.92	2.75	11.29	8.54
Juin	27.58	13.27	90.76	1.83	0.85	1.55	4.29	2.74
Juillet	30.26	15.27	90.76	1.52	0.90	1.37	4.93	3.56
Août	29.43	14.64	90.76	1.61	0.96	1.55	13.99	12.44

Tableau N°40 : L'évapotranspiration (ETP) durant 1999 – 2015 à Ain Sefra.

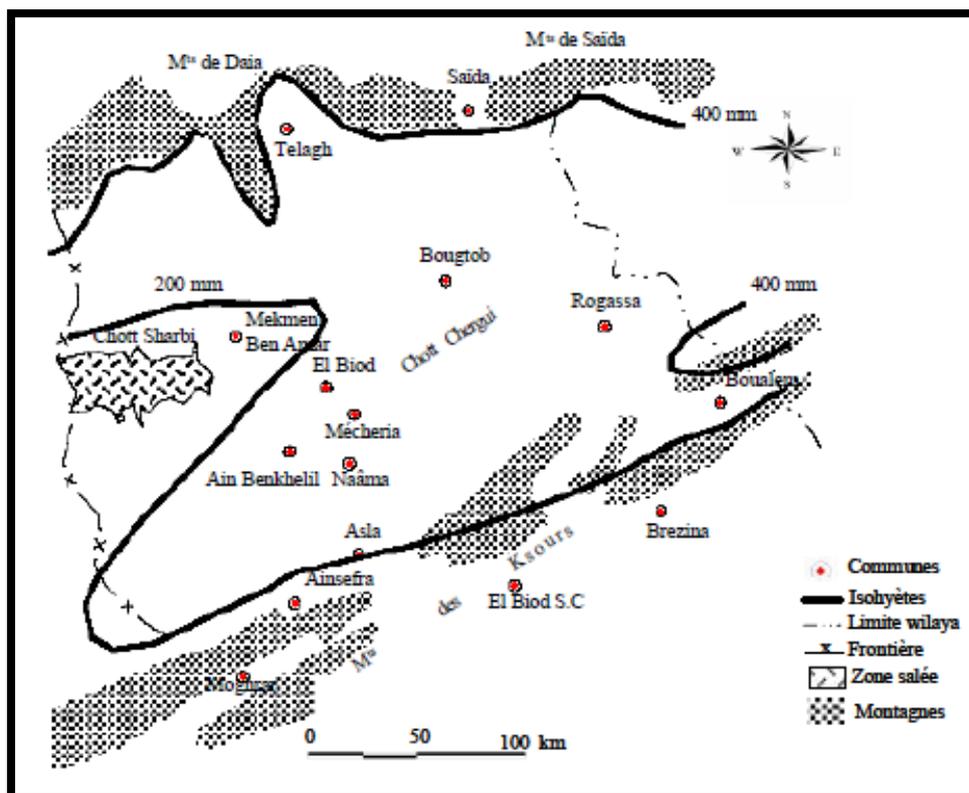


Figure N°45 : Pluviométrie moyenne annuelle dans la haute plaine du Sud Oranais.

Source : Couderc R, 1975

La figure 45 montre évidemment l'influence de la topographie sur le rangement des pluies. Les deux isohyètes sont partiellement rapprochées à l'Ouest et à l'Est, où l'on passe rapidement du Tell à la zone aride. Ces deux isohyètes différents créent une vaste plaine en l'absence des montagnes. Il faut parcourir plus de 200 km pour passer du Tell aux zones arides. À l'intérieur de cette immense plaine, nous avons remarqué des isohyètes intermédiaires qui illustrent l'influence de l'exposition et des grandes surfaces salées : Chott Chergui (12216 km²) au Nord-Est et Chott Rharbi (1317 km²) à l'Ouest. En se dirigeant vers le Sud, nous montons en altitude et les pluies se raréfient. Vu l'épaisseur et la hauteur de la chaîne Tellienne qui sépare la steppe de notre région, l'influence de la mer méditerranéenne est pratiquement absente (Bensaid, 2006).

1.4 Le vent :

Le vent est une masse d'air en mouvement selon une composante horizontale qui s'écoule des hautes vers les basses pressions. A partir d'une vitesse comprise entre 4 et 6 m/s le vent soulève les particules du sol et provoque leur migration. A ce seuil, nous pouvons dire que le vent est efficace. Dans les vastes étendues des milieux désertiques, le vent atteint des vitesses considérables lui permettant d'exercer des actions érosives sur le sol par les mécanismes suivants :

Dessèchement des couches superficielles du sol ; émiettement du sol et arrachement des grains sableux ; corrosion des affleurements et de la végétation et destruction par déchaussement de la végétation.

Sous l'effet d'un vent efficace, les particules du sable sont mis en mobilité par grains ou en masse. Les grains de sable se déplacent individuellement suivant l'un des trois modes de déplacement de grains par : la saltation, la reptation et la suspension. La densité, la granulométrie des grains et la vitesse du vent sont les facteurs qui interviennent dans le classement de ces modes de déplacement. Tous obstacles, toute proéminence, toute excavation, toute surface rugueuse et toute pente peuvent selon leur efficacité diminuer la vitesse du vent et provoquer l'atterrissement à leur niveau du sable déplacé. Les principaux obstacles responsables de l'ensablement se distinguent en 3 classes : les obstacles naturels topographiques, les obstacles mécaniques et les obstacles vivants. Nous sommes intéressés surtout aux effets des vents sur les déplacements sableux et le modelé dunaire de la région : il s'agit de distinguer « régime des vents » et « le déplacement potentiel des sables ». Les données anémométriques ont été recueillies à la station d'Ain Sefra selon 16 directions et 8 relevés des observations par jour pendant 8 ans consécutifs, de 1985 à 2015. On a traité ces données pour l'estimation du rôle du vent sur le phénomène de l'ensablement.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

En Conclusion, L'aridité, dans une région donnée, est la conséquence normale des conditions météorologiques. Il arrive aussi que l'aridité qui se manifeste dans une région, soit le résultat d'une catastrophe écologique. La carte effectuée par Couderc R., (1975) (Fig. 45) illustre que notre zone est bien encadrée entre l'isohyète 200 et 400 mm. Les deux isohyètes suivent les directions des montagnes. L'isohyète 400 se trouve au Nord de la région, son tracé suit bien les lignes des Monts de Tlemcen, des Monts de Daya et les Monts de Saïda. Quant à l'isohyète 200 il est au Sud et Sud-Ouest en suivant les Monts de Ksour ainsi que les Monts (Djebel Hafid, Djebel Guetoub El Hamara, Djebel Bou Amoud, Djebel Bet Aroug et Djebel Kerrouch) du Sud-Ouest.

L'aridité se manifeste surtout par ses conséquences : extrême dénuement de la végétation, raréfaction et adaptation des êtres vivants ; faiblesse et irrégularité extrême des écoulements, dégradation fonctionnelle des réseaux hydrographiques ; processus d'érosion et d'accumulation spécifiques, pauvreté des sols.

La situation est alarmante malgré l'aide de l'État. Il est important de noter que cette situation est très grave quand deux ou trois années sèches se suivent. Lors de la sécheresse de 1970 à 1971 plus de 360 000 quintaux d'orge et de fourrages ont été vendus, à perte aux agropasteurs et aux éleveurs, par l'état afin d'éviter le drame et la décimation totale du cheptel (Couderc R., 1975). La définition de la sécheresse a un lien direct avec les différentes disciplines scientifiques. A cet effet, on parle de sécheresse météorologique lorsque les pluies sont inférieures à la moyenne durant une année ou plusieurs années successives (Mainguet M., 1995).

D'après l'analyse des données pluviométriques de la station d'Ain Sefra, qui représente l'exemple le plus représentatif de toute la zone, à travers plusieurs indices de sécheresse, nous avons retenu que la sécheresse est un phénomène récurrent. Par ailleurs la méthode des écarts à la moyenne donne un pourcentage plus de 64% d'années sèches, alors que l'analyse fréquentielle atténue le sens de la sécheresse et réduit le pourcentage à 35 %. En outre, la fréquence d'apparition d'années successives sèches est relativement élevée : 51,6 % d'années sèches sont formées de deux ou trois années consécutives.

En outre, au cours de cette dernière décennie et plus particulièrement durant la fin de la décennie écoulée et le début de ce siècle (1999-2002), nous avons enregistré des déficits très marqués allant jusqu'à 150 mm (95%) à Ain Sefra. Ceux-ci ont eu des répercussions négatives sur le développement et la croissance des végétations.

Selon (Despois J., 1955) la sécheresse est un grand fléau d'un pays, le plus fréquent et le plus redouté. Nous ne pouvons pas prononcer ou dire qu'il y a une sécheresse suite seulement à l'insuffisance des pluies totales, mais surtout il faut prendre en compte leur répartition dans

l'année, sans oublier les vents chauds et secs (sirocos). Dans cette zone la pluie durant la période Automne et Hiver est primordiale.

2. Les affleurements et lithologie géologiques :

Près de 50% des surfaces désertiques sont des plaines où la déflation éolienne - l'élimination des matériaux à grain fin par le vent - a exposé des graviers lâches constitués principalement de cailloux mais avec des cailloux occasionnels.

Le sable est tout grain ou fragment de roche susceptible d'être transporté ou mis en mouvement par le vent ou l'eau. Cette mobilisation se produit généralement à partir d'une vitesse du vent comprise entre 4 et 6 m/s. Selon leur granulométrie, les grains de sable sont fins ou grossiers. La lithologie de la roche mère donne aux grains des densités et des teintes différentes. La forme des grains ronds est due aux frottements qu'ils ont subis le long de leur trajectoire de migration (FAO). Chaque dune est composée de sable provenant d'une ou plusieurs origines désignées en fonction de leur éloignement par des appellations propres. Nous avons distingué trois principales origines du sable formant les dunes, à savoir :

Origine autochtone : Un sable est d'origine autochtone s'il est issu de sources situées à l'intérieur de la région où l'ensablement est constaté.

Au dedans de cette même origine, l'origine locale représente tout ensablement déclenché par le sable issu d'un endroit dont fait partie l'objet ensablé.

Origine allochtone : Un sable est considéré d'origine allochtone, s'il est issu de sources localisées à l'extérieur de la région où l'ensablement est constaté.

Origine auto-allochtone : Un ensablement est dit de cette origine si le sable qui le compose résulte des deux origines précitées. Nous pouvons dire aussi que cet ensablement est d'origine mixte.

Par ailleurs, nous appelons source de sable tout emplacement qui produit ou contient des quantités de sable capables de former ou d'alimenter un ensablement. Suivant leur importance, ces sources sont soit de transition (cas d'ensablement par dune en déplacement), soit d'approvisionnement, assurant à l'origine la formation et l'alimentation des dunes.

Pour comprendre les mécanismes et les processus de l'ensablement, il est exigé de connaître tout d'abord les origines du sable qui l'engendre. Ce premier diagnostic se base sur l'analyse des quatre indices déterminants :

Orientation générale des vents efficace : La détermination des directions des vents efficaces et son fréquences indique les directions suivant lesquelles le sable s'est déplacé. L'emplacement des sources d'alimentation sur les trajectoires des vents renseigne sur la nature et l'origine du sable transporté.

Granulométrie et la forme des grains : les grains de sables grossière et les grains « Non-Usés » sont caractérisés par leur forme anguleuse qui ne présentent aucune trace de polissage ni d'arrondissement. Leur aspect de surface peut être indifféremment mat ou luisant. Ces grains caractérisent les arènes, les transports dans des cours d'eau douce sur de très faibles distances, les dépôts glaciaires, et ils confirment une origine autochtone. Les grains fins ou les grains « émoussés-luisants » présentent une dominance d'arêtes arrondies et peuvent parfois acquérir la forme de sphères presque parfaites. Leur aspect de surface est toujours très poli, brillant, luisant sous l'éclairage de la loupe binoculaire. Ils sont caractéristiques par de longs transports et peuvent être d'une origine allochtone.

Mécanismes de l'érosion : Dans les processus d'érosion, nous avons noté trois phases distinctes : destruction du matériel rocheux (ablation du matériel), transport, accumulation des débris (dépôt du sédiment). L'existence locale de traces d'érosion témoigne d'une autochtonie. Leur manque indique une origine allochtone. Les indices ci hauts présentés constituent des éléments pratiques indispensables pour identifier un ensablement donné.

2.1 Sources mères de sable - lithologie et structure :

Les surfaces restantes des terres arides sont composées d'affleurements rocheux exposés, de sols déserts et de dépôts fluviaux comprenant des ventilateurs alluviaux, des payas, des lacs désertiques et des oasis. Les affleurements rocailloux se rencontrent généralement comme de petites montagnes entourées de vastes plaines érosives.

La décomposition granulaire et la friabilité de certaines roches sous les effets physico-chimiques du climat, particulièrement le vent et les pluies, donnent naissance aux particules sableuses. Les montagnes, les regs et hamadas sont de véritables sources mères inépuisables de matériel sableux. Les sources pourvoyeuses de sable sont des milieux naturels dont les structures contiennent le sable à l'état façonné. Parmi ces sources très nombreuses, les principales sont : les terrasses à matrices constituées d'éléments fins, les dépôts alluvionnaires et colluvionnaires et les ergs et autres accumulations dunaires.

Ces sources constituent des dépôts de stockage et d'approvisionnement importants en matériel sableux. Les sols des milieux désertiques sont squelettiques et sont généralement constitués de roches mères friables et facilement érodables par le vent ou l'eau.

La région d'étude est caractérisée par des affleurements géologiques (lithologiques) et pédologiques (la nature des sols) qui représentent les causes de la production du sable autochtone, tout comme les dépôts de sable de la grande dune de Mekther et de Magroune qui sont considérés comme des aires source.

D'après la figure 46, la raison pour laquelle les statistiques relatives à l'occupation de l'espace par les accumulations sableuses paraissent sous estimées, est dû au fait de l'utilisation d'un référentiel à deux dimensions qui ne permet pas de saisir la notion de volume. A titre d'exemple, nous pouvons citer le cas des dunes d'Ain Sefra et de Magroune.

La région possède une alternance de marnes rouges et de calcaires très riches en ammonites d'Ain Ouarka avec d'argiles gypso salines. La formation de Djebel Kerdacha, d'une épaisseur de 160m est représentée par des calcaires argileux avec intercalations de marnes 40 mètres. En Djebel Chemerikh, près d'Ain Ourka il y a une alternance d'argiles vertes et de grés siliceux et ferrugineux et une alternance d'argiles et de grés quartzitiques (50 m) aussi d'une alternance de marnes vertes et de grés Siliceux (264 m).

Au-dessus de la série de Teniet El Klakh, des grés, d'argiles rouge silteuses au Djebel Saïga, Djebel Boulerhfad et Mir El Djebel. Au Djebel Kedarcha il existe une alternance de grés et d'argiles. La formation d'Aissa montre à sa partie inférieure une alternance d'argiles silteuses rouges et de grandes barres gréseuse blanchâtres. D'autre part, la formation de Tiloula est représentée par une série de marnes, d'argiles et des barres gréseuses. Dans les formations de la Tiout, nous pouvons rencontrer des "grés à draguées" qui ont à la base une grosse barre de grés massifs et surmontée d'une formation argileuse.

En ce qui concerne les alluvions, l'ensemble des affleurements du bassin de Tirkounte sont Marno-gypseuse tels que Djebel Khoundjais et Djebel M'Daouer et des couches rouges argilo-gréseuses pour Djebel Bou Amoud, Djebel Gharbi. Des conglomérats tels que la plaine des Tiout, Djebel Khoundjaia présentent des limons anciens - limons fins et de conglomérat. Les colluvions de piedmonts ont des alluvions anciennes. Ce sont des formations argilo sableuses et conglomératiques avec parfois des lentilles de grés tendres.

En outre, l'existence des formations éoliennes revêtant des morphologies variées en fonction de l'importance du matériau et elles se rencontrent en général dans les zones d'épandage, dans les zones parcourues par les oueds et à la sortie de couloirs orographiques. Les formes les plus caractéristiques sont les suivantes : les voiles sableux, les nebkas, les formations dunaires.

En effet, en terme d'occupation de l'espace, la dune de Magroune occupe près de 16.000 hectares alors que celle de Ain Sefra ne dépasse guère les 4100 hectares. En revanche le stock de matériau constituant l'accumulation de Ain Sefra est de loin le plus important.

Le passage du matériau d'un état consolidé à un stade désagrégé implique indéniablement un stockage de sable dans certaines parties de l'espace géographique d'un territoire à proximité de celui-ci ou dans des zones assez éloignées comme le cas des ergs (Grand Erg Oriental et Occidental).

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION EOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

L'étude de granulométrie de plusieurs échantillons de sable dans la région et la morphoscopie affirment que les grains des sable de notre zone sont de type fins d'une taille comprise entre 0.18 et 0.25 mm La forme des grains- émoussée-luisante présentent une dominance d'arêtes arrondies et peuvent parfois acquérir la forme de sphères presque parfaites. Leur aspect de surface est toujours très poli, brillant, luisant sous l'éclairage de la loupe binoculaire (Fig. 46). Ils sont caractéristiques par de longs transports qui peuvent être dues à une origine allochtone, avec une probabilité très élevée.

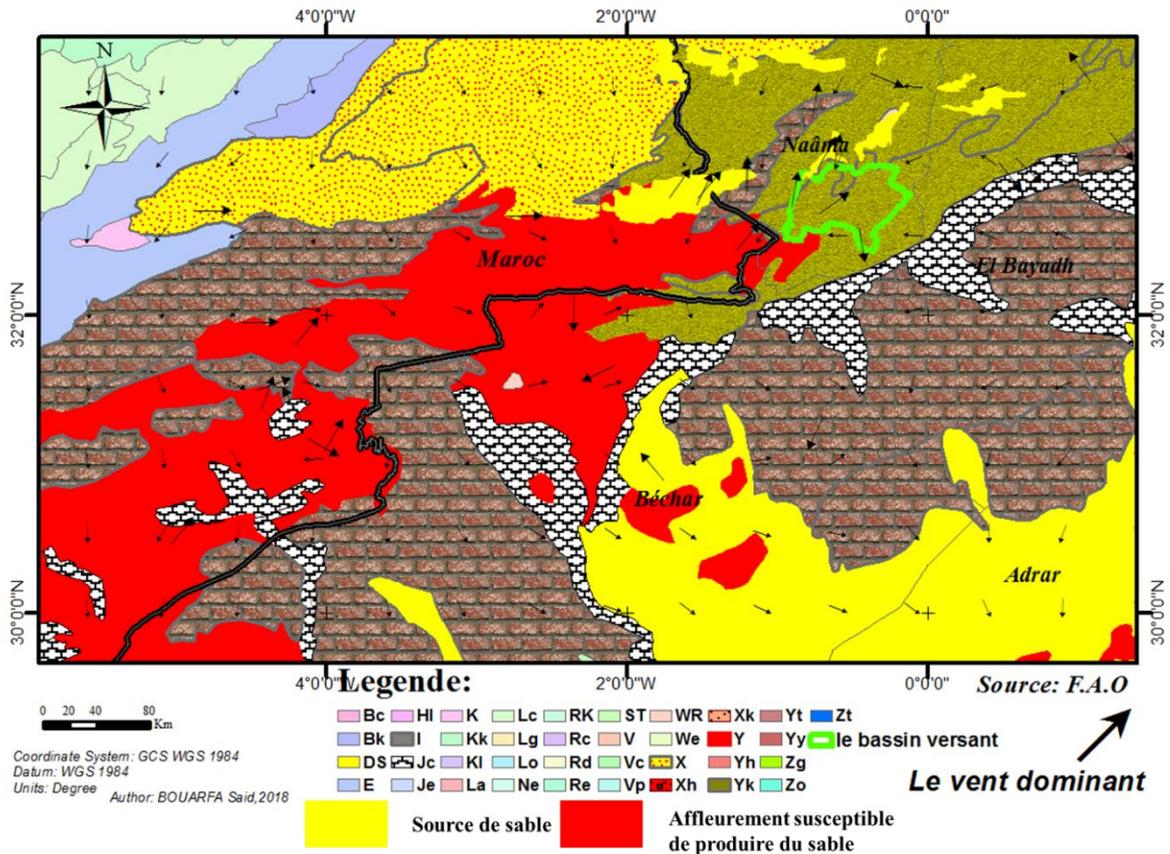


Figure N°46 : les affleurements et des aires sources pourvoyeuses de sable allochtone et le type des sols selon la classification mondiale de FAO, 1964.

(Légende complète : Figure A01 annexe)

D'autre part, nous pouvons compter à l'extérieur de la région des affleurements et des aires sources pourvoyeuses de sable allochtone qui sont comme suit (Fig. 46) : Les Chotts et Gharbi et El Chergui, Sabkhet de Naâma, l'Atlas Saharien, Oued Namous, Oued El Gharbi, le sud de la wilaya d'El Bayadh et Erg Gharbi. D'autres réservoirs pourvoyeurs les sables recelant d'importantes quantités de sable sont localisés sur le territoire marocain comme Chott Tigri, Oued Maader, le couloir entre Figuig, Bouarfa et Massa Daraa.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

L'interprétation des images satellitaires Landsat et le recueil des observations de terrain affirmer sans hésitation que le Chott El Gharbi constitue une source d'alimentation certaine en matériau (sable) du Chott EChergui.

Le Chott El Gharbi à lui seul une superficie de plus de 140000 ha, et une part importante de son approvisionnement provient exclusivement du territoire marocain. L'ensemble du couloir de transit reliant les deux Chotts (El Gharbi et EChergui) est recouvert par un voile sableux d'une largeur d'une trentaine de kilomètres qui nous renseigne de manière très explicite sur le passage emprunté par le sable lors de son transfert du Sud-Ouest (Chott El Gharbi) vers le Nord-Est (Chott EChergui).

Localisation des Aires Sources	Surface (hectare)	Distance au Bassin versant de l'Oued Ain Sefra
Chott El Gharbi- Mekemen Ben Amar	45582	85 km
Sud Chott El Gharbi- EL Kisder	54739	104 km
Zone Naâma	41550	50 km
Oued Namous-Gharbi	23846	25 km
Dune Magroune	21842	30 km
Maroc Chott Tigri -Maroc	195970	50 km
Chott El Gharbi - Maroc -	42557	126 km
Chott EChergui –	49060	120 km
Dune Mecheria	3979	90 km
EL-Bayadh - Tousmoline	40947	87 km
EL-Bayadh Est	15135	80

Tableau N°41 : Répartition des aires source de sables par apport au bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

D'après la figure 46, nous pouvons citer les types du sol et les affleurements susceptibles à produire le sable soit d'origine autochtone ou allochtone. Cela est dû à la distance calculée par apport à la zone. Tout d'abord nous pouvons remarquer une grande surface du sol de type calcaire dolomitique et quaternaire avec des dépôts alluviaux, situé au Maroc Oriental avec une surface de 2405132.8 hectares. Nous pouvons constater une autre surface de 1271551hectares au Nord du bassin versant de l'Oued Ain Sefra à Makman Ben Amer et EL-Kasder, et même au Sud de la wilaya de Tlemcen telle que de Bouihi jusqu'El Aricha. Egalement, une surface au Marco à Tindrara a une surface de

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

2222047.2 hectares de crétacé (flysch) néogène avec une marne et dépôt sableux, quaternaire avec dépôts alluviaux (Tab. 41).

Autres formations qui sont les sols ayant un horizon H très accidenté et un régime d'humidité aridique et dépourvus de pergélisol à moins de 200 cm de la surface. Particulièrement, nous avons le calcique ayant un horizon calcique à moins de 125 cm de la surface. La lithologie de ces affleurements est le néogène avec une marne argileuse, localement jurassique et crétacé de calcaire, et quaternaire avec dépôts alluviaux et lacustres. Sa superficie est de 2437295.3463 hectares. Cette formation compare notre zone avec les zones limitrophes : Chott El Gharbi, qui est localisé au Nord de la wilaya, a un environ de superficie de 11757 hectares envasé par les accumulations sableuses, ce qui représente une surface importante attribuée à ce phénomène.

Cette espace est prolongé en direction de l'Est/ Nord-Est par la zone comprise entre le Chott El Gharbi et le Djebel Antar et inclue la partie de Mekmen Ben Amar, dont la superficie occupée par ce phénomène (accumulations sableuses) s'élève à près de 20613 hectares. Une partie de Chotte Chergui et une autre de Figuig ont 563481677,81 hectares et possède également une partie de Chott Tigri.

Ainsi que le synclinal de Naâma et son allongement naturel est défini comme étant la part de territoire conçue entre le premier chaînon de l'Atlas Saharien et les reliefs délimitant le synclinal de Naâma (Djebel Malah – Aissa et Mekther) et son prolongement jusqu'aux environs de Sfisifa. La dynamique éolienne dans ces zone est factuelle, elle apparaît comme un courant éolien Ouest-Nord-Ouest/Est-Nord-Est chargé d'éléments fins en provenance des régions occidentales et tout essentiellement du Maroc où se localise actuellement un gisement de plus de 60.000 hectares de sable mobilisable qui alimente actuellement la zone de Gaaloul et le cordon dunaire de Magroune à travers la percée orographique située entre Fourthassa El Rharbia et Gaaloul. Un second au Nord dans ce chaînon Sud Atlasique est mis à profit par ce même courant éolien pour alimenter la limite septentrionale d'Ain Ben Khalil et saupoudrer la partie de territoire comprise entre Ain Ben Khalil et le Djebel Antar. Autre courant éolien ayant une direction Sud-Sud-Ouest-Nord-Nord-Est traverse la partie sud de la wilaya de Naama en empruntant les couloirs orographiques de la chaîne Sud Atlasique lui donnant ainsi une dynamique différente de celle de la première cité. Au-delà de la latitude de Sfisifa, le paysage morphologique s'ouvre sur un environnement à topographie monotone entraînant une sensible réduction de la vitesse des courants éoliens impliquant de ce fait des pertes de charges qui se traduisent dans le paysage par des accumulations sableuses. Les grains fin transportent par les courants éoliens à travers la chaîne Sud Atlasique vient alimenter la dune de Magroune, les accumulations sableuses ceinturant la petite agglomération de Ain Ben Khalil, ainsi que l'ensemble des terrains compris entre Ain Ben Khalil et la ville de Naâma.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Comme il est évident d'après la carte, une formation lithologique de roches métamorphiques avec intrusions de granite, calcaire, partiellement recouvertes, d'origine quaternaire avec sédiments lacustres et alluviaux à partir de Bechar a une superficie de 4917634.09 ha à l'addition dès l'affleurement de Figuig avec 13729740952,3 hectares et Lahmidat 6993885.58 hectares qui ont une lithologie de jurassique : calcaire, dolomie, marne et grès, d'origine quaternaire avec des dépôts alluviaux.

Les affleurements lithologiques (lithosols i) qui sont limités en profondeur par une roche continue cohérente et dure à moins de 10 cm de la surface sont de calcaire, marne et grès ; dévonien et carbonifère : grès, schiste argileux et calcaire. Pour un type cambro-ordovicien : grès, marne et marne argileuse et silurien : schiste argileux, nous pouvons noter de très vastes surfaces principalement des Hamada ou Reg, qui se trouvent à Rachidia vers le Sud du Maroc avec 1800519.4962 hectares, les affleurements des Monts des Ksour avec 147532.3 hectares sont de type jurassique : calcaire et dolomie et la zone entre l'Erg occidental et l'Atlas Saharien d'une superficie de plus 553953.6 hectares.

Des formations de néogène et quaternaire avec sédiments calcaires faiblement consolidés, nous pouvons trouver aussi à Rachidia (Maroc) formation de jurassique : calcaire, dolomie et granite. Paléozoïque : schiste et Quartzite, dans les Monts des Ksour Jurassique : calcaire et dolomie, Hamada de reg le Néogène et Quaternaire : sédiments calcaires faiblement consolidés et Hamada entre Béchar –Maroc a un affleurement de Villafranchien : calcaire, marne calcaire, grès, travertin avec crétacé supérieur : calcaire.

Les sols du Chotte chargés sont Sali (Solonchack (z)). D'autres sols ayant une salinité élevée et n'ayant pas d'horizons de diagnostic autres que (à moins d'être enterrés par 50 cm ou plus de nouveaux matériaux), un horizon A, un horizon H, un horizon B cambic, un horizon calcique ou un horizon gypsique, Solonchack présentant des propriétés hydromorphes à moins de 50 cm de la surface, a une lithologie Néogène: marne argileuse. Quaternaire : dépôts alluviaux et lacustres avec une superficie de 363261 hectares.

La région de Rogassa a une formation de marne argileuse et des dépôts alluviaux avec une superficie de 660547.8 hectares.

L'Ergs occidentales est déjà des sables, nommés les podzoluvisols (d) qui sont des sols avec un horizon B argileux montrant une limite supérieure irrégulière.

Nous pouvons noter aussi que l'orientation des résultantes des vents efficaces qui sont déjà calculé d'après plusieurs auteurs en Algérie et en Maroc (Fig. 46), ont une direction générale orientée vers la région. En même temps ils tracent des formations qui alimentent directement les vents par les particules des sables qui les transportent et les déposent ailleurs.

2.1.1 Sources pourvoyeuses de sable :

Ce sont des milieux naturels dont les structures contiennent le sable à l'état façonné. Parmi ces sources très nombreuses les principales sont : Les terrasses à matrices constituées d'éléments fins ; Les dépôts alluvionnaires et colluvionnaires ; Les ergs et autres accumulations dunaires.

Ces sources constituent des dépôts de stockage et d'approvisionnement importants en matériel sableux.

Les sols des milieux désertiques sont squelettiques et sont généralement constitués de roches mères friables et facilement érodables par le vent ou l'eau.

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra est caractérisée par des affleurements géologiques qui ont causés la production du sable autochtone et des dépôts de sable comme par exemple, la grande dune de Mekther et de Magroune.

Nous citons aussi une alternance de marnes rouges et de calcaires très riches en ammonites d'Ain Ouarka avec d'argiles gypso salines. La formation de Djebel Kerdacha d'une épaisseur de 160 mètres est représentée par des calcaires argileux avec intercalations de marnes de 40 mètres.

Ainsi que, dans le Djebel Chemerikh, près d'Ain Ourka nous avons des dolomies ocre à cassures blanchâtres (5.5m) et d'une alternance d'argiles vertes et de grés siliceux et ferrugineux avec une alternance d'argiles et de grés quartzitiques (50m).

Une alternance de marnes vertes, de grés Siliceux (264m). Nous rencontrons aussi au-dessus de la série de Teniet El Klakh, avec des grés, d'argiles rouges silteuses au Djebel Saïga, Boulerhfad et Mir El Djebel. Au Djebel Kedarcha, nous avons une alternance de grés et d'argiles.

La formation d'Aissa montre à sa partie inférieure une alternance d'argiles silteuses rouges et de grandes barres gréseuse blanchâtres. De l'autre coté la formation de Tiloula est représentée par une série de marnes, d'argiles, et des barres gréseuses. La formation de la Tiout ou "grés à draguées" montre à la base une grosse barre de grés massifs et surmontée d'une formation argileuse. Les alluvions font partie de l'ensemble des affleurements du bassin de Tirkounte. Les Marno-gypseuse : Djebel Khoundjais et Djebel M'Daouer. Il existe des couches rouges argilo-gréseuses (Djebel Bou Amoud, Djebel Gharbi). Des conglomérats (plaine des Tiout, Djebel Khoundjaia) : Les limons anciens : limons fins et de conglomérat. Les colluvions de piedmonts. Les alluvions anciennes : ce sont des formations argilo sableuses et conglomératiques avec parfois des lentilles de grés tendres.

Partant de ce fait, nous pouvons dénombrer à l'intérieur des limites de la région des aires sources pourvoyeuses de sable allochtone qui sont comme suit : Les Chotts et Gharbi et El Chergui, Sabkhet En Naâma, L'Atlas Saharien, Oueds En Namous, Oued El Gharbi. D'autres réservoirs

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSÉDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

pourvoyeurs des sables recelant d'importantes quantités de sable sont localisés sur le territoire marocain.

Finalement, nous pouvons aussi citer les grands ensembles dunaires du type de Mekther, Magroune, Bou Amoud et de Djeniene qui alimentent directement les vents.

3. Le facteur morphologique :

Le paysage est fait de formes et des formations montagneuses dénudées et fortement érodées, entrecoupées de vastes étendues constituées de regs et de plaines d'épandage fluvial. « Les dépressions hydro-éoliennes fonctionnent en tant qu'aires de déflation éolienne mais aussi aire de transit et de transport de sables. » (Benazzouz, 1994)

L'intervention de la morphologie est importante lorsqu'elle dirige le sens du vent dominant et le distribue en deux couloirs principaux, l'un entre Djebel Morghad et Aissa et l'autre entre Djebel Aissa et Mekther. Quand les vents soufflent entre les massifs montagneux, ils changent brusquement de directions à cause de l'action violente du vent sur le djebel (l'effet d'écho) qui provoque une diminution de sa vitesse. C'est ainsi que la morphologie offre des endroits où le vent impose son action, surtout au pied des djebels (Fig. 47).

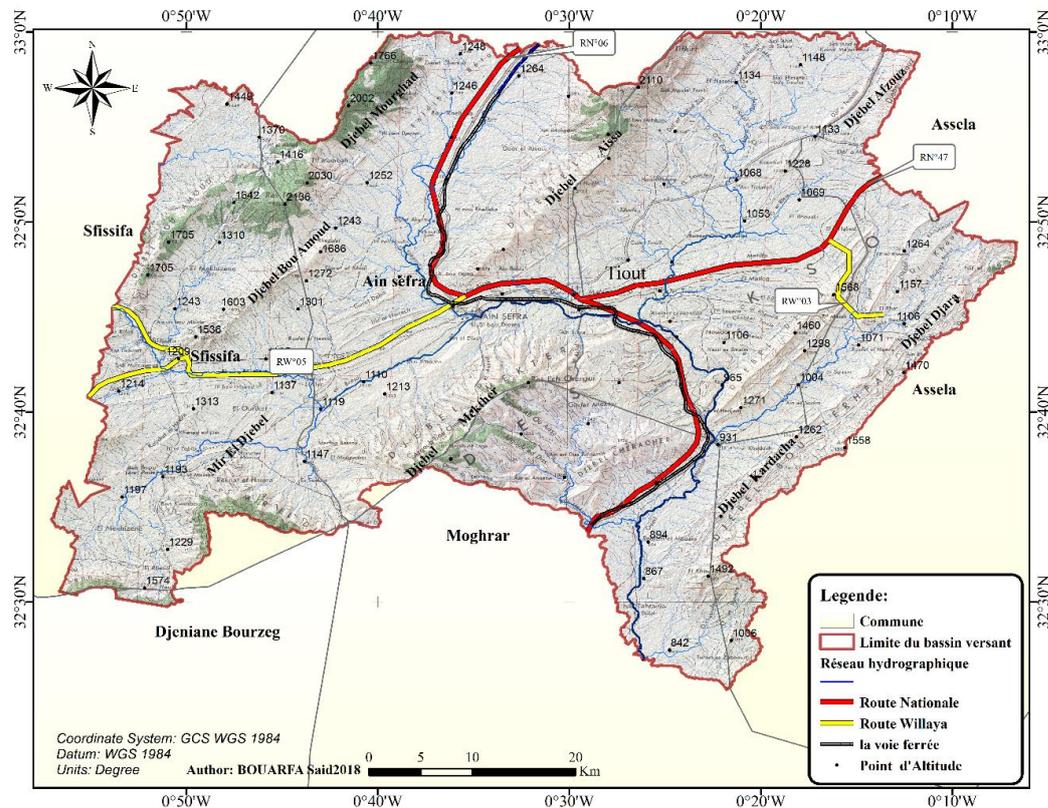


Figure N°47 : La morphologie du bassin versant de l'Oued Ain Sefra 1/100000.

4. La formation végétale :

Ces conditions difficiles décrites ci-dessus ne permettent pas le développement d'une végétation riche et variée. L'essentiel de cette végétation se concentre le long des cours d'eaux et chenaux. En dehors de ces milieux, la végétation discontinue, de type steppique ne permet pas une protection du sol contre l'érosion éolienne.

Le tapis végétal que nous rencontrons dans les Monts des Ksour est caractéristique des régions semi-désertiques. C'est une zone de transition entre la végétation saharienne et la végétation steppique, constituée surtout d'armoïse et d'alfa. Dans la région d'Ain Sefra, elle est remplacée par le Remet (Haloylon). En altitude il arrive que l'on rencontre des arbres tels que des pins d'Alep, isolés ou des groupes en bouquets.

5. Le réseau hydrographie endoréique :

Le réseau hydrographique permet de distinguer au niveau du bassin versant, deux zones :

L'une au Nord avec un écoulement diffus, très peu développée, alimentant les sebkhas et les dayats, l'autre au Sud, avec un écoulement général assez dense, orienté vers le grand Erg occidentale et traversant entièrement l'Atlas Saharien. « Cette ancienneté des actions éoliennes a permis le creusement de vastes dépressions fermées d'origine hydro éolienne formées par altération de la roche par l'eau, puis exportation par le vent du matériel fragmenté. Depuis le Plio-Pléistocène. » (Yann Callot, 1985). « L'existence de cette vallée assure une certaine «perméabilité» de l'obstacle Orographique par le biais de seuils topographiques fonctionnels. La concentration de différentes accumulations éoliennes de part et d'autre de la chaîne mais aussi au sein de la chaîne définit ici une zone de passage des sables » (Benazzouz, 1994)

6. Le comportement de l'homme :

Depuis longtemps la nature souffre de la nuisibilité de l'homme et ses besoins des matières premières et la mauvaise utilisation des ressources naturelles (exploitation maximale et irrationnelle) sur lesquelles s'exerce une activité humaine à travers le pastoralisme et qui s'avère de plus en plus intense, provoquant la dégradation du couvert végétal des sols supports.

Les besoins des populations locales en énergie de chauffage et en pâturage ainsi que l'extension des cultures itinérantes sont les principales activités humaines mises en cause dans le déséquilibre des écosystèmes de ce milieu et par voie de conséquence du déclenchement du phénomène en l'ensablement.

La zone d'Ain Sefra a souffert de l'exploitation excessive de ses richesses naturelles (alfa, forêts, etc.). Pendant l'occupation française, les autochtones pratiquaient la déforestation (les butomes, les ballotes) pour l'utilisation de bois de chauffage et de construction. Par ailleurs, durant la

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

révolution, l'armée française brûlait la couverture végétale montagneuse à l'aide de produits destructifs comme au Djebel Aissa et Djebel Mzi, résultat d'une dénudation et une dégradation de la couverture végétale. Néanmoins, après la période coloniale jusqu'à maintenant l'exploitation excessive, le labourage anarchique, le surpâturage et le nombre élevé des puits abaissent le niveau piézométrique et ils diminuent l'humidité du sol. Ainsi l'élevage demeure la principale activité économique de la région (Tab. 42), avec une prédominance de l'ovin, qui, malgré tout, a subi une diminution drastique depuis 1990, alors que les autres espaces (bovins, caprins et camelins) étaient en nette augmentation jusqu'en 1996, date de la régression totale de tous les cheptels. En effet, dans les années 90, parallèlement à cette régression des ovins, l'effectif du cheptel bovin a augmenté d'une manière significative et il a continué d'accroître de façon considérable depuis 1991. Cette augmentation est rapide, de 8 940 têtes en 1990 à 21 300 en 1991.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra subit en de nombreuses localités des importants problèmes d'ensablement. Ces derniers qui résultent de la sévérité des conditions climatiques et de l'utilisation non rationnelle des ressources naturelles constituent le phénomène le plus spectaculaire de la désertification.

Ce phénomène très complexe est intrinsèquement lié à des facteurs extra-zonaux tant sur le plan climatique que sur le plan des processus régionaux de transport éolien de sable entre zones sources et zones de dépôts. La compréhension du phénomène a demandé de nombreuses années de recherche.

Il est donc évident que l'explication ne se limite pas uniquement aux seuls facteurs locaux et que l'appel à des travaux de recherche effectués sur des régions analogues est indispensables. L'analyse du phénomène sera pour une compréhension et explication, des moyens de lutte appropriés seront proposés pour atténuer voire supprimer dans des conditions de faisabilité réalistes les effets préjudiciables à l'environnement naturel et aux établissements humains.

Le choix de sites d'implantation des anciennes agglomérations n'a pas été effectué fortuitement, mais bien au contraire il a été réalisé sur la base de connaissances empiriques et pragmatiques déjà acquises en termes de dynamique éolienne (direction et sens du vent, couloir de transit des éléments sableux, disponibilité hydraulique). De position d'abri par rapport aux vents dominants, de communication par rapport aux différents établissements humains de la région, de ruissellement (évitement des cours d'eau dont la matérialisation spatiale dans le domaine steppique et saharien n'est pas très évident), etc.

Les anciennes agglomérations, telles que Aïn Sefra et Mecheria, se trouvent respectivement en situation d'abri grâce au massif montagneux et à la grande dune adossée au piémont NW¹ du Djebel Mekther.

L'organisation des transhumances du Sud vers le Nord et vice-versa s'inscrivent dans une démarche écologique assurant au végétal une régénération naturelle qui ne remet pas en cause l'équilibre très fragile de l'écosystème steppique.

Par conséquent, la sécheresse de ces deux dernières décennies ne devrait pas constituer une fatalité en soi, puisque certains éléments du climat telle que l'aridité, la longueur de la saison sèche, etc., ont été bien appréhendées par les composants du milieu naturel, notamment le facteur végétal qui a de tout temps réagi par une adaptation aux situations nouvelles. En revanche, les risques de

¹NORD OUEST

désertification - avec tout ce que cela comporte comme bouleversement des conditions du milieu n'apparaissent que lorsque les interventions de l'homme modifient les écosystèmes au-delà de leurs limites de résistance.

Outre les effets environnementaux néfastes, les retombées de ce phénomène, au plan socio-économique sont lourdes de conséquences. Elles se traduisent généralement par une baisse de la production agricole, l'exode rural, la migration.

II. Etude de sédimentologie :

La taille des grains est un outil important pour les processus sédimentaires et l'ensablement. Mais la difficulté se pose lorsque la distribution granulométrique montre les paramètres similaires des différents environnements de dépôt.

De même, la distribution de la taille des grains peut être utilisée pour comprendre les processus sédimentaires et les mécanismes de l'ensablement.

La granulométrie de sable déterminée sur la base de la répartition de la taille des grains. Ward, 1957 ; Mason et Folk, 1958 ; Harris, 1959 ; et Friedman, 1961, 1967). Ces chercheurs ont utilisé les statistiques de mesures telles que la moyenne, l'écart-type, l'asymétrie et Kurtosis.

Doeglas (1946) a observé que les distributions granulométriques sont des mélanges de deux ou plusieurs distributions de composants. Ces distributions peuvent modifier les conditions de transport. Inman (1949) a reconnu des modes fondamentaux de transport comme le roulement, la suspension et la salutation. Ces processus ont été proposés par Moss (1962, 1963). Inman (1949) a distingué qu'à partir de la forme et de la taille des particules on peut déterminer le mode de transport. Ces processus ont été appliquées par Moss (1962, 1963). Moss (1963, p.340) a décrit que les fines particules transportées en suspension ont habituellement une limite de taille supérieure d'environ 0,07 à 0,1 mm, mais de temps en temps peut être plus grossier. Visher (1967a, 1967b) a observé dans les sédiments récents que la plupart des sédimentaires peuvent contenir une granulométrie d'un ordre de 0,1 mm ou moins fraction, qui sont déposés directement du mode suspension du transport. C'est la taille où les forces d'inertie provoquent un roulement ou un glissement des particules que la saltation.

1. Matériels et méthodes :

L'étude sédimentologique du matériel de surface du système dunaire des Monts des Ksour, offre la possibilité de préciser l'origine, la nature, la composition des matériaux du système dunaire et vise à mettre en évidence la part de l'action éolienne en matière d'ensablement.

Nous avons fait l'analyse au sien de laboratoire d'Erémologie et Lutte Contre la Désertification de l'Institut des Régions Arides (IRA) de Médenine, et le Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides "Omar EL-BERNAOUI" (C.R.S.T.R.A.).

Pour cela, nous avons fait appel à des analyses de sédimentologie, basées sur :

- La granulométrie ;
- La Calcimétrie ;
- La teneur en fraction fine ;
- La morphoscopie des grains de quartz.

Les objectifs de ces études sont les suivants : Faire apparaître une éventuelle évolution du matériel sableux lors de son transport éolien depuis le bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Déterminer les caractéristiques du matériel sableux au sein du type de dune le plus représentatif de la zone d'étude. Préciser l'origine de ce matériel.

1.1 Échantillonnage et méthodes d'analyse :

La granulométrie classique est basée sur tamisage et donc, la minéralogie sera faite grâce à une étude des minéraux lourds et une Calcimétrie et la morphoscopie par observation à la loupe binoculaire et au M.E.B. de l'aspect des grains de quartz.

Pour cela un échantillonnage a été prélevé de notre bassin versant. A cause de l'étendue de ce bassin il n'a pas été possible de faire un échantillonnage systématique. Par contre des sites ont été choisis pour leur facilité de repérage sur les cartes et sur le terrain (Fig. 48). Ces 11 sites ont été ainsi choisis (E01-E02- E03 E04 –E05-E06- E07-E08-E09-E10-E11) :

Echantillon	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
Position	En pied de dune dos droite	Au front droit du dos de dune	Accumulations sableuses	Crête de dune	Sable à Ain Sefra	En pied de dune dos gauche	En pied de dune dos droite	Au front gauche du dos de dune	Accumulations sableuses	Crête de dune	Sable à Ain Sefra

Tableau N°42 : La répartition des échantillonnages dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Cet échantillonnage a été fait de manière pareille à celui effectué par N. Lancaster (1982) en Namibie. En effet sur chaque site, les dunes les plus représentatives ont fait l'objet d'un prélèvement de sable (500 g) pris sur leur crête. Et sur une dune de chaque site on a échantillonné sur la traîne, sur le milieu du dos droite et gauche, sur la crête, à mi- pente sur le front et au pied de celui-ci.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Des échantillons de sable en mobilité au-dessus la surface de la dune, au niveau de la crête, ont été prélevés simultanément avec des mesures du vent faites à la même hauteur que les prélèvements. Ceci pour rechercher une corrélation entre la granulométrie du sable en mouvement et la vitesse du vent et pour les comparer au sable prélevé dans cette position.

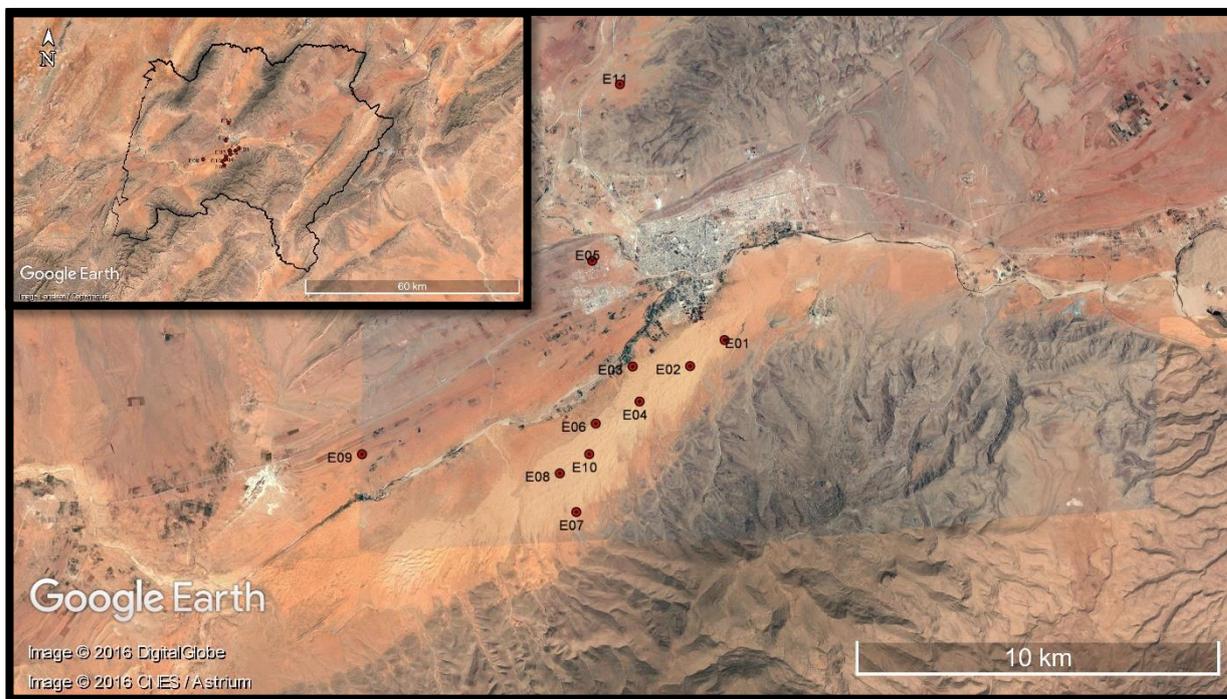


Figure N°48 : Carte des positions relatives des échantillons prélevés dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra 2015.

1.2 Granulométrie :

Après le repassage à l'étuve, nous avons pris seulement 100g des échantillons de sables (diamètre compris entre 2 mm et 0,5 mm) pour leur faire subir un tamisage à sec. La méthode classique de tamisage (L. Berthois, 1959 et F. Verger, 1963) est par rapport à la dimension des grains et des particules correspondant aux ouvertures des mailles de tamis du type AFNOR, c'est-à-dire selon une progression géométrique d'ordre $101=10 = 1:2589$. Une ordonnée a été effectuée sur une colonne de tamis superposés, à mailles carrées décroissantes du haut vers le bas selon une progression géométrique de raison $\sqrt{2}$ et allant de 2 mm à 0.040 mm (La série des tamis utilisée est conforme à la norme AFNOR). Cette colonne est disposée sur une secoueuse électrique vibrante. Au bout de 15 minutes de tamisage le refus de chaque tamis est pesé. Afin de déterminer les proportions des différentes tailles des grains. (Tab N°A01 annexe)

1.2.1 Courbes granulométriques :

Les résultats de cette granulométrie ont permis la construction de courbes ayant pour abscisse le diamètre des particules (échelle logarithmique) et l'ordonnée de leurs fréquences (échelle arithmétique). Ces courbes représentent une idée de la répartition des diamètres de grains de sables.

Nous avons distingué :

a- Les courbes de fréquences : c'est sur ces courbes que les modes (diamètre correspondant à la plus grande fréquence) ont été relevés.

b- Les courbes cumulées : elles n'ont pas été utilisées pour le calcul des percentiles qui ont été déterminés directement par un programme informatique.

Ce programme, après détermination des percentiles, calcule les paramètres statistiques qui caractérisent la granulométrie d'un sédiment.

1.2.2 Paramètres statistiques :

Tous ces paramètres ont été portés comme dans tableaux 43. Seul le diamètre moyen des sables a été porté en mm pour donner directement une idée de la taille des grains de sable. Les autres paramètres sont exprimés et interprétés en unités phi.

1.2.3 Paramètres de position :

Les paramètres de position permettent d'étudier l'origine du matériel, la force moyenne des agents de transport et les conditions de dépôts quand ceux-ci ne sont pas connus. Pour notre travail ils ont permis la caractérisation du matériel sableux.

Le mode représente la valeur du diamètre de grains offrant la plus grande densité de répartition. Nous avons obtenu sa valeur graphiquement sur la courbe des fréquences.

La médiane (Md) a été évaluée à partir de la courbe cumulative en cherchant sur l'axe des abscisses, la valeur correspondant à 50% du pourcentage cumulé sur l'axe des ordonnées. Ce paramètre caractérise la grossièreté du sédiment.

Le diamètre moyen (Mz) représente la taille moyenne des grains. Pour le calculer la formule la plus efficace reste celle préconisée par R.L. Folk et W.C. Ward (1957).

Ces paramètres proposés par FLOK et WARD, 1957 sont les suivants :

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

- Dimension Moyenne (M_c) ou Mean Size (M_z) représente la dimension granulométrique moyenne des sédiments

$$M_c = \frac{Q_{16} + Q_{50} + Q_{84}}{3}$$

Où (16), (50) et (84) sont des pourcentages sur l'axe des ordonnées et Q_{16} , Q_{50} , et Q_{84} sont leurs correspondants sur l'axe des abscisses

Elle est en fonction de : l'intervalle de la taille du matériel disponible (granulométrie de la roche mère) ; l'énergie du milieu (vitesse de turbulence de l'agent de transport) ; distance de transport (PIERRAUX, 1961).

Pour les valeurs de référence pour Q de la taille moyenne M_c D.S.G. Thomas (1987) a donné l'échelle interprétative suivante :

Diamètre (ϕ)	Diamètre (mm)	Classe granulométrique
0 à 1	1 à 0.5	Sable grossier
1 à 2	0.5 à 0.25	Sable moyen
2 à 3	0.25 à 0.125	Sable fin
3 à 4	0.125 à 0.062	Sable très fin

Tableau N°43 : Les valeurs de référence pour Q de la taille moyenne M_c .

L'Écart-type (EC) : L'écart-type ou indice de classement indique le degré de perfectionnement du classement de sédiment et il dépend de l'intervalle, des tailles du matériel initial, du taux de sédimentation et des caractéristiques physiques du courant.

$$EC = \frac{Q_{84} - Q_{16}}{4} + \frac{Q_{95} - Q_5}{6.6}$$

Folk, 1965 propose pour les valeurs de *EC*, les caractéristiques suivantes du classement :

EC	Triage
0 à 0.35	Très bien trié
0.35 à 0.5	Bien trié
0.5 à 0.71	Assez bien trié
0.71 à 1	Moyennement
1 à 2	Mal trié
2 à 4	Très mal trié
Plus à 4	Aucun triage

Tableau N°44 : Les valeurs de « EC » et les caractéristiques.

1.2.4 Paramètres de forme :

Ils sont destinés à mesurer la non-normalité d'une distribution par rapport à celle idéale de la loi de Gauss-Laplace. Ces paramètres sont l'asymétrie (skweness) et l'acuité (kurtosis).

L'asymétrie (sKj) permet de connaître la répartition des particules sableuses (R.L. Folk et W.C. Ward, 1957) :

$$Sk = \frac{Q_{16} + Q_{84} - 2Q_{50}}{2(Q_{84} - Q_{16})} + \frac{Q_5 + Q_{95} - 2Q_{50}}{2(Q_{95} - Q_5)}$$

Les valeurs d'indication pour l'indice d'asymétrie de SKEWENESS (SKJ), sont interprétées entre -1 et 1, et celles de référence sont présentées par Folk.

Le SKEWENESS : calculé le degré de déviation de la courbe de fréquence par rapport à la courbe normale de GAUSSE.

Selon Folk, 1965 une asymétrie négative forte ou très forte indique que le sédiment s'est déposé en milieu turbulent et qu'il a été privé des éléments fins. Lorsque la courbe de fréquence est approximativement symétrique, le sédiment s'est déposé durement et sans remaniement ultérieur par excès de charge et/ou par un abaissement de la compétence de l'agent de transport.

Le cas d'une asymétrie positive forte ou très forte signifie que le sédiment s'est déposé en milieu par décantation.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

A. SKEWENESS KURTOSIS (SK) ou le coefficient d'acuité est une mesure du degré d'aplatissement de la courbe de fréquence et le rapport entre le classement aux extrémités de cette courbe et la partie centrale.

Il constitue aussi un test sensible de la normalité d'une distribution (Perriaux, 1966).

Echelle interprétative :

SKI	Symétrie
1 à 0.3	Vers les très fins
0.3 à 0.1	Vers les fins
0.1 à -0.1	Symétrie
-0.1 à -0.3	Vers les grossiers
-0.3 à -1	Vers les très grossiers

Tableau N°45 : Le coefficient d'acuité et les caractéristiques.

SKEWENESS KURTOSIS (K_G): ou le coefficient d'acuité est une mesure du degré d'aplatissement de la courbe de fréquence et le rapport entre le classement aux extrémités de cette courbe et la partie centrale. Il constitue aussi un test sensible de la normalité d'une distribution (PERRIAUX, 1966). L'acuité formulée par D.L.Inman (1952)

$$(K_G) = \frac{Q95 - Q5}{2.44(Q75 - Q25)}$$

Les valeurs et leurs significations de ce paramètre selon Folk et Ward, 1957 sont les suivants :

Répartition	Valeur standard KG
Très platikurtosique (courbe très aplatie) caractérise un très mauvais classement	< 0,67
Platikurtosique (courbe aplatie)	0,67 à 0,90
Mésokurtosique (courbe normale caractérise un classement moyen)	0,90 à 1,11
Leptokurtosique (Pic accentué) caractérise un bon classement	1,11 à 1,50
Très leptokurtosique (Pic très accentué)	1,50 à 3,00
Extrêmement leptokurtosique	> 3,00

Tableau N°46 : Les valeurs de K et leurs significations.

1.3 Calcimétrie :

La Calcimétrie est la mesure du pourcentage de $CaCO_3$ dans une roche, un sédiment, un sol. L'appareil de mesure le plus fréquemment utilisé est la calcimètre de Bernard. La Calcimétrie permet de déterminer le pourcentage en carbonates du sédiment.

La méthode utilisée est la gravimétrie. Elle consiste en ajout de l'acide chlorhydrique sur un poids connu de terre :



Cette réaction permet d'utiliser une méthode gazométrique puisque nous pouvons distinguer qu'une mole de $CaCO_3$ permet le dégagement d'une mole de gaz carbonique (Tab 47).

TAUX DE $CaCO_3$ TOTAL A L'ANALYSE	QUALIFICATION DU SOL
$CaCO_3T \leq 5\%$	SOL NON CALCAIRE
$5 < CaCO_3T \leq 12,5\%$	SOL FAIBLEMENT CALCAIRE
$12,5 < CaCO_3T \leq 25\%$	SOL MODEREMENT CALCAIRE
$25 < CaCO_3T \leq 50\%$	SOL FORTEMENT CALCAIRE
$CaCO_3T > 50\%$	SOL TRES FORTEMENT CALCAIRE

Tableau N°47 : Les valeurs taux de $CaCO_3$ et qualification du sol.

1.3.1 Méthodologie :

Réactifs : Présence d'Acide chlorhydrique pur et Carbonate de calcium.

Peser 0.1g de $CaCO_3$ pur et sec et le déposer dans un erlenmeyer pour avoir un témoin. Remplir le petit tube que nous le plaçons délicatement dans l'erlenmeyer Boucher Ensuite renverser l'acide sur le $CaCO_3$ en agitant jusqu'au dégagement dans l'erlenmeyer. Laisser la réaction se faire et attendre la stabilisation du niveau de l'eau dans le tube, marquant le fin dégagement gazeux. Après, faire la lecture du niveau de la burette : soit V_0 = le volume lu.

Nous avons fait la même chose pour les échantillons en remplaçant le $CaCO_3$ par le sol, la lecture soit V_1 .

1.4 Teneur en matière organique :

La matière organique stable du sol (humus) est issue de la décomposition progressive des résidus de culture, et des végétaux, animaux et autres organismes biologiques vivants dans le sol (acariens, champignons, microfaune, microflore).

La matière organique joue un rôle important dans les fonctionnements physique, chimique et biologique du sol. Elle améliore la cohérence des éléments structuraux, favorise la rétention en eau utile, participe au stockage réversible des éléments nutritionnels, limite le développement de certains parasites, augmente l'aération du sol, etc. Un sol bien pourvu en matière organique offrira un milieu bien plus favorable au développement des cultures et moins sensible aux aléas climatiques.

La détermination du taux de matière organique d'un sol est réalisée indirectement, à partir du dosage de la teneur en carbone organique, suivant la méthode normalisée internationale NF ISO 14235. Le taux de matière organique est calculé en multipliant la teneur en carbone par un coefficient stable dans les sols cultivés régionaux, fixé à 1,72 ($MO = C \times 1,72$).

La teneur en matière organique évolue vite dans le profil du sol.

- Pour les prairies permanentes :

$MO < 40\%$ Teneur modérée en MO

$40\% \leq MO < 80 \%$ Sol bien pourvu en MO

$MO \geq 80 \%$ Teneur élevée en MO

1.4.1 Méthodologie :

Peser 1g de sol broyer et tamiser à 0.5 mm et ajouter 10ml de bichromate de potassium N/5. Après, préparer 20 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré. Agiter quelques minutes et laisser reposer 30 mn ensuite ajouter 170ml d'eau distillée.

Laisser la solution décanter quelques minutes et prélever 20 ml de filtrat et ajouter 1 ml d'acide phosphorique (H_3PO_4) et quelques gouttes d'indicateur (oxydoréduction).

Enfin, doser à l'aide de sulfate ferreux ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 1/10 de la solution mère) jusqu'au virage du bleu au vert.

Les Réactifs nécessaires : Bichromate de potassium *N/5*, Acide sulfurique (H_2SO_4), Eau distillée, Acide phosphorique (H_3PO_4), Indicateur (oxydoréduction) et le Sulfate ferreux ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 1/10 de la solution mère).

1.5 Morphoscopie :

La morphoscopie, qui a été déterminée par L. Le Ribault(1977), comme étant «la détermination statistique des différents types de quartz dans les dépôts sableux», serve à définir les types de grains les plus significatifs de la zone, les proportions de chaque type et les variations de ces proportions au cours du transport.

Alors durant ces comptages, les grains les plus représentatifs sont sélectionnés pour être observés au Microscope Electronique à Balayage. Par cette exoscopie, nous avons essayé de reconstituer l'histoire des grains de quartz par interprétation des traces qu'ils portent à leur surface et de préciser les raisons de leur aspect à la Loupe Binoculaire.

1.5.1 Méthode : Les comptages à la Loupe Binoculaire ont été faits sur des sables issus de la fraction I (0.160-0.500 mm) obtenus après décarbonatation et tamisage. L'observation de cette fraction permet d'apprécier l'impact de la taille sur la forme et l'aspect des grains. Les sables issus de la fraction II (0.080-0.160 mm) de densité inférieure à 2.9 obtenus après décarbonatation, tamisage et séparation au bromoforme. En effet L. Le Ribault (1977) a préconisé de prendre plutôt la fraction comprise entre 0.300 et 0.500 mm où les facteurs chimiques ont autant d'influence. L'analyse morphoscopiques, réalisée sur un sable lavé, est l'examen de la forme et de l'aspect des grains. Elle permet la recherche de la nature de l'agent de transport donc d'usure.

Nous avons réparti les grains en 3 grandes catégories :

- N.U. grains non usés, transparents ou colorés, anguleux ont subi un faible transport ;
- E.L. grains émoussés luisants, ont des arêtes estompées par un transport hydrique ;
- R.M. grains ronds mats sont dépoli et arrondis par un transport éolien.

2. Interprétation des résultats et discussions :

Nous avons expliqué ici les différents résultats de l'étude sédimentologie, en commençant par la granulométrie :

2.1 La granulométrie des échantillons des grains de sable du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

La forme de la courbe granulométrique obtenue apporte les renseignements suivants :

Pour l'expression graphique ; Après tamisage, chaque tamis possède son propre refus. Nous pouvons procéder de deux manières différentes qui aboutissent au même résultat.

Pourcentages des refus simples : chaque refus est pesé et son poids noté. Prenons par exemple p_1 le poids du refus du premier tamis, p_2 le poids du refus du second tamis, p_3 le poids du refus du troisième tamis et ainsi de suite jusqu'au dernier tamis. Notons les refus r_1, r_2, r_3 etc., et PT le poids total de la quantité de sable tamisé ; le pourcentage de chaque refus est calculé de la manière suivante :

$$\%r_1 = p_1 \times 100/PT, \%r_2 = p_2 \times 100/PT, \%r_3 = p_3 \times 100/PT \text{ etc.}$$

Pourcentages des refus cumulés : les poids des refus sont cumulés, c'est à dire qu'au poids p_1 du refus r_1 nous ajoutons le poids p_2 du refus r_2 , on obtient un poids P_2 .

$$P_2 = p_1 + p_2, \text{ puis } P_3 = p_1 + p_2 + p_3 = P_2 + p_3, P_4 = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = P_3 + p_4$$

et ainsi de suite.

Notons les refus cumulés R_1, R_2, R_3 etc.

Le poids du premier refus R_1 est $P_1 = p_1$. Nous calculons les pourcentages cumulés à partir des poids cumulés de la manière suivante :

$$\%R_1 = (P_1 \times 100) / PT = \%r_1$$

$$\%R_2 = (P_2 \times 100) / PT = \%r_1 + \%r_2$$

$$\%R_3 = (P_3 \times 100) / PT = \%r_1 + \%r_2 + \%r_3$$

et ainsi de suite.

La distribution des tailles fait l'objet de représentations diverses sur une échelle semi logarithmique, en abscisses la valeur logarithmique des mailles de tamis et en ordonnées arithmétiques le pourcentage des refus.

2.1.1 Courbes ou histogrammes de fréquence :

La réalisation des courbes de fréquences se fait sur une échelle semi-logarithmique, ayant pour abscisse le diamètre de grain, et pour ordonnées le pourcentage en poids du refus des tamis correspondants. Ces courbes présentent en général, un seul pic (Fig. A02 –A03 annexe) sauf pour les échantillons situés à l'extrémité Est du transect E05, E07 et E11, qui montrent deux pic, donc

deux populations qui s'individualisent et témoignent d'une hétérogénéité des sédiments, en particulier dans le secteur des barkhanes.

2.1.2 Courbes cumulatives :

Le report des résultats des analyses granulométriques en coordonnées semi logarithmiques donne pour chaque échantillon, des courbes de même allure, qui se superposent vers l'Est. En effet, les courbes de fréquence (Fig. A04 –A07 annexe) montrent des sédiments homogènes d'accumulation libre à l'Ouest alors que la figure 49 a témoigne de l'hétérogénéité des sédiments à l'Est qui caractérisent les zones actives de la déflation qui sont les processus dangereux de la dynamique éolienne. Les courbes cumulatives présentent une forme en « S » étirée, bien dressée, avec un secteur rectiligne bien développé dans sa partie médiane de plus en plus vers l'Est (Fig. 49,50 et 51 exemples E01), ce qui signifie que le sédiment est assez bien classé.(Fig.A02-A06 Annexe)

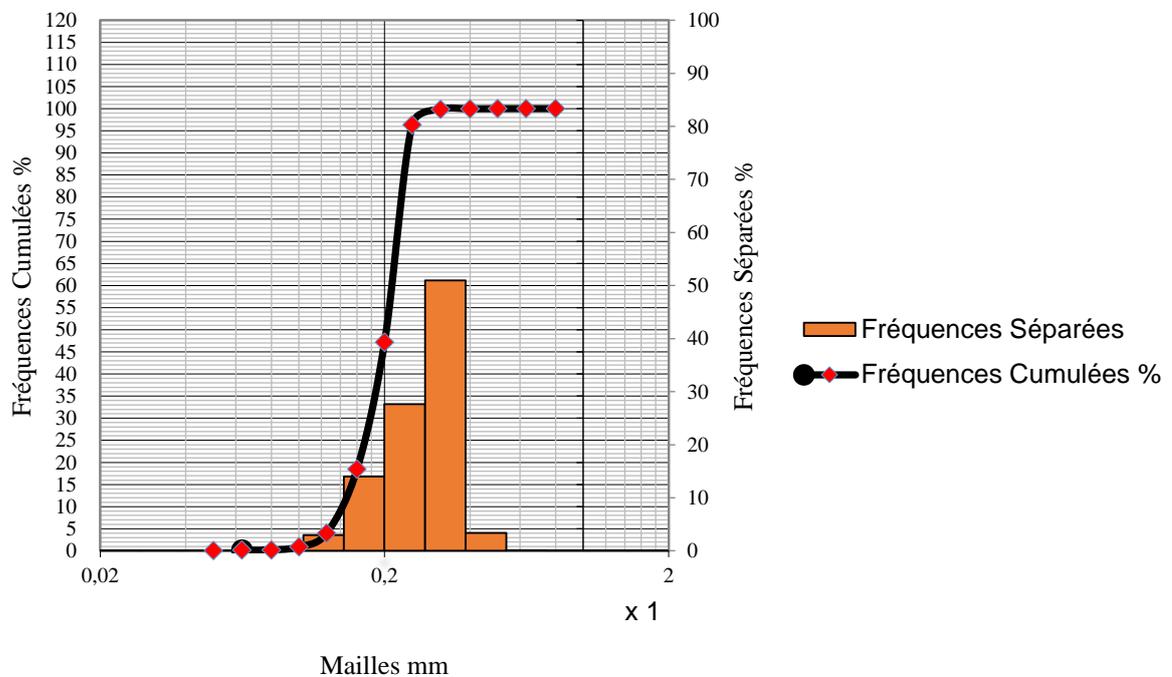


Figure N°49 : Courbe de Fréquences Cumulées et histogramme de Fréquences Séparées en mm pour l'échantillon 01 (E01 : bas de la dune – le dos droit).

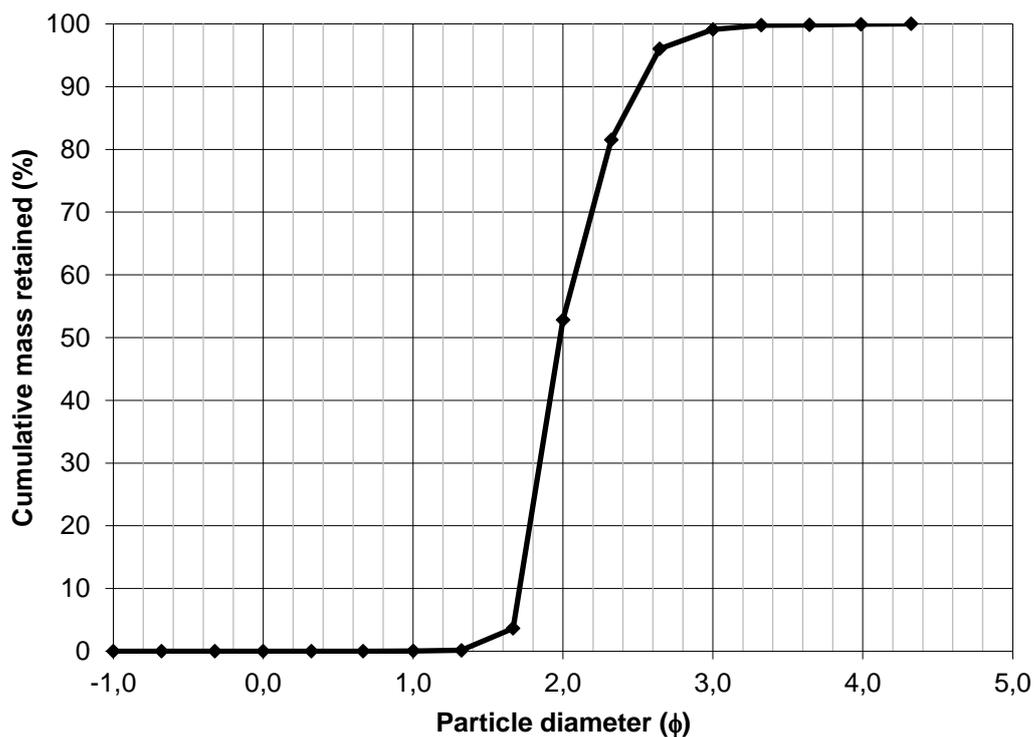


Figure N°50 : Courbe de fréquences cumulées en phi (ϕ) pour l'échantillon 01 (E01 : bas de la dune – le dos droit).

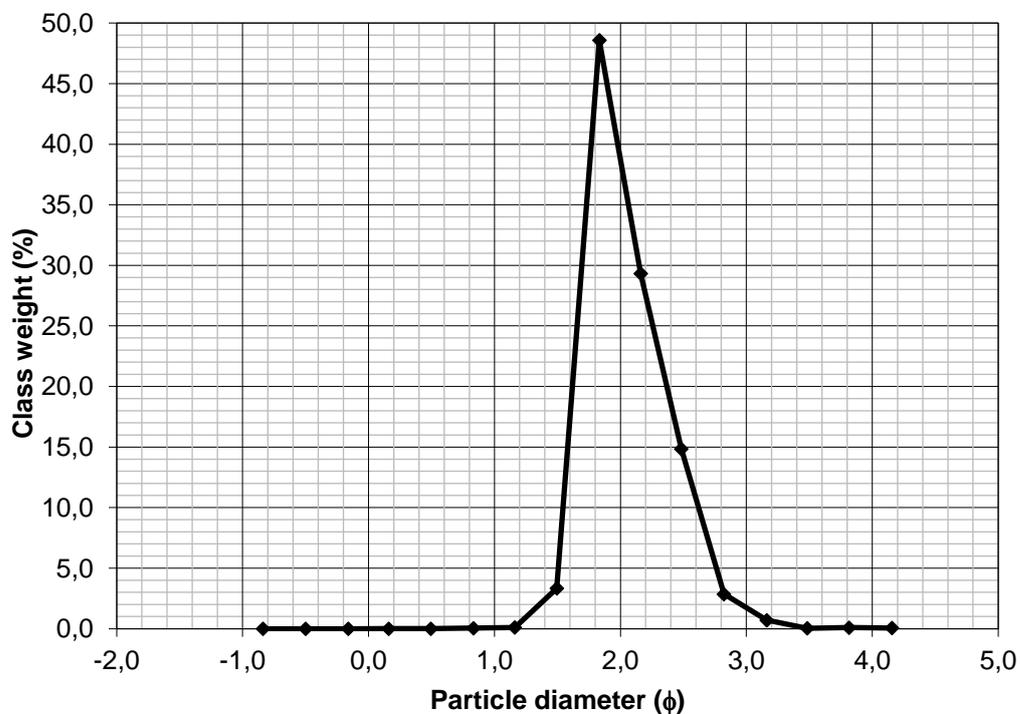


Figure N°51 : Courbe de fréquences séparées en phi (ϕ) pour l'échantillon 01 (E01 : bas de la dune – le dos droit).

2.1.3 Courbes de fréquence séparée :

Les courbes de fréquences se font sur une échelle semi-logarithmique, ayant pour abscisse le diamètre de grain, et pour ordonnées le pourcentage en poids du refus des tamis correspondants. Toutes les courbes présentent en général, un seul pic ou la courbe est dissymétrique, avec asymétrie presque positive : sables moyens à fins bien classés. Sauf pour les échantillons situés dans les amas de sable et côté de la ville d'Ain Sefra (E05, E07 et E11 (figures A02 –A03 annexe), qui montrent deux pic qui signifie distribution bimodale, correspondant à une distribution bi ou plurimodale et donc à un mauvais classement des sables. Donc ce sont deux populations qui s'individualisent et témoignent d'une hétérogénéité des sédiments, en particulier dans le secteur d'ensablement.

2.1.4 Courbes de fréquences cumulatives :

Dans cette partie, nous avons présenté le report des résultats des analyses granulométriques en coordonnées semi logarithmiques donne pour chaque échantillon, des courbes de même allure, qui s'accumulent vers l'Est. En effet. Les courbes cumulatives présentent une forme en « S » étirée, bien dressée, avec un secteur rectiligne bien développé dans sa partie médiane de plus en plus vers l'Est (Fig. A04 –A07 annexe), ce qui signifie que le sédiment est assez bien classé. Les courbes cumulatives son issue directement des méthodes granulométriques par décantation (sédimentation) en utilisant les pourcentages cumulés. Elle permet de calculer graphiquement divers paramètres de distribution.

2.1.5 Indices numériques :

Le premier indice désigne le diamètre minimum des grains d et le deuxième le diamètre maximum D

2.1.5.1 Paramètres centraux :

Le Mode : Nous pouvons grouper généralement les sédiments suivant la taille des grains qui les constitue. La terminologie la plus courante est la suivante (A, Cailleux, 1954) : L'étude statistique des courbes des différents échantillons analysés (Tab. 48), donne une valeur ($180 \mu\text{m}$ soit $2,483 \phi$) comme étant la plus fréquente et accessoirement, le mode peut- avoir une valeur de ($282,5 \mu\text{m}$ soit $1,833\phi$). Ceci est dû généralement à la présence d'un sable fin et moye, notamment dans la zone de déflation située à la périphérie du système dunaire des Monts des Ksour.

La médiane : Les résultats obtenus (Tab. 48) sur la totalité des échantillons analysés donnent des valeurs comprises entre ($197,3$ et $235,9 \mu\text{m}$ soit $2,341$ et $2,083 \phi$), permet de classer le sédiment dans la catégorie des sables fins et moyens.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Paramètres de dispersion : La sédimentologie fait appel à divers paramètres intégrant plus ou moins de l'extrémité de la courbe cumulative, pour caractériser la distribution de la granulométrie. Plusieurs auteurs ont proposé des paramètres et des indices. Nous avons choisi ici la méthode de Folk et Ward, 1957, qui a été reprise par différents auteurs et nous avons comparé par la méthode DES MOMENTS Arithmétique (μ_m) et méthode des moments Géométrique (μ_g) et Logarithmique (ϕ) :

Dimension moyenne (M_c) ou Mean size (M_z) : Les résultats obtenus dans le tableau donnent des valeurs qui oscillent entre M_c (201,5 μ_m et 245,502 μ_m , soit 2,311 ϕ et 2,026 ϕ) en méthode de Folk et Ward, et entre (201,0 μ_m et 261,783 μ_m , soit 2,315 ϕ et 2,056 ϕ) par la méthode des Moments ce qui permet de classer le sédiment dans la catégorie des sables fins 60.95%,(Tab. 48, Fig. 52). Ce résultat est comparable avec celui donné par la médiane.

Nous avons noté que cette moyenne, en générale, a tendance à diminuer selon la position des échantillons (voir tableau N°48 et N°49).

	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	Moyen nes
% SABLE MOYEN :	52,78	17,23	15,98	19,59	42,91	56,27	46,55	17,50	16,00	20,00	42,5	35,90%
% SABLE FIN :	46,27	81,60	82,47	79,78	48,30	42,15	46,06	81,40	82,50	79,00	48,8	60,95%
% SABLE TRES FIN :	0,83	1,11	1,52	0,54	5,75	1,39	5,28	1,11	1,10	1,50	0,1	2,34%

Tableau N°48 : Répartition classes de sable en pourcentage.

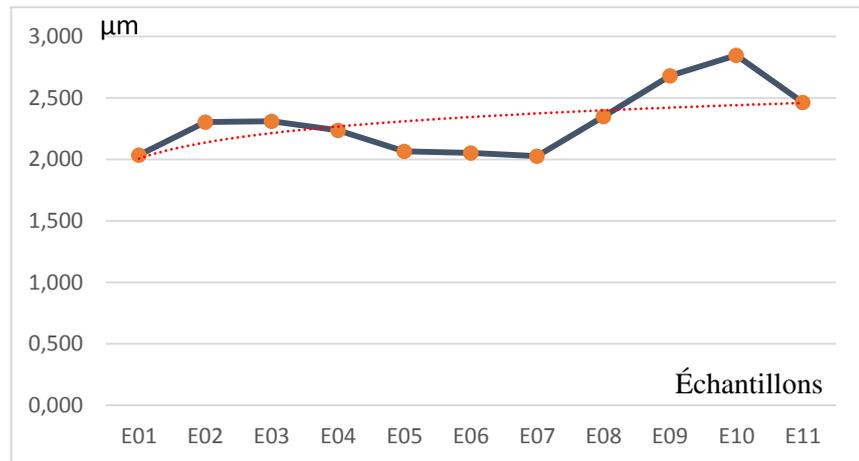


Figure N°52 : Classes de sable des échantillons du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

SKEWNESS (SKI) ou indice d'asymétrie : Les résultats obtenus (Tab 49), donnent des valeurs de SKI comprises entre $-0,402$ et $0,127\mu m$ soit $0,402$ et $-0,127 \phi$ par la méthode de Folk et Ward et la méthode des Moments présentent entre $-0,616$ et $1,527 \mu m$ soit $0,001$ et $-0,127 \phi$. Ce qui montre une symétrie des courbes dans la partie du système dunaire et explique que le dépôt des sédiments se fait brutalement, et sans remaniement ultérieur par excès de charge et/ou par une diminution de la compétence du courant transporteur. Alors que dans les autres parties, les courbes présentent une dissymétrie vers les éléments fins, avec une asymétrie négative, ce qui signifie que les sédiments se sont déposés en milieu turbulent qui les prive des éléments fins qui remplissent le vide laissé entre les éléments grossiers après dépôt final, c'est le processus de déflation, principal moteur de l'ensablement.

SKEWNESS KURTOISIS ou Coefficient d'acuité(K_G): Les valeurs trouvées sont comprises entre ($K_G=0,791$ et $K_G= 1,50$) montre que les courbes sont platikurtosiques à mésokurtosiques d'où un sédiment assez bien classé.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION EOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

METHODE	RESULTATS	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
MÉTHODE DE FOLK ET WARD (µm)	MEAN (M_z):	243,8	202,4	201,5	212,032	239,0	241,2	245,502	203,400	201,82	212,64	239,4
	SORTING (σ_{ϕ}):	1,231	1,248	1,242	1,219	1,501	1,244	1,499	1,250	1,60	1,83	1,9
	SKWEWNESS (Sk_{ϕ}):	-0,310	0,127	0,097	0,053	0,022	-0,402	-0,017	0,128	0,46	0,66	0,4
	KURTOSIS (K_{ϕ}):	0,886	0,990	1,014	0,885	1,008	0,791	0,990	0,990	1,38	1,50	1,4
MÉTHODE DE FOLK ET WARD (φ)	MEAN (M_z):	2,036	2,305	2,311	2,238	2,065	2,052	2,026	2,350	2,68	2,85	2,5
	SORTING (σ_z):	0,300	0,319	0,312	0,285	0,586	0,315	0,584	0,323	0,68	0,90	1,0
	SKWEWNESS (Sk_z):	0,310	-0,127	-0,097	-0,053	-0,022	0,402	0,017	-0,129	0,26	0,56	0,4
	KURTOSIS (K_z):	0,886	0,990	1,014	0,885	1,008	0,791	0,945	0,990	1,38	1,50	1,4
MÉTHODE DE FOLK ET WARD (La description)	MEAN:	Sable fin	Sable fin	Sable fin	Sable fin	Sable fin	Sable fin	Sable fin	Sable fin	Sable fin	Sable fin	Sable fin
	SORTING:	Très bien classé	Très bien classé	Très bien classé	Très bien classé	Modérément bien classé	Très bien classé	Modérément bien classé	Très bien classé	Très bien classé	Très bien classé	Modérément bien classé
	SKWEWNESS:	Très fine incliné	Grossière tordu	Symétrique	Symétrique	Symétrique	Très fine incliné	Symétrique	Grossière tordu	Symétrique	Symétrique	Symétrique
	KURTOSIS:	Platykurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Platykurtic	Mesokurtic	Platykurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Platykurtic	Mesokurtic
	MODE 1 (mm):	282,5	180,0	180,0	225,000	180,0	282,5	282,500	180,0	180,0	225,5	180,0
	MODE 2 (mm):					282,500		180,000				
	MODE 1 (f):	1,833	2,483	2,483	2,161	2,483	1,833	1,833	2,490	2,5	2,7	3,2
	MODE 2 (f):					1,833		2,483			0,5	2,5
	D ₁₀ (mm):	175,52	160,2	160,32	165,772	139,5	171,8	143,245	160,3	161,1	166,3	140,3
	D ₅₀ (mm):	253,4	197,3	197,7	211,905	235,9	256,8	245,098	197,5	198,5	212,4	237,3
	D ₉₀ (mm):	305,7	275,8	272,9	280,545	400,0	304,5	408,947	276,6	273,7	281,1	400,7
	(D ₉₀ / D ₁₀) (mm):	1,742	1,722	1,702	1,692	2,867	1,773	2,855	1,740	2,3	2,2	3,6
	(D ₉₀ - D ₁₀) (mm):	130,211	115,671	112,533	114,773	260,481	132,743	265,703	116,200	113,2	115,3	261,2
	(D ₇₅ / D ₂₅) (mm):	1,354	1,363	1,353	1,331	1,745	1,401	1,780	1,380	2,0	1,9	2,4
	(D ₇₅ - D ₂₅) (mm):	74,5	62,9	61,2	60,389	131,6	81,8	140,105	63,2	62,2	60,9	132,3
	D ₁₀ (f):	1,710	1,858	1,874	1,834	1,322	1,715	1,290	1,858	2,5	2,4	2,0
	D ₅₀ (f):	1,981	2,341	2,338	2,239	2,083	1,961	2,029	2,341	2,9	2,8	2,8
	D ₉₀ (f):	2,510	2,642	2,641	2,593	2,841	2,541	2,803	2,642	3,2	3,1	3,5
	(D ₉₀ / D ₁₀) (f):	1,468	1,422	1,409	1,414	2,149	1,482	2,173	1,422	2,0	1,9	2,8
	(D ₉₀ - D ₁₀) (f):	0,801	0,784	0,767	0,759	1,519	0,826	1,513	0,799	1,4	1,3	2,2
	(D ₇₅ / D ₂₅) (f):	1,242	1,215	1,209	1,202	1,473	1,269	1,506	1,240	1,8	1,7	2,2
	(D ₇₅ - D ₂₅) (f):	0,438	0,447	0,436	0,413	0,803	0,487	0,832	0,450	1,1	0,9	1,5
	% GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% LE SABLE:	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	99,7%	99,8%	99,9%	100,0%	100,0	99,8	99,0
	% MUD:	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% V COULEUR GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% GRAVIER GROSSIER:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% GRAVAGE MOYEN:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% GRAVURE FINALE:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% V GRAVURE FINALE:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% V SABLE GROSSE:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% SABLE GROSSIER:	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	2,8%	0,0%	2,0%	0,1%	0,0	0,0	0,0
	% SABLE MOYEN:	52,8%	17,2%	16,0%	19,6%	42,9%	56,3%	46,6%	17,5%	16,0	20,0	42,5
	% SABLE FIN:	46,3%	81,6%	82,5%	79,8%	48,3%	42,2%	46,1%	81,4%	82,5	79,0	48,8
	% V SABLE FIN:	0,8%	1,1%	1,5%	0,5%	5,7%	1,4%	5,3%	1,1%	1,1	1,5	0,1
	% V COEUR SILT:	0,1%	0,3%	0,0%	0,0%	0,3%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% COEUR SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% MEDIUM SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% V FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0
	% CLAY:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0

Tableau N°49 a : les résultats globaux de la granulométrie des échantillons du bassin versant de l'oued Ain Sefra

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

METHODE	RESULTATS	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	moy
MÉTHODE	MEAN (\bar{x}):	248.2	207.5	206.7	217.191	257.6	246.2	208.7	207.08	217.91	258.2	217.91	235.03
DES MOMENTS	SORTING (σ_s):	49.81	44.63	43.05	42.611	111.67	51.11	103.834	44.80	43.41	43.41	112.3	63.82
Arithmétique (µm)	SKEWNESS (Sk_s):	-0.044	0.957	0.442	1.030	1.527	-0.616	0.787	0.990	0.80	1.64	1.9	0.58
	KURTOSIS (K_s):	5.867	8.266	3.156	10.169	7.769	3.944	3.450	8.300	3.52	10.91	8.2	6.09
MÉTHODE	MEAN (\bar{x}_g):	241.1	201.7	201.0	211.821	234.9	238.3	240.482	201.9	201.34	213.11	235.3	224.19
DES MOMENTS	SORTING (σ_s):	1.245	1.235	1.234	1.214	1.513	1.275	1.320	1.493	1.59	1.82	1.9	1.32
Géométrique (µm)	SKEWNESS (Sk_g):	-1.083	-0.001	-0.239	-0.123	-0.063	-1.690	-0.178	-0.001	0.12	0.49	0.3	-0.48
	KURTOSIS (K_g):	5.63	3.48	3.73	4.333	3.34	7.97	2.806	3.48	4.09	4.94	3.7	4.47
MÉTHODE	MEAN (\bar{x}_l):	2.052	2.310	2.315	2.239	2.090	2.069	2.056	2.427	2.67	2.85	2.5	2.16
DES MOMENTS	SORTING (σ_s):	0.316	0.305	0.303	0.279	0.598	0.351	0.579	0.350	0.66	0.89	1.0	0.39
Logarithmique (φ)	SKEWNESS (Sk_l):	1.083	0.001	0.239	0.123	0.063	1.690	0.178	0.001	0.60	0.73	0.5	0.48
	KURTOSIS (K_l):	5.63	3.48	3.73	4.333	3.34	7.97	2.806	3.48	4.09	4.94	3.7	4.47
MÉTHODE DE	MEAN (M_w):	243.8	202.4	201.5	212.032	239.0	241.2	245.502	203.400	201.82	212.64	239.4	226.49
FOLK ET WARD	SORTING (σ_w):	1.231	1.248	1.242	1.219	1.501	1.244	1.499	1.250	1.60	1.83	1.9	1.31
(µm)	SKEWNESS (Sk_w):	-0.310	0.127	0.097	0.053	0.022	-0.402	-0.017	0.128	0.46	0.66	0.4	-0.06
	KURTOSIS (K_w):	0.886	0.990	1.014	0.885	1.008	0.791	0.945	0.990	1.38	1.50	1.4	0.93
MÉTHODE DE	MEAN (M_z):	2.036	2.305	2.311	2.238	2.065	2.052	2.026	2.350	2.68	2.85	2.5	2.15
FOLK ET WARD	SORTING (σ_z):	0.300	0.319	0.312	0.285	0.586	0.315	0.584	0.323	0.68	0.90	1.0	0.39
(φ)	SKEWNESS (Sk_z):	0.310	-0.127	-0.097	-0.053	-0.022	0.402	0.017	-0.129	0.26	0.56	0.4	0.06
	KURTOSIS (K_z):	0.886	0.990	1.014	0.885	1.008	0.791	0.945	0.990	1.38	1.50	1.4	0.93
MÉTHODE DE	MEAN:	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand				
FOLK ET WARD	SORTING:	Very Well Sorted	Very Well Sorted	Very Well Sorted	Very Well Sorted	Moderately Well Sorted	Very Well Sorted	Moderately Well Sorted	Very Well Sorted	Very Well Sorted	Very Well Sorted	Moderately Well Sorted	
(La description)	SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Coarse Skewed	Symmetrical	Symmetrical	Symmetrical	Very Fine Skewed	Symmetrical	Symmetrical	Symmetrical	Symmetrical	Symmetrical	
	KURTOSIS:	Platykurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Platykurtic	Mesokurtic	Platykurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Platykurtic	Mesokurtic	
	MODE 1 (mm):	282,5	180,0	180,0	225,000	180,0	282,5	282,500	180,0	180,0	225,5	180,0	216,184
	MODE 2 (mm):					282,500		180,000					
	MODE 1 (φ):	1,833	2,483	2,483	2,161	2,483	1,833	1,833	2,490	2,5	2,7	3,2	
	MODE 2 (φ):					1,833		2,483			0,5	2,5	
	D ₁₀ (mm):	175,52	160,2	160,32	165,772	139,5	171,8	143,245	160,3	161,1	166,3	140,3	
	D ₅₀ (mm):	253,4	197,3	197,7	211,905	235,9	256,8	245,098	197,5	198,5	212,4	237,3	
	D ₉₀ (mm):	305,7	275,8	272,9	280,545	400,0	304,5	408,947	276,6	273,7	281,1	400,7	
	(D ₉₀ / D ₁₀) (mm):	1,742	1,722	1,702	1,692	2,867	1,773	2,855	1,740	2,3	2,2	3,6	
	(D ₉₀ - D ₁₀) (mm):	130,211	115,671	112,533	114,773	260,481	132,743	265,703	116,200	113,2	115,3	261,2	
	(D ₇₅ / D ₂₅) (mm):	1,354	1,363	1,353	1,331	1,745	1,401	1,780	1,380	2,0	1,9	2,4	
	(D ₇₅ - D ₂₅) (mm):	74,5	62,9	61,2	60,389	131,6	81,8	140,105	63,2	62,2	60,9	132,3	
	D ₁₀ (φ):	1,710	1,858	1,874	1,834	1,322	1,715	1,290	1,858	2,5	2,4	2,0	
	D ₅₀ (φ):	1,981	2,341	2,338	2,239	2,083	1,961	2,029	2,341	2,9	2,8	2,8	
	D ₉₀ (φ):	2,510	2,642	2,641	2,593	2,841	2,541	2,803	2,642	3,2	3,1	3,5	
	(D ₉₀ / D ₁₀) (φ):	1,468	1,422	1,409	1,414	2,149	1,482	2,173	1,422	2,0	1,9	2,8	
	(D ₉₀ - D ₁₀) (φ):	0,801	0,784	0,767	0,759	1,519	0,826	1,513	0,799	1,4	1,3	2,2	
	(D ₇₅ / D ₂₅) (φ):	1,242	1,215	1,209	1,202	1,473	1,269	1,506	1,240	1,8	1,7	2,2	
	(D ₇₅ - D ₂₅) (φ):	0,438	0,447	0,436	0,413	0,803	0,487	0,832	0,450	1,1	0,9	1,5	
	% GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% LE SABLE:	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	99,7%	99,8%	99,9%	100,0%	1,0	1,0	1,0	
	% MUD:	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% V COULEUR GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% GRAVIER GROSSIER:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% GRAVAGE MOYEN:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% GRAVURE FINALE:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% V SABLE GROSSE:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% SABLE GROSSIER:	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	2,8%	0,0%	2,0%	0,1%	0,0	0,0	0,0	
	% SABLE MOYEN:	52,8%	17,2%	16,0%	19,6%	42,9%	56,3%	46,6%	17,5%	0,2	0,2	0,4	
	% SABLE FIN:	46,3%	81,6%	82,5%	79,8%	48,3%	42,2%	46,1%	81,4%	0,8	0,8	0,5	
	% V SABLE FIN:	0,8%	1,1%	1,5%	0,5%	5,7%	1,4%	5,3%	1,1%	0,0	0,0	0,1	
	% V COEUR SILT:	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% COEUR SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% MEDIUM SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% V FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0	
	% CLAY:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0	0,0	0,0	

Tableau N°49b : les résultats globaux de la granulométrie des échantillons du bassin versant de l'oued Ain Sefra.

2.1.6 Processus de Transport :

La taille des grains est un outil important pour les processus sédimentaires et l'ensablement. Mais la difficulté se pose lorsque la distribution granulométrique montre les paramètres similaires des différents de dépôt.

Même alors, la distribution de la taille des grains peut être utilisée pour comprendre les processus sédimentaires et les mécanismes de transport des grains de sable.

La granulométrie de sable et le processus de transport ont été déterminés sur la base de la répartition de la taille des grains. Ward, 1957 ; Mason et Folk, 1958 ; Harris, 1959 ; et Friedman, 1961, 1967. Ces chercheurs ont utilisé les statistiques de mesures telles que la moyenne, l'écart-type, l'asymétrie et Kurtosis.

Doeglas (1946) a observé que les distributions granulométriques sont des mélanges de deux ou plusieurs distributions de composants ces distributions modifiant les conditions de transport. Inman (1949) a noté des modes fondamentaux de transport, le roulement, la suspension et la salutation. Ces processus a été donné par Moss (1962, 1963). Inman (1949) a distingué qu'à partir de la forme et de la taille des particules nous pouvons déterminer le mode de transport. Ces processus ont été appliquées par Moss (1962, 1963) et Moss (1963, p.340) et il a décrit les particules fines transportées en suspension et les plus en suspension et roulement.

Alors, nous pouvons définir les processus de différenciation granulométrique qui sont liés aux trajectoires des grains grâce aux les travaux de Moss, 1962-1963 et Vischer, 1969 qui les introduites par Bagnold, 1941-1943 et Iman, 1952 : suspension, saltation et en roulement. Les résultats obtenus sont homogènes. Les courbes granulométriques en arrangées log- probabilité se divisent en trois sections, ce qui désigne que trois populations de grain existent dans le matériel sableux analysé, indiquant un mode de transport particulier en fonction de la taille des grains de sables.

Nous avons constaté que c'est le mode de transport par saltation qui domine l'ensemble des cas, et affecte 97% des grains. Le roulement, sous l'effet d'arrosage des grains en saltation (Fig 53) et la suspension sont faiblement exprimés et lorsqu'ils existent, ils n'affectent qu'un nombre réduit des grains.

En 1952, Rivière a élaboré une méthode permettant d'exprimer toute courbe granulométrique par une équation mathématique de type $y = axN + b$. Depuis cette date, plusieurs méthodes de calcul visant à définir N ont été proposées et la signification dynamique de ce paramètre a pu être précisée, principalement à travers les travaux du laboratoire de sédimentologie d'Orsay. Il est apparu très tôt que cette valeur N , quantifiant la concavité ou convexité de la forme générale de la courbe granulométrique, reflète avec précision le niveau énergétique régnant lors du

transport et du dépôt d'un sédiment (Jérôme Fournier, Chantal Bonnot-Courtois Raphael Paris, Olivier Voltaire, Monique Le Vot) (Fig. 53).

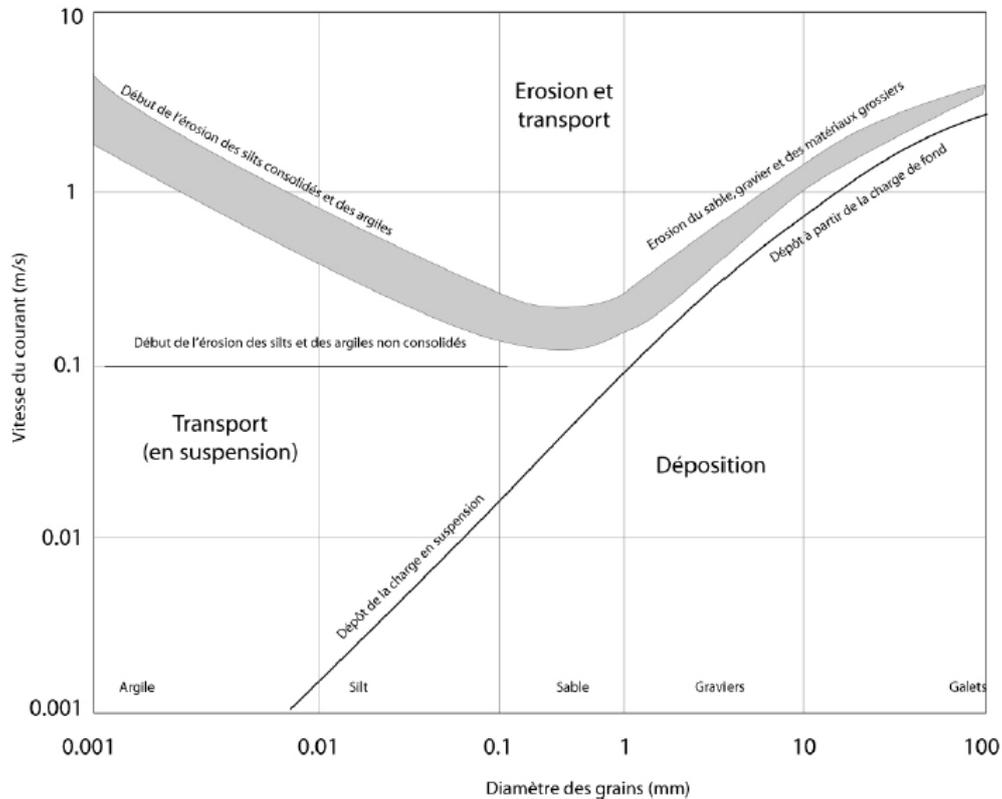


Figure N°53 : Diagramme de Hjulstrom. Relation entre la taille du grain, la vitesse de flux et le type de mouvement sédimentaire (densité du sédiment : 2.65 g/cm⁻⁵).

2.1.7 Caractéristiques granulométriques des sables :

Les courbes de figure 54 et 55, mettent en évidence que les diamètres les plus fins se trouvent sur le dos, sur le front et les accumulations sableuses de moins de 2 mètres. Les plus grossiers sont sur le pied et la crête.

Les sables de pied sont les plus grossiers et les plus mal triés. Leur hétérogénéité rend leur échantillonnage très aléatoire. Cela explique les écarts de tous les paramètres granulométriques d'un site à l'autre. Il n'y a pas de logique dans la variation de leurs paramètres granulométriques.

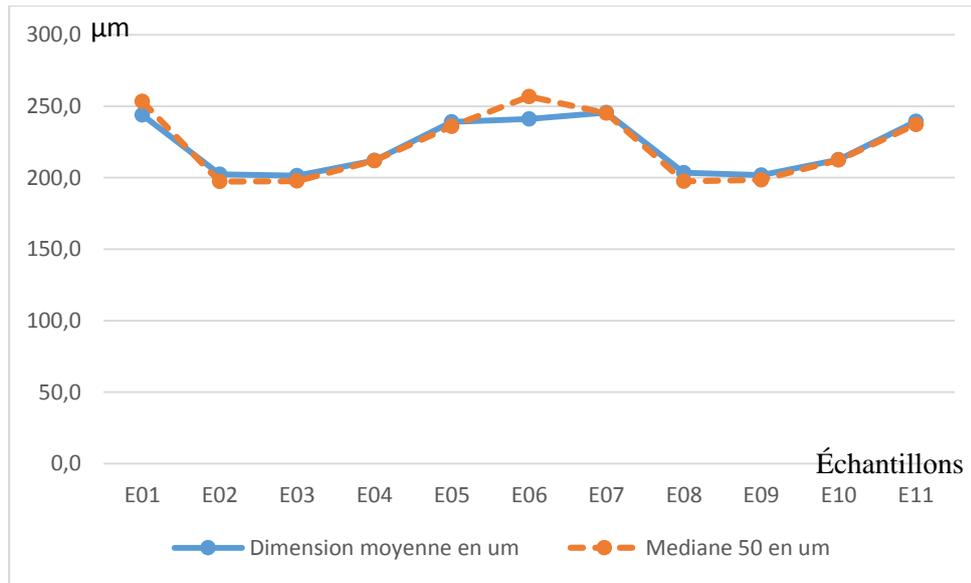


Figure N°54 : Diamètres moyens en μm et médiane des sables prélevés.

Mais le diamètre des particules des pieds reste supérieur à celui du front et de la crête. T.S. Ahlbrandt (1979) trouve un diamètre de 0.411 mm pour ce type d'échantillon et 0.293 mm sur la crête d'une barkhane de White Sand Monument.

Nous avons remarqué aussi que le sable de crête est plus grossier que les sables de front et dos. Ceci a été constaté par de nombreux auteurs. H. Alimen (1951) a noté la même problématique sur une barkhane de l'Ougarta ainsi que le chercheur A. Watson (1986) sur une barkhane de l'Erg Jafurah (Arabie Séoudite). A Rabjerg Mile (Danemark), sur une grande dune barkhanoïde, O. Barndorff-Nielsen et ai. (1982) ont exposé une augmentation du diamètre moyen de l'arrière de la dune vers la crête. Ce diamètre chute brusquement sur la face sous le vent.

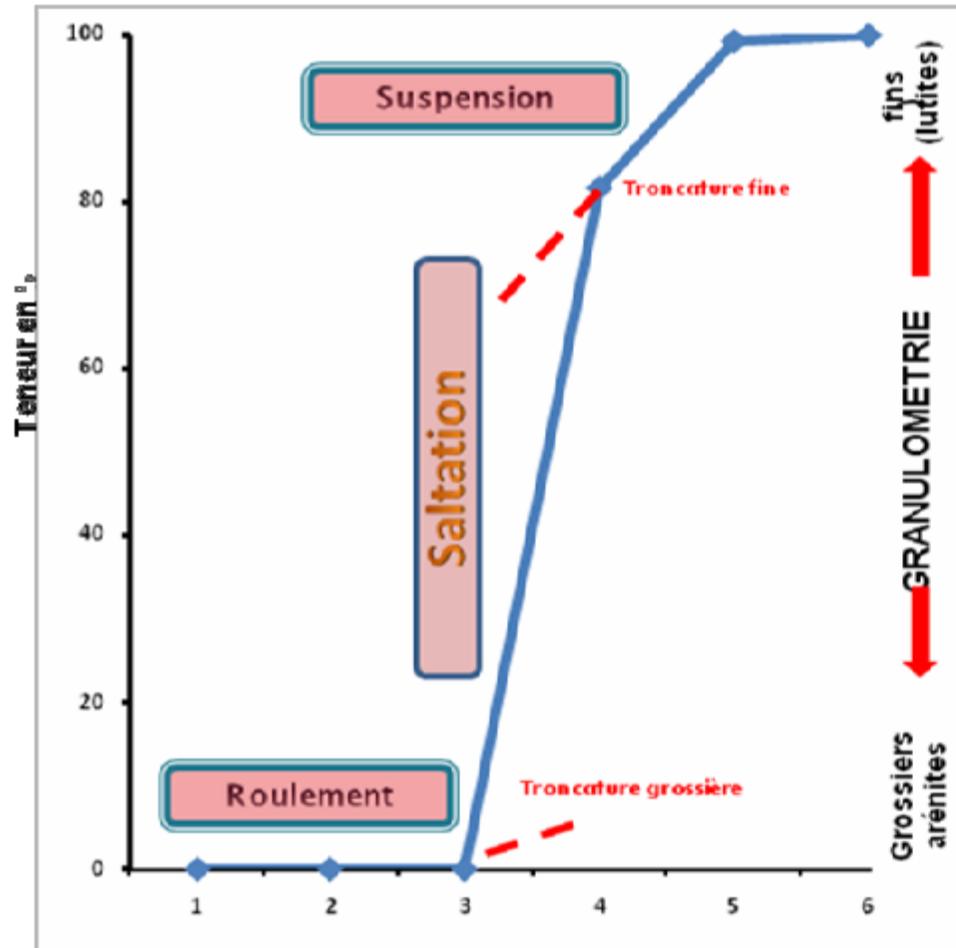
Le diamètre moyen du sable de crête est supérieur au diamètre du sable de front parce que les grains les plus gros sont davantage entraînés vers le bas lors des glissements de sable sur le front et vont donc augmenter le diamètre moyen des sables de pied. La gravité intervenant comme second agent de triage, le sable de front est mieux trié que le sable de crête.

L'inégalité entre le diamètre moyen du sable de dos et celui de la crête peut s'expliquer par l'aérodynamique de la dune. Sur le dos, la compression des filets de vent étant maximale. Par contre au sommet se manifestent les phénomènes de succion dus à l'incurvation des filets d'air. Ces phénomènes de succion agissent sur les particules les plus fines laissant les plus grosses sur la crête. Ceci est confirmé par les granulométries des grains en saltation sur la crête et qui se déposent sur le haut du front jusqu'à rompre l'angle d'équilibre du talus. Ceux-ci sont plus fins que les grains déposés sur la crête. F.A. Melton (1940) a remarqué que «*la crête fumante est le lieu de vannage où les petits grains sont enlevés à la dune*». D'autres auteurs ont montré

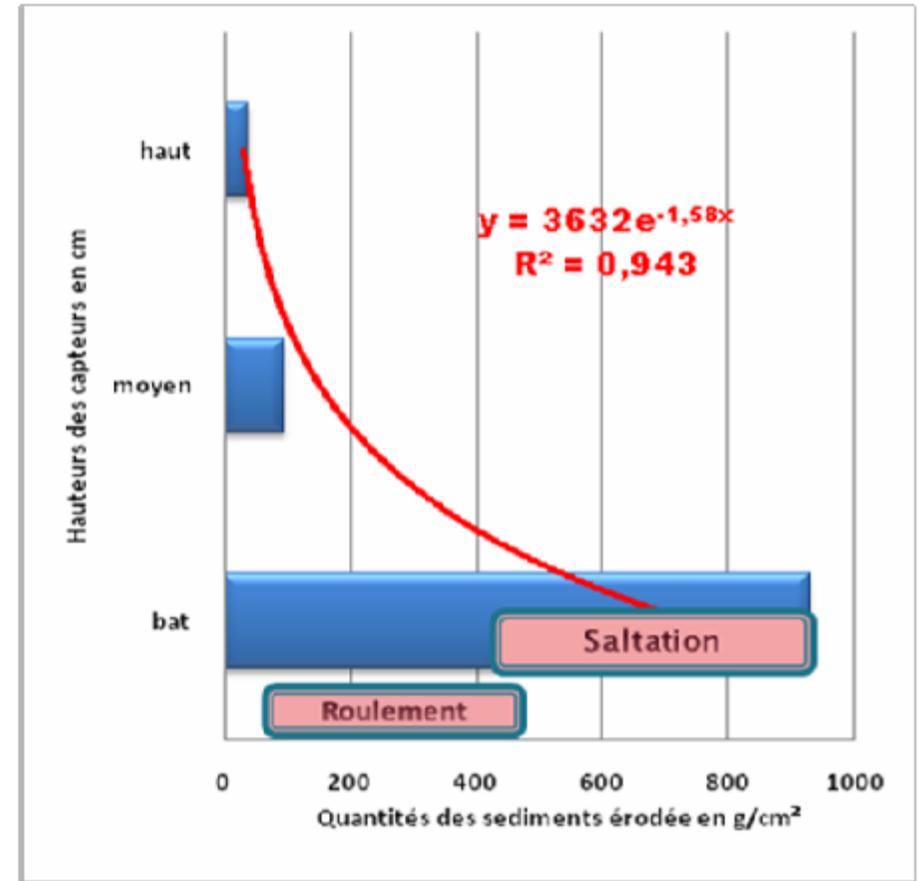
PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE
DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

un agrandissement du diamètre moyen avec l'augmentation de la hauteur des dunes (H.J. Finkel, 1959). La vitesse du vent augmentant avec la hauteur, il est normal de trouver les sables les moins fins dans les positions hautes des dunes. A une plus petite échelle, nous avons remarqué que sur les ripple-marks les diamètres moyens sont plus élevés sur les sommets que dans les creux. (Tarik Oulehri 1992).

Figure N°55 : Les principales processus de la dynamique éolienne (source : Ghannouchi 1996).



Test de Vischer



l'échantillonneur BSNE Standard (Frayear, 1986)

2.2 La Calcimétrie des échantillons des grains de sables du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

Le calcimètre le plus répandu est le calcimètre de Bernard.

2.2.1 Calcul des résultats :

Calcul et expression des résultats : $CaCO_3\% = [V1/V0]*100$

Echantillons	V1	CaCO3%	Observation
E01	2	7,4	SABLE FAIBLEMENT CALCAIRE
E02	1	3,7	SABLE NON CALCAIRE
E03	1	3,7	SABLE NON CALCAIRE
E04	0,5	1,85	SABLE NON CALCAIRE
E05	1,5	5,55	SABLE FAIBLEMENT CALCAIRE
E06	1,9	7,04	SABLE FAIBLEMENT CALCAIRE
E07	1,8	6,67	SABLE FAIBLEMENT CALCAIRE
E08	0,8	2,96	SABLE NON CALCAIRE
E09	0,9	3,33	SABLE NON CALCAIRE
E10	0,5	1,85	SABLE NON CALCAIRE
E11	1,6	5,93	SABLE FAIBLEMENT CALCAIRE

Tableau N°50 : Résultats de teneur en calcaire dans les échantillons.

L'analyse des résultats Calcimétrie (Tab. 50 et Fig. 56), montre un pourcentage bas en carbonates entre 1.85% et 7.4 % (CaCO₃). Les échantillons ont des sables faiblement calcaire et non calcaire.

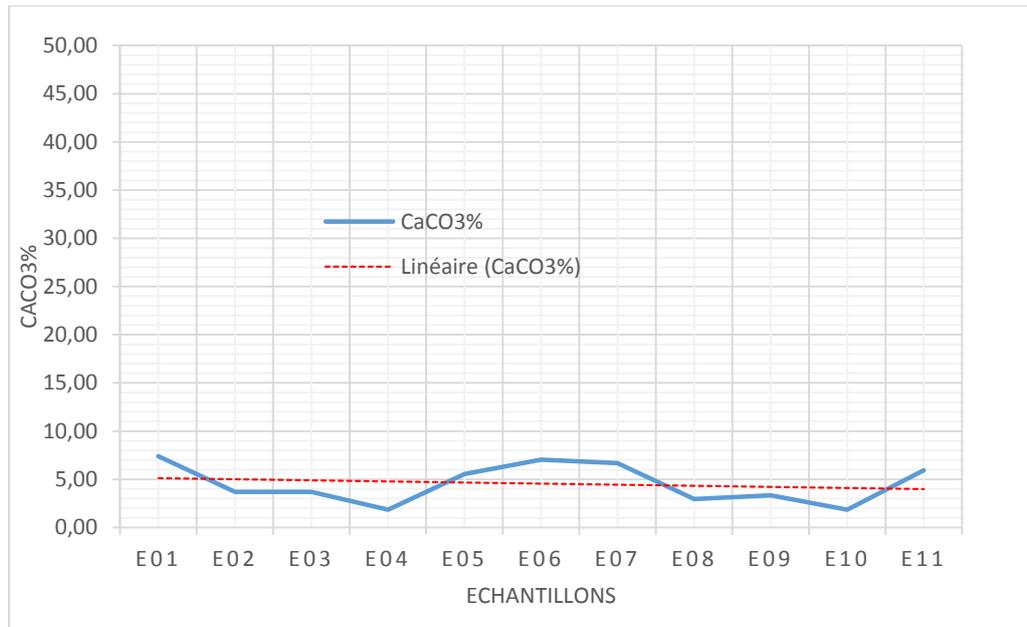


Figure N°56 : Pourcentage de carbonates CaCO₃ dans les échantillons.

2.2.2 Discussion :

Les analyses, présentent qu'une teneur très basse en carbonates dans les échantillons, sont prélevés sur des dunes proches, les échantillons ont été prélevés et analysés par plusieurs des méthodes physico-chimiques. Les résultats montrent que la silice qui sous forme de quartz et de calcédoine est le minéral le plus représenté avec 97%, tandis que les oxydes de l'aluminium, du potassium, du fer, du chrome et du manganèse sont probablement inclus dans une phase d'argile.

L'affleurement ou l'aire source de cette composition est probablement lié à l'action érosive du vent principalement la saltation, mettant à nu le sol et caractérisant ainsi une aire de déflation.

En conséquence, la variation de la distribution des carbonates est liée aux bioclastes appartenant à une faune d'origine double marine et d'eau douce, et à l'affleurement de la croûte calcaire qui constitue une source supplémentaire lors de l'action éolienne.

2.3 Teneur en matière organique des échantillons des grains de sables du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

La matière organique amplifie grandement la capacité d'échange cationique du sol et retient les nutriments assimilables par les plantes. Ainsi, la matière organique constitue un réservoir de nutriments lentement assimilables.

2.3.1 Calcul des résultats :

Considérant que 1 ml de dichromate de potassium $1 N = 4 mg$ de carbone

MI de dichromate potassium 1 N en excès 0,004

$$\% C = \frac{\text{MI de dichromate potassium 1 N en excès 0,004}}{\text{Poids du sol (g)}}$$

Considérant que la matière organique

$$(M. O.) = C \times 1,724$$

Résultats : (Tab 51)

Echantillons	RESULTAT	C%	MO%	mo*1000	Observation
E01	10,4	0,56198347	0,96942149	9,69421488	Sable très pauvre en matière organique
E02	11,8	0,09917355	0,17107438	1,7107438	Sable très pauvre en matière organique
E03	10,8	0,42975207	0,74132231	7,41322314	Sable très pauvre en matière organique
E04	10,8	0,42975207	0,74132231	7,41322314	Sable très pauvre en matière organique
E05	11,6	0,16528926	0,28512397	2,85123967	Sable très pauvre en matière organique
E06	10,3	0,59504132	1,02644628	10,2644628	Sable très pauvre en matière organique
E07	10,5	0,52892562	0,91239669	9,12396694	Sable très pauvre en matière organique
E08	11,9	0,0661157	0,11404959	1,14049587	Sable très pauvre en matière organique
E09	10,7	0,46280992	0,79834711	7,98347107	Sable très pauvre en matière organique
E10	10,9	0,39669421	0,68429752	6,84297521	Sable très pauvre en matière organique
E11	11,7	0,1322314	0,22809917	2,28099174	Sable très pauvre en matière organique

Tableau N°51 : Teneur en matière organique dans les échantillons du bassin versant.

L'analyse de la composition du matériel sableux au sein du système dunaire des Monts des Ksour, (Tab 51, Fig 57), montre une très faible teneur en fraction fine et en matière organique (limon, argile et matière organique). Cette tendance globale est interrompue par endroit et peut être liée à la présence ou l'absence de la couverture végétale susceptible de fournir la matière organique et par la suite augmenter le pourcentage de la fraction fine.

**PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION EOLIENNE
DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.**

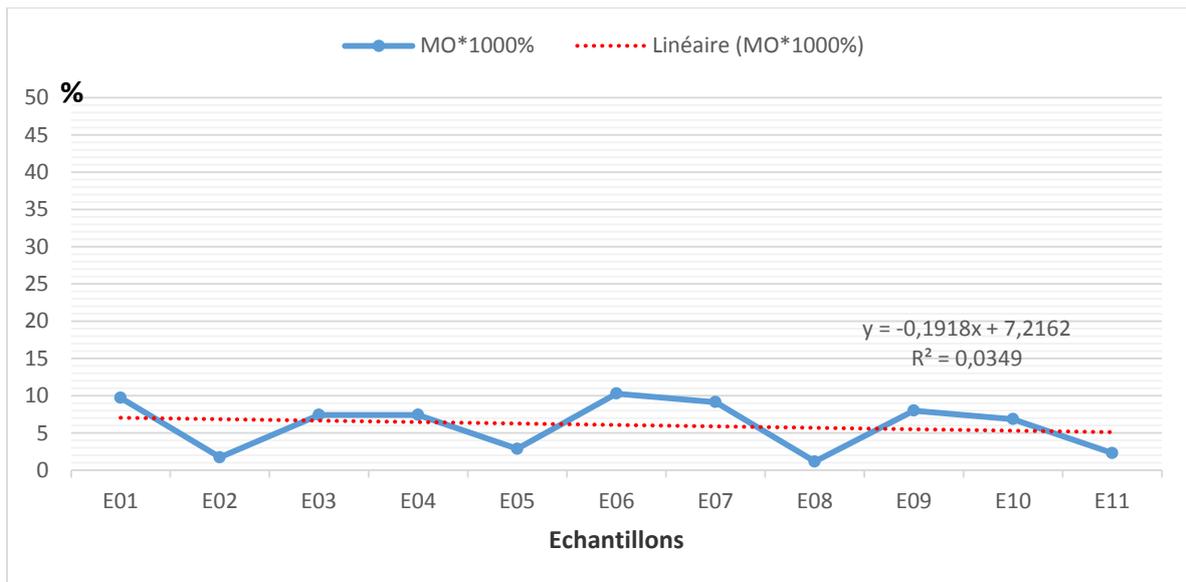


Figure N°57 : La composition du matériel sableux des échantillons.

2.4 La morphoscopie des échantillons des grains de sables du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

Lorsque nous avons observé le sable au travers d'une binoculaire, nous avons constaté que l'aspect d'un sable à l'autre est très différent par sa couleur, sa granulométrie voir même son odeur.

2.4.1 Types de grains et variations morphoscopiques :

Les examens préalables des sables ont montré de sables éoliens classiques de 72% de catégorie R.M, c'est à dire grains ronds mats sont dépoli et arrondis par un transport éolien, mais nous avons aussi trouvé des grains des catégorie (E.L.) grains émoussés luisants, qui ont des arêtes estompées par un transport hydrique de 19% et de 8 % de catégorie (N.U.) grains non usés, transparents ou colorés, anguleux et qui ont subi un faible transport (Tab A06 Annexe). Malgré cela la dynamique d'espace et l'observation des phénomènes vont dans le sens d'une éolisation intensif. Dès les premiers comptages il s'est avéré impossible d'utiliser les 3 catégories classiques définies par A. Cailleux (1942). Les Non Usés (NU) et les Emoussés Luisants (EL) ont été gardés. Par contre les Ronds Mats ont été remplacés par des Sub-Ronds Mats (SRM) et il a fallu ajouter la catégorie des Irréguliers Mats (IM). Ces derniers correspondent à ceux que H. Alimen (1951) a décrits comme suit : «A la différence des ronds mats, de forme sphérique ou ovoïde, ne portant que les imperceptibles marques de chocs décrites par L. Cayeux (1929), les irréguliers mats sont pourvus de saillies et de creux, d'angles émoussés, de traces de cassures souvent concoidales, en général dépolies et de points d'impacts (photo 03). La plupart sont isodiamétraux, sauf pour les plus fins où apparaît un léger allongement». Les ronds mats parfaits étant en forte proportion, nous les avons inclus dans la catégorie des SRM qui présentent le même aspect de surface piqueté mais une forme plus irrégulière.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

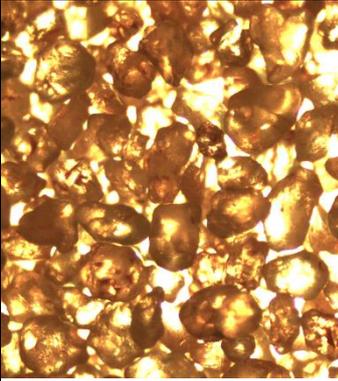
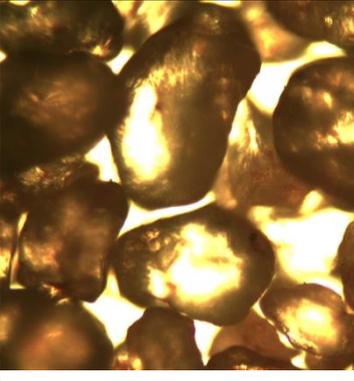
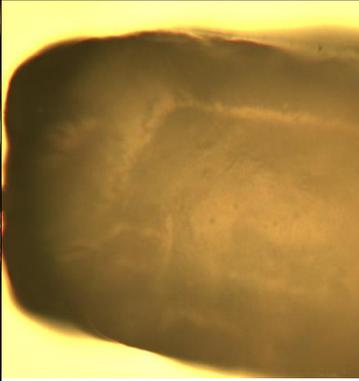
Echantillon	Démentions : X4	X10	X40
E 01 De catégorie RM			

Photo N°03 : Variations morphoscopiques de E01

(Voir Annexe Tableau A06 pour les autres échantillons)

Une observation de l'échantillon brut a permis d'écarter tout changement durant la préparation du sable dans le système dunaire situé au Sud de l'embouchure de l'Oued Ain Sefra, tout à fait classique avec une augmentation des SRM et des RM avec le transport éolien sous l'action des vents de Sud-Ouest.

Où ; N.U : grains non usés, transparents ou colorés, anguleux ont subi un faible transport ;

E.L : grains émoussés luisants, ont des arêtes estompées par un transport hydrique ;

R.M : grains ronds mats sont dépolis et arrondis par un transport éolien.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Le matériel sableux au niveau du système dunaire du bassin versant de l'Oued Ain Sefra est un sable moyen ou $M_c = 1,88\mu$ bien à assez bien classé. Il renferme les trois types de grains de quartz : les (NU), les (EL) et les (RM) en pourcentages variables. Les examens préalables des sables ont montré de sables éoliens classiques de 72% de catégorie R.M, c'est à dire grains ronds mats sont dépoli et arrondis par un transport éolien et il présente une teneur élevée en carbonate 47% $CaCO_3$ et un faible pourcentage en matière organique, limon et argile, de point de vue dynamique, que le transport éolien se fait essentiellement par saltation et affecte 98% des grains de sable, alors que le dépôt est dunaire. Le processus de la déflation a été bien enregistré au niveau de la fraction fine et l'usure des bioclastes qui ont montré un tri par degré d'amenuisement et un tri par vannage des tests réduit à l'état de poussière « loess » vers la périphérie du système. En conséquence, la sédimentologie a permis de vérifier que le matériel sableux du système dunaire des Mont des Ksour à Ain Sefra est véhiculé par les crues de l'Oued Ain Sefra jusqu'à l'embouchure, capté par la dynamique marine qui sous l'action, de la houle et les courants qui lui sont associés l'entraîne vers le Sud par une dérive SO-E, avant d'être repris et remanié par la dynamique éolienne qui l'évacue vers l'Est à l'intérieur du continent sous formes d'édifices dunaires donnant la forme actuelle du système.

III. Le déplacement potentiel des sables et quantification dans le bassin

versant de l'oued Ain Sefra de 1985 à 2015 :

L'érosion éolienne est la cause principale de tout ensablement où le vent joue le triple rôle d'agent érosif, de transport et de dépôt (formation des dunes). L'intensité de cette érosion dépend essentiellement de la compétence du vent qui est l'agent causal et des autres caractéristiques écologiques du milieu où s'exerce cette érosion.

Le vent est une masse d'air en mouvement selon une composante horizontale qui s'écoule des hautes vers les basses pressions. A partir d'une vitesse connue entre 4 et 6 m/s le vent soulève les grains du sol et entraîne leur déplacement. Donc à ce seuil, nous pouvons dire que le vent est efficace. Dans les grandes étendues des espaces désertiques, le vent atteint des vitesses considérables lui permettant d'exercer des actions érosives sur le sol par les mécanismes de dessèchement des parties superficielles du sol, émiettement du sol et arrachage des particules sableux, corrosion des roches et de la végétation et destruction par déchaussement de la végétation. Sous l'action d'un vent efficace, le sable est mis en mouvement par grains ou en masse. Les grains de sable se meuvent individuellement suivant l'un des trois modes de déplacement de grains par : la saltation, la reptation et la suspension. La densité, la granulométrie des grains et la vitesse du vent sont les facteurs qui interviennent dans le classement de ces modes de déplacement.

Le déplacement sableux est le processus le plus dangereux de la dynamique éolienne. Son étude et sa conception revêtent un intérêt majeur dans l'estimation du dispositif lutte mis en place contre le phénomène de l'ensablement.

La modélisation du déplacement potentiel des sables (D.P.S) a pour objectif d'exprimer qu'à partir d'une vitesse seuil, dictée par les lois physiques de la mécanique des fluides, nous pouvons donner une orientation théorique proche de l'orientation réelle et de lever la contradiction apparente entre « le régime des vents » et le « Les déplacements potentiels de sable » (El Ghannouchi, 2007).

Notre choix a été porté sur le bassin versant de l'Oued Ain Sefra puisqu'il se trouve dans les zones arides et présentes un cas d'exemple où l'ensablement demeure l'une des préoccupations majeures des collectivités locales.

Notre intérêt dans cette étude a concerné les effets des vents sur les déplacements sableux et le modelé dunaire de la région. Il s'agit de distinguer « régime des vents » et « le déplacement potentiel des sables ». Les données anémométriques ont été recueillies à la station d'Ain Sefra selon 16 directions et 8 relevés des observations par jour pendant 30 ans consécutifs, de 1985 à 2015. Nous avons traité ces données pour l'estimation de la quantité des sables déplacée et l'évaluation du phénomène de l'ensablement.

En conséquence, nous avons voulu comprendre si les sables transportés constituent des sources de risque réel sur les zones construites ainsi que sur les infrastructures socio-économiques.

1. Matériels et méthodes :

Les principaux obstacles responsables de l'ensablement se distinguent en 3 catégories : les obstacles naturels topographiques, les obstacles mécaniques et les obstacles vivant. Nous avons été surtout intéressés par les effets des vents sur les déplacements sableux et le modelé dunaire de la région : il s'agit de distinguer « régime des vents » et « le déplacement potentiel des sables ». Les données anémométriques ont été recueillies à la station d'Ain Sefra selon 16 directions et 8 relevés des observations par jour pendant 30 ans consécutifs, de 1985 à 2015. Nous avons traité ces données pour l'estimation le rôle du vent sur le phénomène de l'ensablement. Dans cette étude, des tests d'analyse des valeurs manquantes et d'homogénéité ont été effectués pour toutes les données anémométriques. Les observations à l'état brut ont été tabulées sur la valeur de la vitesse (en m/s) et la direction (en azimut).(Fig.A07 Annexe)

1.1 Régime des vents :

Pour étudier le vent en tant qu'agent d'érosion et afin de dégager les principales sources de sable, et la résultante de son déplacement, deux facteurs ont été pris en considération : la fréquence et la vitesse des vents selon les 16 directions.

L'étude du régime des vents efficaces, c'est-à-dire l'aptitude des vents à arracher et transporter une particule sableuse, dont la vitesse est supérieure à $4 m/s$ qui a été choisie par Y.CALLOT (1987) dans son étude : « géomorphologie et paleoenvironnements de l'atlas saharien au grand erg occidental : dynamique éolienne et paléo - lacs holocènes » sur l'ensemble de l'Atlas Saharien et notamment à Ain Sefra pour la période 1978-1982. L'étude de régime des vents doit ignorer les vents d'une vitesse inférieure à celle de mise en mouvement des sables. Le seuil au-delà duquel il se produit, souvent discuté, se situe entre 4 et 6m/sec. Intégrer des vitesses inférieures à un calcul des déplacements conduit à des erreurs souvent commises (Callot, 1987). Si nous tenons compte de ces réserves, ne sont plus utilisables que les relevés où nous connaissons pour chaque direction la fréquence et la force x observations d'un vent de direction y entre 0 et 4m/S, x' entre 4 et 6m/s, et plus de 06 m/s. Il est possible de faire une rose des vents efficaces et de calculer à partir de cette dernière la résultante des vents efficace annuels qui donne une image approximative des déplacements potentiels du sable autour de la station d'Aïn Séfra. (Callot, 1987).

1.1.1 Régime des vents efficaces (AIN SEFRA 1985-2015) :

Pour étudier les régimes des vents , nous avons besoin des relevés des vitesses des vents selon les 16 directions pendant une période avec 8 relevés par jour (00,03,06,09,12,15 ,18,21H) .

A Ain-Sefra, nous avons presque 876007 observations répartirent sur 30 ans × 8 relevés × 365 jours et ce, de 1985 à 2015 (par considération les 07 jours de 29 février). Les observations sont groupées sous forme de calasses de vitesses, qui se présentent comme suit : la classe de vitesse moins de 04m /s représenter les vents légers, la classe de vitesse entre 04 à 06m /s représenter les vents efficaces et la classe de vitesse plus de 06 m /s représenter les vents efficaces moyens et forts jusque violents.

1.2 Les déplacements potentiels de sable :

La migration des sables est l'un des processus majeurs de la géodynamique externe des régions arides. Le vent ne met en mouvement que du matériel disponible, c'est-à-dire exposé à son action et dont les caractéristiques font qu'il peut être mobilisé (Venard, 2012).

La forme et l'orientation des dunes dans les déserts dépendent principalement de la force et de la direction du vent (Dubief, 1953).

Nous avons montré ici la relation entre la force du vent et le déplacement du sable mais il n'y a pas forcément une relation directe entre les plus grandes fréquences et les plus grandes forces des vents (Callot, 1987).

Les observations enregistrées sur le vent pour la station météorologique d'Ain Sefra portent sur des longues périodes (1985-2015), elles sont représentées sous forme de diagramme simple avec des vecteurs représentant le mouvement du sable à l'aide d'un logiciel de B.CHOPY(1985) nommé «sable ».

Les mesures en laboratoire de la vitesse-seuil de mise en mouvement ont permis de montrer qu'elle était généralement comprise entre 4 m/s et 6, 25 m/s suivant les caractéristiques du milieu considéré (Oulehri, 1992).

Les auteurs ont retenu en général 4 m/s comme vitesse-seuil de mobilisation mais 6 m/s comme valeur à partir de laquelle la mobilisation est suffisante pour avoir un effet morphologique (Callot et Oulehri, 1996).

D'autres auteurs ont admis 4m/s comme vitesse seuil pour la mobilisation des grains de sable, mais ils ont considéré 6m/s comme étant la vitesse à partir de laquelle le vent prend en charge le sable pour modifier la morphologie des dunes (Capo.rey, 1963 ; Clos.ardue, 1969 et Glenine, 1970).

Des nombreuses études ont été portées sur les vents à la station d'Ain Sefra parmi lesquelles nous avons évoqué celles de J. Dubief (1925-1952), Y. Callot (1978-1983).

Selon les auteurs ayant déjà étudié les DPS éoliens, la vitesse d'arrachement (V_t) varie entre 4 m/s et 6.25 m/s (vitesse du vent à 10 m de hauteur).

Ainsi, nous pouvons citer :

RA. Bagnold (1951) $V_t = 4.4 \text{ m/s}$

R.A. Bagnold (1954) $V_i = 6.25 \text{ m/s}$

D.S. Fryberger (1978) $V_t = 6.17 \text{ m/s}$

N. Lancaster (1982) $V_t = 4 \text{ m/s}$

D'autres auteurs ont admis 4 m/s comme vitesse seuil pour la mobilisation des sables mais ils ont considéré 6 m/s comme étant la vitesse à partir de laquelle le vent prend en charge suffisamment de sable pour modifier la morphologie des dunes (R. Capot-Rey, 1965; A. Clos-Arceuduc, 1969; K.W. Glennie, 1970) (Oulehri, 1992).

1.2.1 Calcul théorique de cette vitesse :

Le diamètre moyen des sables dans la région de Ain Sefra déjà calculé précédemment est compris entre 0.20 et 0.24 mm et d'après la courbe de R.A. Bagnold (1941) lui donne une vitesse seuil théorique de 20 cm/s au niveau du sol soit 5.20 m/s à 10 m de hauteur.

Une mesure de V_t a été faite sur un échantillon du secteur du cap Juby dans un "wind-tunnel" au Cemagref de Grenoble. Cet échantillon avait un diamètre moyen de 0.248 mm. F. Naiim rapporte dans un compte rendu de l'expérience (correspondance personnelle) que la V_t fut de 43 cm/s soit 11 m/s à 10 m de hauteur. Cette valeur est très élevée par rapport à la valeur théorique (25 cm/s soit 6.5 m/s à 10 m de hauteur) donnée par la courbe de R.A. Bagnold (1941). Mais F. signale la même anomalie pour des sables du Mali.

Signalons que dans les études faites pour déterminer V_t , la turbulence thermique et mécanique, difficile à intégrer dans les calculs, a été négligée alors qu'elle joue un rôle important dans l'entraînement des particules.

Valeurs retenues : Comme nous n'avons pas pu préciser davantage la valeur de la vitesse seuil, nous avons pris à la fois 5 et 6 m/s pour valeur de V_t .

Les vents compris entre 5 et 6 m/s représentent une importante proportion. Donc nous avons calculé les DPS avec ces deux vitesses seuil avant de choisir celle qui correspond le mieux à la réalité.

1.2.2 Présentation du logiciel :

Grâce au logiciel « sable » qui calcule les coefficients de déplacements des sables, nous avons traité les données anémométriques. Yann Callot (1987) a considéré que la vitesse minimale d'arrachement ou vitesse seuil est (6m /s) et la 5 m/s est pour la comparaison.

Le logiciel de B.Chopy(1987) a été programmé suivant à une formule de Lettau (1967) facilitée par S.G Fryberger(1979). Donc, le logiciel « **sable** » a permis de définir :

- la capacité de transport (**DP**)
- le module de résultante (**RDP**)
- le coefficient de migration (**RDP/DP**)
- le déplacement potentiel d'une quantité de sable selon une direction donnée (**D.P.S**).

Le programme s'appuie sur l'équation de *Lettau (1969)* simplifiée par S.G.Fryberger (1979)

$$q = V^*{}^2 (V^* - V_t) C'' \cdot S / g \dots (1)$$

Avec :

q : quantité de sable transportée

V^* : vitesse du vent

V_t : vitesse seuil (*vitesse minimale d'arrachement du sable*)

S : densité de l'air

G : constante de la gravité

C'' : constante empirique fondée sur la taille des grains

Et où $C'' = C' (\mathcal{L} / \mathcal{L}^*)^n$

C' : constante universelle pour le sable (= 6,7)

\mathcal{L} : Diamètre des grains de sables transportés

\mathcal{L}^* : 0,25 mm (diamètre standard)

n : constante empirique

A partir de la formule (1), S.G.Fryberger (1979) a proposé une formule simplifiée tenant compte de la complexité des milieux naturels (rugosité) et qui n'évalue plus la quantité de sable transportée mais le potentiel d'arrachement des sables.

Il a considéré ensuite que la vitesse d'arrachement étant proportionnelle à la vitesse du vent à une hauteur donnée, et il est possible de généraliser en une formule évaluant le déplacement potentiel du sable (DPS) comme suit :

$$q = V^2 (V - V_t) \dots (2)$$

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Avec :

V : vitesse du vent à 10 m de hauteur (en nœuds)

V_t : vitesse seuil à 10 m de hauteur (en nœuds)

La quantification des D.P.S obtenue est estimée en unité vectorielle, S.G.Fryberger (1979) a rendu possible l'estimation de ces D.P.S en $m^3/m/an$ ou encore en $kg/m/an$ grâce à l'utilisation d'équations permettant la corrélation entre la capacité de transport et le volume de sable déplacé : il faut passer d'une opération théorique à une estimation en volume ou en masse du matériel transporté à travers une section donnée et pendant un temps donné.

L'équivalent en $m^3/m/an$ d'un (DP) en « unité vectorielle » varie selon l'équation de quantification et des valeurs de paramètres utilisés (coefficient de rugosité etc.). Mais cet équivalent est toujours proportionnel à la DP.

Une masse (m) de sable occupe un volume dans un bécher et à l'aide d'une éprouvette, nous avons saturé le sable en eau en rajoutant un volume (V), jusqu'à ce qu'elle affleure à la surface du sédiment (El Ghannouchi, 2007).

Calcul :

Masse volumique de la dune : $\rho = \frac{m}{V}$

Porosité : % porosité = $\rho = \frac{m}{V} \times 100$

Densité du sable :

$$d = \frac{\text{Masse d'1 cm}^3 \text{ de sable}}{\text{Masse d'1 cm}^3 \text{ d'eau (1g)}}$$

$$d = \frac{m}{V - v}$$

Donc les (DPS) en volume (q) peuvent être convertis en (DPS) en masse (Q') en kg/m .

$Q' = 0,0692 q$: la quantité de sable transportée en $m^3/m/an$.

$Q'' = 1670 Q'$: la quantité de sable transportée en $kg/m/an$.

À partir de cette corrélation, une comparaison temporo-patiale en directions et intensités est rendue possible. Nous avons pu calculer ainsi, la quantité de sable transportée pour chaque vitesse et direction des relevés. Le coefficient pour une direction donnée résulte du produit entre la fréquence d'observation (f) de chaque vitesse supérieure à la vitesse d'arrachement et le potentiel de déplacement (DPS) obtenu par la formule (2).

En vue de rendre l'utilisation de ce coefficient plus pratique, il est nécessaire de diviser le coefficient par 100 (S.G.Fryberger, 1979) mais aussi de le diviser par 12,5 (Y.Callot, 1996) afin de le rendre compatible avec les vitesses exprimées en m/s .

D'où le coefficient de transport de sable est comme suit :

$$Q = q \cdot f / 12,5$$

L'apport du programme « sable » élaboré par (B.Choppy, 1985) est considérable, puisqu'il permet un calcul rapide des coefficients mis au point par (S.G.Fryberger, 1979).

Les résultats probants d'une part et le gain de temps énorme pour l'obtention de ces derniers d'autre part compensent largement la dure et longue tâche de saisie des masses de données des vents. Les facteurs de pondération pour cinq catégories de vitesse du vent ont été calculés de la manière indiquée dans le tableau 52.

Velocity category (Km/h)	Velocity category (knots)	Mean velocity of winds in category V	V ²	(V-vt) 1.5	Weighting factor V ² (v-vt)/100
20-30	11-16	13.5	182.3	1.5	2.7
31-39	17-21	19.0	361.0	7.0	25.3
40-50	22-27	24.5	600.3	12.5	75.0
52-61	28-33	30.5	930.3	18.5	172.1
63-74	34-40	37.0	1369.0	25.0	342.3

Tableau N°52 : Exemple de Fryberger (1979) pour démontrer le calcul des facteurs de pondération. (Al-Awadhi, Al-Helal et Al-Enezi 2005)

Les coefficients de déplacement potentiel des sables

Le déplacement potentiel des sables déterminé par les coefficients suivants :

A-La capacité de transport des sables DP : en fonction de l'importance des vents forts dans la région, ce coefficient permet de distinguer les milieux à haute énergie ou le coefficient est supérieur à 400, à moyen énergie ou il est compris entre 400 et de 200 et à faible énergie ou il est inférieur à 200. Elle renseigne sur la totalité du déplacement potentiel des sables donc, la somme du déplacement selon les seize directions. La capacité de transport distingue les milieux en fonction de leurs différentes énergies éoliennes avec :

$q < 200$: zone à faible énergie éolienne.

$200 < q < 400$: zone à énergie moyenne.

$q > 400$: zone à forte énergie éolienne.

B-Le modèle de la résultante (RDP) : ce coefficient est le vecteur de la force potentielle de migration des seize directions donc, la résultante de la capacité de transport de ces dernières sous forme d'une somme vectorielle.

C-La direction résultante en degré ° (RDD) : l'angle moyen d'orientation exprime la direction de migration des sables. Elle représente le vecteur résultant de la rose de migration des sables.

La direction résultante et son potentiel de migration (des sables) résultant sont d'un grand intérêt dans la mesure où il fournit des informations sur la direction vers laquelle le sable devrait migrer, les quelles peuvent être comparées aux observations au sol ou aux photographies aériennes ou à l'image de satellite.

D-Le coefficient de migration (RDP/DP) : c'est le rapport des deux coefficients (**RDP/DP**) ce rapport exprime le caractère plus ou moins orienté des déplacements de sable. Ce coefficient est considéré comme :

Elevé : lorsqu'il est supérieur à 0.8 et produit dans un transport de sable sur de longues distances.

Moyen : lorsqu'il est compris entre 0.8 à 0.3 en produisant toujours un transport de sable sur de longues distances.

Faible : lorsqu'il est inférieur à 0.3. dans ce cas, les vents ont tendance à souffler de toute les directions et à remuer le sable sans qu'ils ne provoquent de déplacement notable. (Mobilité de sable sans déplacement important).

Ces coefficients nous ont permis de tracer des roses de déplacement potentiel des sables que nous avons par la suite les analysées et les comparées entre elles.

E-Les roses de migration des sables : Il s'agit de la représentation graphique des déplacements potentiels de sable et plus précisément des coefficients énumérés plus haut.

L'intérêt graphique des roses de mobilisation ou de migration des sables est la possibilité de comparaison de ces dernières entre elles mais aussi avec celles d'autres régions ou régions voisines.

D'après l'ordre de dispersion croissante (S.G.Fryberger, 1979), ils existent cinq types de roses de migration des sables :

- Uni modales étroites avec plus de 90% du potentiel de transport situé dans deux directions adjacentes, à l'intérieur d'un arc de cercle de 45°.
- Uni modales larges avec un seul pic de direction de transport mais où, la distribution est plus large.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

- Bi modales aiguës avec une direction ou une distribution à deux modes et où, les pics des deux modes forment un angle aiguë (γ compris 90°).
- Bi modales obtuses, la distribution est similaire à la précédente mais là, les pics des deux modes forment un angle obtus
- Complexes avec une distribution qui comporte plus de deux modes, difficiles à établir sur seulement seize directions et le plus fréquemment, il n'existe pas de modes bien définis.

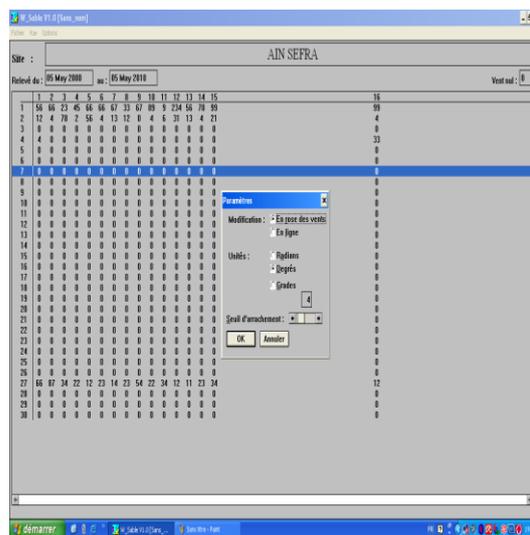
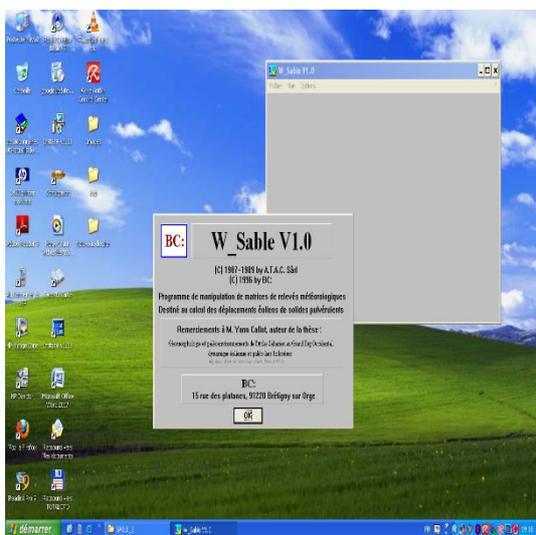


Photo n° 04 et 05 : logiciel de sable modifié par choppy et utilisé par Yann callot.

2. Interprétation des résultats et discussion (station métrologique Ain Sefra) :

2.1 Traitement du régime des calmes au bassin versant de l'Oued Ain Sefra:

Dans la station d'Ain Sefra les données qui s'étendent de 1985 à 2015 présentent relativement un taux de fréquences des vents équivalent à 26498 relevés d'où un taux moyen de calmes de 50.30 %. D'après le tableau 52 et figure 58 et 59, nous avons remarqué que le taux du calme est différent d'un mois à l'autre, il passe de 50% dans sept mois seulement sont janvier, février, août, septembre, octobre, novembre et décembre (représente le maximum 57.41%), les autres mois ont un taux de moins de 50% (le minimum 39.23% en avril), il est mis en évidence la prédominance des vents efficaces dans la période printanier (vernal) et estivale.

2.2 Le régime des vents efficaces de 1985 à 2015 :

Les fréquences des vents efficaces représentent 26176 observations soit 49.69% (38.6% entre 04-06 m/s et 11.1 plus de 06 m/s) distribuées en deux classes des vitesses qui sont : (Tab. 53 et 54, Fig. 58 et 59)

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

-La classe de vitesse de 4 à 6 m/s la plus fréquente avec 20341 observations soit 77.70%.

-La classe de vitesse plus de 06 m/s avec 5835 observations soit 22.29%.

Taux % 1985-2015	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
<04m/s	54.19	54.17	48.1	39.23	41.58	46.54	49.97	55.24	52.91	56.83	55.96	57.1
04- 06 m/s	37.7	37.34	37.52	41.1	40.58	41.86	40.11	35.46	38.6	34.76	37.64	37.36
>06m/s	8.09	8.47	14.37	18.76	18.03	11.6	9.9	9.24	8.48	8.4	6.4	5.54

Tableau N°53 : Taux mensuel des vents efficaces dans la période 1985-2015 à Ain Sefra.

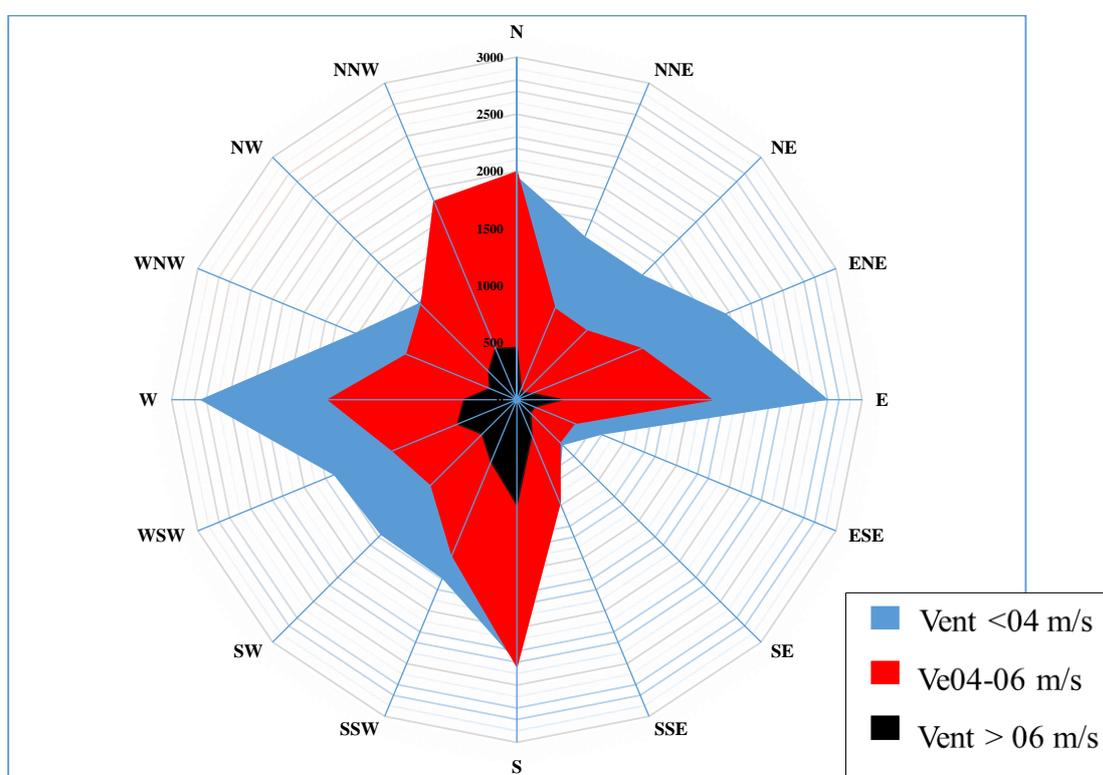


Figure N°58 : Rose du régime annuel des vents dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra – station météorologique Ain Sefra (1985 – 2015)

<i>%</i>	<i><4 m/s</i>	<i>4-6 m/s</i>	<i>>6 m/s</i>	<i>Total%</i>
<i>N</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>8</i>
<i>NNE</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>5</i>
<i>NE</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>5</i>
<i>ENE</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>6</i>
<i>E</i>	<i>5</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>9</i>
<i>ESE</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>3</i>
<i>SE</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>2</i>
<i>SSE</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>4</i>
<i>S</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>11</i>
<i>SSW</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>7</i>
<i>SW</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>6</i>
<i>WSW</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>7</i>
<i>W</i>	<i>5</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>9</i>
<i>WNW</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>5</i>
<i>NW</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>5</i>
<i>NNW</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>8</i>

Tableau N°54 : Taux des vents efficaces de période selon les 16 directions dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra – station météorologique Ain Sefra (1985-2015).

Les régimes annuels des vents de la station d'Ain Sefra démontrent qu'elle est soumise à deux secteurs opposés, N et S avec la dominance des directions S, SW et N. (t Tab. 54- 55).

De septembre à février, les vents les plus fréquents sont de directions opposées N et S, il y'a une oscillation. Mais de mars à mai, ce sont les vents du N et de l'W qui sont les plus efficaces. Par contre de juin à août, les vents les plus efficaces sont de direction S et N.

Ces résultats sont représentés par la rose des vents efficaces de 1985 à 2015 (Fig. 58- 59) qui met en évidence la prédominance des directions précédentes avec les différentes classes des vitesses, ainsi que des autres directions considérables telles que WSW, SW, SSE, ESE, SE, NE et WNW qui ont des classes des vitesses variées.

De façon générale, la rose des vents efficaces montre que les secteurs de S, SW et N sont les plus remarquables.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Nous avons remarqué que ces régimes précédents correspondent à la répartition des saisons de l'année, qui nous stimulent d'étudier le régime des vents saisonnière.

<i>% 1985-2015</i>	<i><4 m/s</i>	<i>4- 6 m/s</i>	<i>>6 m/s</i>
Septembre	53	39	8
Octobre	57	35	8
Novembre	56	38	6
Décembre	57	37	6
Janvier	54	38	8
Février	54	37	8
Mars	48	38	14
Avril	39	41	19
Mai	42	41	18
Juin	47	42	12
Juillet	50	40	10
Aout	55	35	9

Tableau N°55 : Fréquence mensuelle (en pourcentage) des classes de vent et vitesse moyenne mensuelle du vent à la station d'Ain Sefra pour la période 1985-2015.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

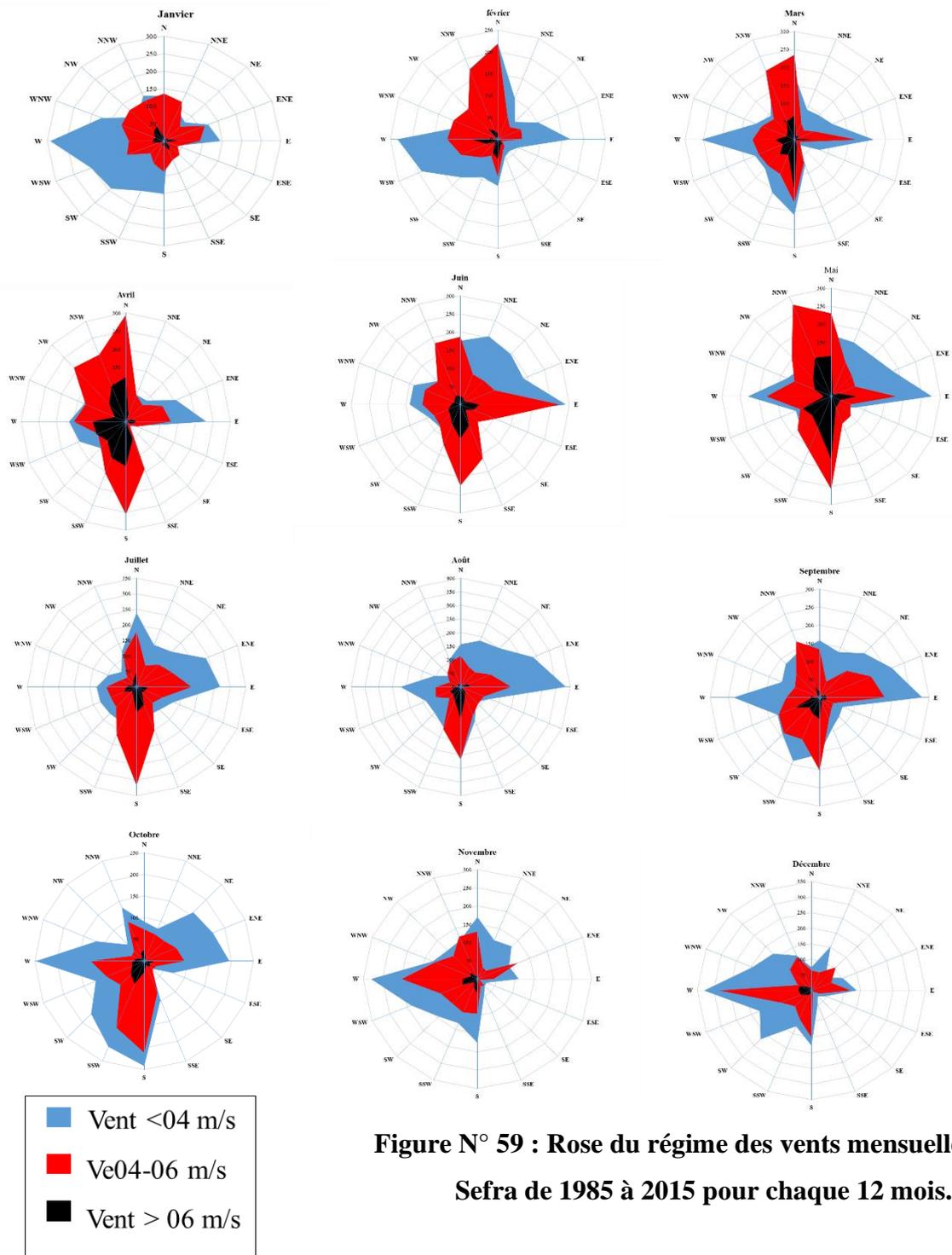


Figure N° 59 : Rose du régime des vents mensuelle à Ain Sefra de 1985 à 2015 pour chaque 12 mois.

2.2.1 Le régime saisonnier des vents efficaces entre 1985 et 2015 :

L'année climatique d'Ain Sefra est subdivisée en deux grandes saisons, une saison froide et relativement humide qui s'étend de novembre à avril et une saison chaude et sèche allant de mai à octobre. Et cette subdivision se trouve en corrélation avec les régimes des vents (Fig. 60) : Le printemps (mars, avril et mai) : c'est la période où les vents efficaces sont les plus fréquents, les observations enregistrées sont 15001 soit 30.8% se répartissent à des directions notamment le Sud, le Nord et le NNW.

L'été (juin, juillet et août) : dans cette saison nous remarquons que les vents efficaces représentent 14671 soit 27.6% sont les plus fréquents dans le secteur du Sud, puis le SSW et SSE, ainsi que dans l'Est.

L'automne : la répétition des vents efficaces est moindre en cette ère, elle est représenté de 11998 observation soit 22.7% essentiellement. Nous avons remarqué que les vents se distribuent à plusieurs directions : celles du sud, SSW et du NNW.

Pour l'hiver : où les vents efficaces sont moins fréquent dans l'année, nous avons seulement 11004 observations qui représentent 20.89 % se distribuent en plusieurs directions principalement le Nord et le NNW.

Le rapprochement entre ces résultats annuelles, saisonnières et mensuelles affirment que les vents efficaces sont plus fréquents au printemps et en été, mais avec des directions déférentes et parfois sont inversées (N et S), dans l'automne et l'hiver les fréquences des vents efficaces sont moindre et les directions sont presque les mêmes (W et S).

Le sens des directions des vents efficaces joue un rôle fondamental dans la migration du sable que nous pouvons voir surtout dans le déplacement potentiel du sable D.P.S.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

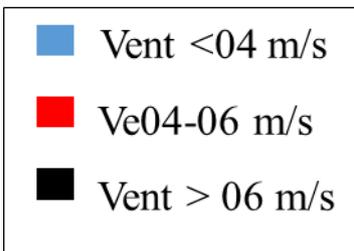
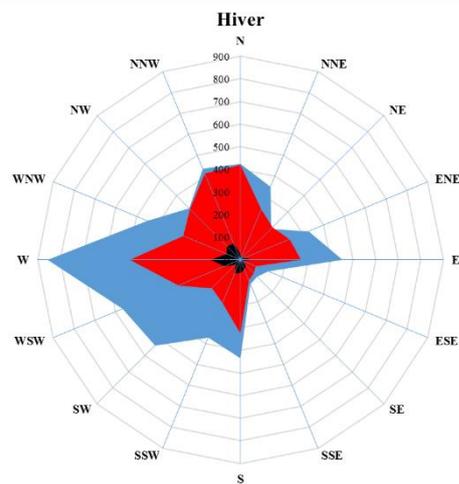
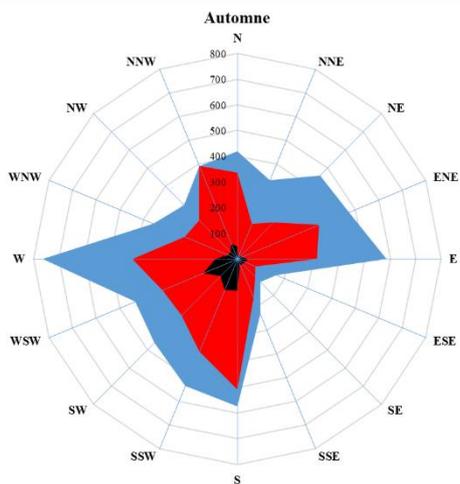
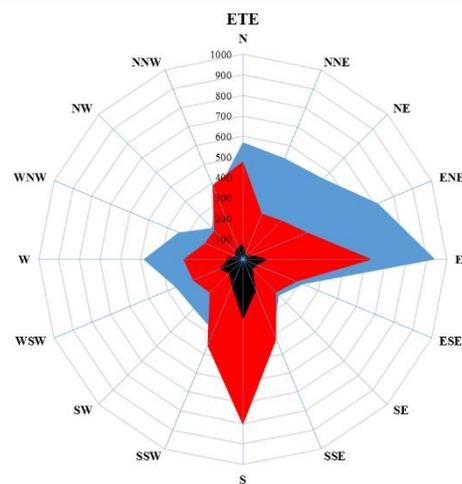
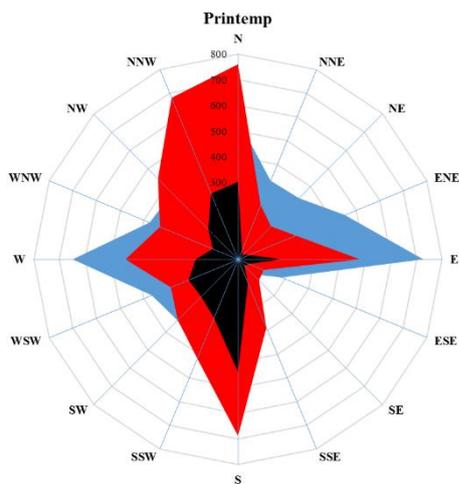


Figure N°60: Rose du régime des vents saisonnière à Ain Sefra de 1985 à 2015 pendant les saisons.

2.3 Les déplacements potentiels de sable au bassin versant de l'Oued Ain Sefra (station métrologique Ain Sefra) :

Après avoir déterminé les différents régimes des vents efficaces, l'étape suivante de notre étude est la quantification des déplacements potentiels de sable à travers les différentes zones étudiées, une approche basée sur l'utilisation du logiciel «sable» de B.Choppy (1985).

2.3.1 Les résultats obtenus :

D'après la rémunération par logiciel de B.Choppy « sable » des relevés des vents à station métrologique d'Ain Sefra, de 1985 à 2015, pour les 30 années d'observation et pour l'ensemble de la région d'étude nous avons quantifié les coefficients d'énergies potentielles pour la région d'Ain Sefra, le déplacement et la dérive potentielle de la quantité de sable que le vent est compétent de transporter se font vers la direction Nord-Est pour la durée entre 1985 et 2015. Nous avons obtenu les résultats suivants (Tab. 56) :

<i>Vitesse seuil</i>		6 m/s	5m/s
<i>Capacité de transport</i>	<i>Valeurs en u.v</i>	115618	173009
DP	<i>Valeurs Ramenée à 100</i>	220	329
<i>Module de la</i>	<i>Valeurs en u.v</i>	40120	51854
<i>résultante RDP</i>	<i>Valeurs Ramenée à 100</i>	76	99
<i>RDP/DP</i>		0.34	0.30
<i>Angle moyen d'orientation RDD</i>		234°	234°

Tableau N°56 : Les résultats obtenus d'après la rémunération par logiciel de B.choppy « sable » des relevés des vents à Ain Sefra, de 1985-2015.

A Ain Sefra, la capacité de transport est grande et classe la région dans la catégorie des milieux à haute énergie selon la classification établie par Fryberger (1979). Le coefficient de migration de sable est faible, il se caractérise par une mobilité de sable sans qu'il y ait un déplacement notable de sable, selon la classification de Fryberger (1979). Quand ce coefficient atteint une valeur inférieure à 0.3, les vents ont une tendance à souffler dans toutes les directions et à remuer le sable sans qu'ils ne provoquent de déplacement notable.

« En réalité il existe pour les deux méthodes des lacunes concernant le phénomène de turbulence du vent qui n'est mesurée par aucune station météorologique. » (Bensaid, 2006).

2.3.1.1 La capacité de transport (DP) :

La capacité de transport (DP) pour l'ensemble de la série de 1985 à 2015, avec une vitesse d'arrachement de 6 m/s est de l'ordre de 220 U.V et de 329 pour la vitesse d'arrachement 5m/s, ceci permet de considérer la zone de Ain Sefra comme étant une zone à énergie éolienne moyenne dans les deux cas.

L'utilisation des équations de S.G.Fryberger (1979) pour la corrélation entre la capacité de transport et le volume de sable déplacé indique que la masse de sable potentiellement mobilisée de 1985 à 2105 est de 1849,16 m³/m/an soit, 3088,09 T/m/an.

2.3.1.2 Le module de la résultante (RDP) :

Le vecteur de la force potentielle de migration des seize directions est de 76 pour la vitesse de 6 m/s et de 99 pour 5m/s, pour l'ensemble de la série (Fig. 61-65).

2.3.1.3 Le coefficient de migration (RDP/DP) :

En ce qui concerne le coefficient de migration pour les 30 ans de la série de 1985-2015 à la station météorologique d'Ain Sefra, nous pouvons considérer ce dernier comme étant moyen selon la classification de Fryberger, c'est entre 0.3 et 0.34 donc, c'est-à-dire il y'a mobilité en produisant toujours un transport de sable sur de longues distances (Tab. 56).

D'autre part, les vents ont tendance à souffler de toutes les directions et à remuer le sable sans qu'ils ne provoquent de déplacement notable.

Ces coefficients nous ont permis de tracer des roses de déplacement potentiel des sables que nous avons par la suite les analysées et les comparées entre elles.

2.3.1.4 La direction de la résultante (RDD) :

L'angle moyen d'orientation de la série est de 234 °N soit, une direction de résultante d'W-S-W .

2.3.1.5 La rose de migration de sable :

La rose de sable de la série de 1985 à 2015 est de type bi modale aiguë donnant lieu à, un transport de sable qui se fait selon deux principales directions à savoir, W-S-W et E-N-E. Toutefois, les résultats indique un transport potentiel de sable selon une direction d'W-S-W (Fig. 61).

Le meilleur découpage rend mieux compte de la répartition annuelle des vents de sable en deux périodes (Tab 57, Fig 61) : un printemps et un été ou les vents du secteur Sud, Nord et Ouest-Sud-Ouest sont prépondérants et fréquents, donnant un coefficient de migration moyen (0,37-0,38) en produisant toujours un transport de sable sur de longues distances, avec une orientation des déplacements WSW-W-S-N, la rose des vent est presque unimodale large, qui représente l'opposition entre les vents du secteur Sud à Nord (prépondérants) en été et bimodale large en avec l'opposition des vent du secteur WSW- S et Nord en printemps (Fryberger1979). Nous

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

avons remarqué un automne et un hiver moins venteux, sans directions prépondérantes avec des coefficients de migrations importants en automne qui arrivent à 0,43.

	annuel		Automne		Hiver		Printemps		Été	
	6m/s	5m/s								
DP										
N	16	26	6	11	5	11	38	56	9	16
NNE	3	5	1	3	2	5	4	7	3	6
NE	2	5	2	4	2	5	3	5	3	5
ENE	3	7	3	8	3	6	4	7	7	12
E	11	19	6	11	9	15	14	24	13	22
ESE	4	7	6	8	1	2	4	6	6	10
SE	5	8	7	10	4	7	2	4	7	11
SSE	12	18	6	9	11	15	13	18	16	25
S	36	51	24	35	15	22	58	79	39	58
SSW	22	32	23	34	15	20	30	42	19	29
SW	19	26	17	25	5	8	35	44	16	22
WSW	28	37	23	34	22	30	53	66	12	18
W	19	28	13	21	20	31	34	45	9	15
WNW	10	15	7	11	14	20	15	22	4	7
NW	12	18	6	9	19	26	17	28	6	10
NNW	18	27	11	18	11	20	36	53	8	14
Total DP	220	329	161	251	159	243	359	505	178	281
RDP	76	99	70	96	59	79	135	167	65	91
RDP/DP	0,35	0,30	0,43	0,38	0,37	0,33	0,38	0,33	0,37	0,32
RDD	234°	234°	222°	223°	254°	262°	249°	254°	189°	187°
Direction	WSW	WSW	SW	SW	WSW	w	WSW	WSW	S	S
Q m3/m/an	15,22	23,03	11,14	17,57	11,00	17,01	24,84	35,35	12,32	19,67

**Tableau N°57 : Répartition directionnelle du déplacement potentiel saisonnière.
(Q : Quantité de transporteur de sable de 1985-2015 à Ain Sefra).**

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

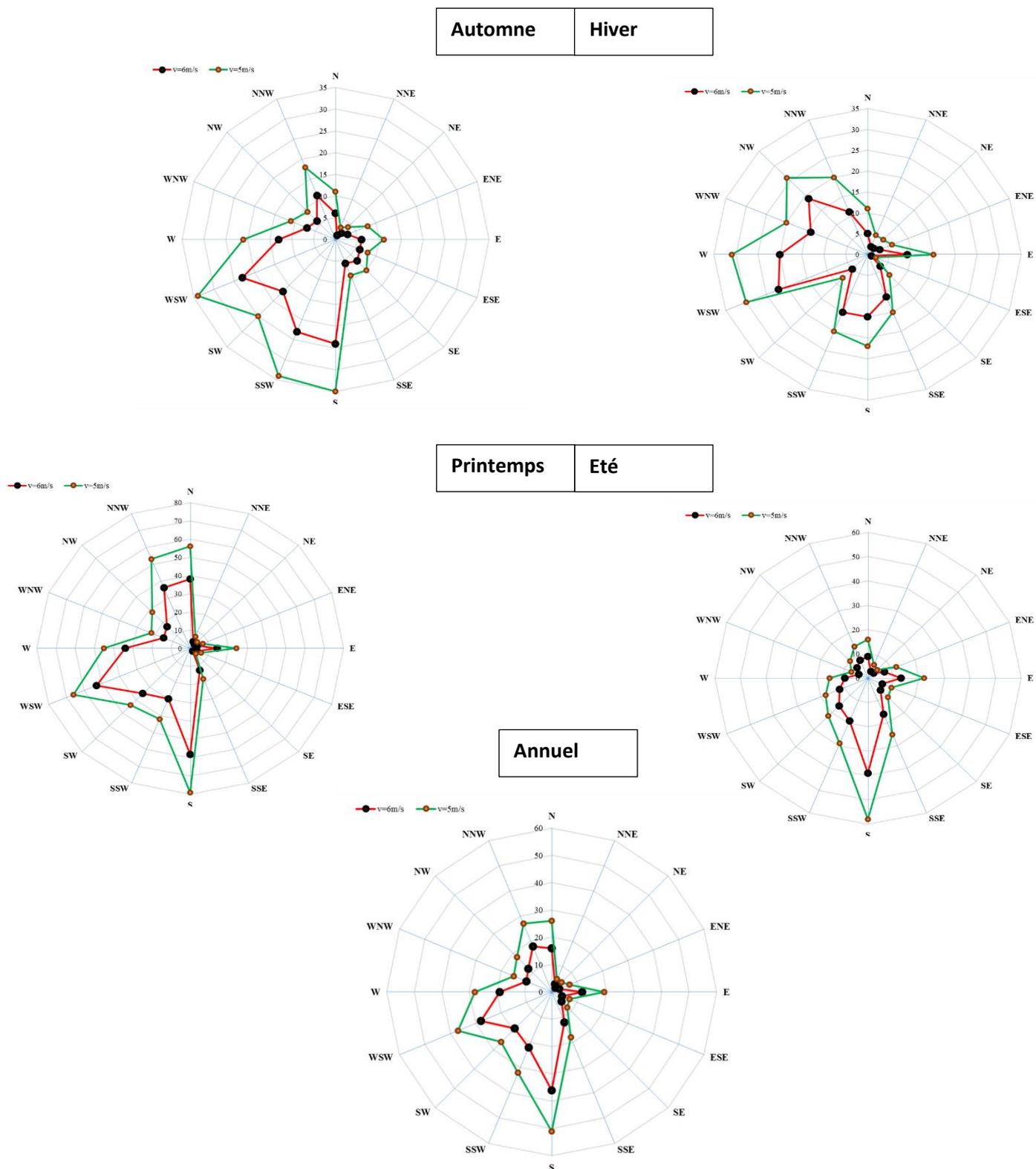


Figure N°61 : Roses de sable saisonnières et annuelles de D.P.S pour les deux vitesses d'arrachement 5m/s en vert et 6m/s en rouge, dans la région d'Ain Sefra au cours de la période 1985-2015.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

La caractérisation de l'énergie éolienne et de l'aptitude au déplacement du sable dépend principalement de la quantité et du type de déplacement potentiel (Fryberger et Dean 1979, Lancaster 2009). Jusqu'en 2015, nous avons quantifié les coefficients d'énergie potentielle de la région des Monts des Ksour, le mouvement D.P.S de la quantité de sable que le vent est capable de transporter vers la direction nord-est (SW à NE) pour la période 1985-2015. Nous avons obtenu les résultats suivants (Tab. 58, Fig. 62).

La rose du vent ressemble à un grand type bimodal l'opposition entre les vents du secteur Sud au Nord et NNW, Ouest-Sud-Ouest à NNE (prépondérant) (Fig. 62-64). Le déplacement potentiel des quantités de sable présentent une variable temporelle modèle mais une stabilité directionnelle. A propos du tableau 58 , le D.P.S mensuels estimé DP à 138 VU en janvier à 450 VU en avril, la station de Ain Sefra a de fortes saisons de sables mouvants au printemps et en été avec les valeurs les plus élevées en avril, mars 258 VU , mai 355 VU et juin 79VU. Les modules de la résultante (RDP) vont de 40 VU en janvier à 208 VU en avril. La direction de dérive résultante RDD est souvent confinée entre 190° et 260° , ce qui signifie entre le Sud et l'Ouest (Tab. 58, Fig. 62-64). Le module de la résultante (RDP) est varié de 59 VU (hiver) à 135 VU (printemps), ce qui implique que la direction du transport du sable est principalement du Sud-Ouest vers le Nord-Est (SW-NE). Il semble que l'orientation du vent est comprise entre 189° et 254° et il signifie que le vent souffle du Sud et de l'Ouest et que le résultat est entre eux.

La turbulence du vent, qui n'est mesurée par aucune station météorologique, joue un rôle principal dans la mise en mouvement du sable et la résultante des déplacements de ce dernier peut se trouver de ce fait fort différente de celle des roses des sables (Callot 1987).

Mois	DP		RDP		RDD	DP/RDP	
	5m/s	6m/s	5m/s	6m/s		5m/s	6m/s
Sept	176	161	56	70	222°	0,32	0.43
Oct	259	168	79	52	209°	0,31	0.31
Nov	238	153	117	83	230°	0,49	0.54
Dec	202	126	112	82	264°	0,55	0.65
Jan	222	138	6	40	222°	0,03	0.29
Feb	312	214	128	101	235°	0,41	0.47
Mar	312	258	128	67	248°	0,41	0.26
Apr	616	450	257	208	256°	0,42	0.46
May	509	355	147	116	245°	0,29	0.33
June	322	208	107	84	194°	0,33	0.40
July	283	179	88	66	230°	0,31	0.37
Aug	277	181	124	89	188°	0,45	0.49

Tableau N° 58 : Le déplacement potentiel mensuel, la capacité de transport (DP) résultante, le module de la résultante (RDP), le coefficient de migration (RDP/DP), et la direction de la résultante (RDD) du vent, pour la station d'Ain Sefra (1985 - 2015).

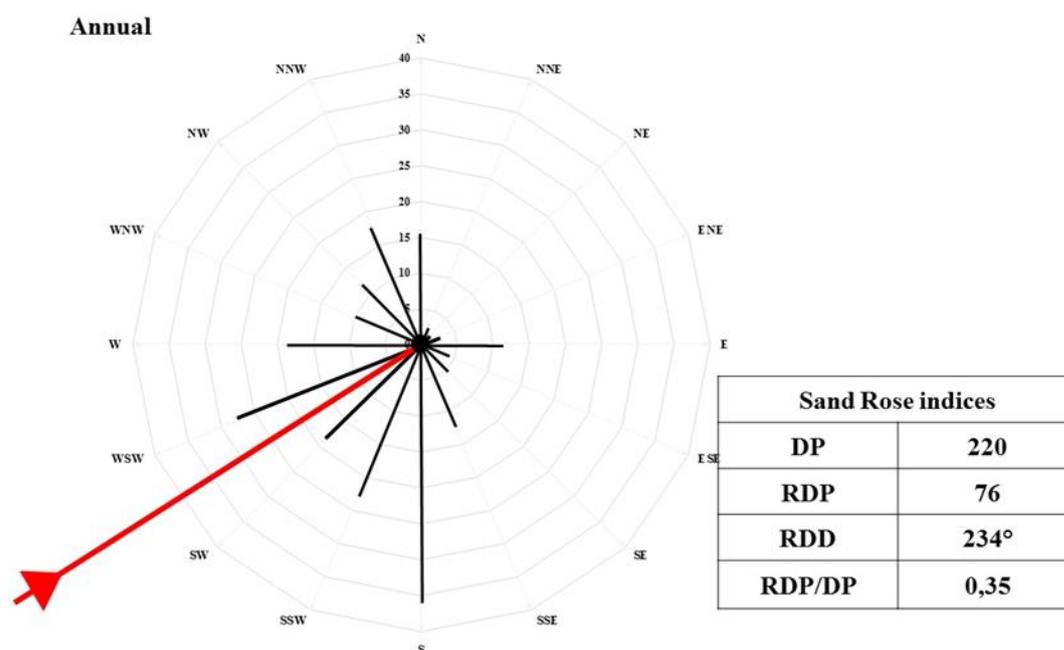


Figure N° 62 : Rose de sables annuel moyens et le module de la résultante (RDP) de station Ain Sefra pendant la période 1985-2015.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

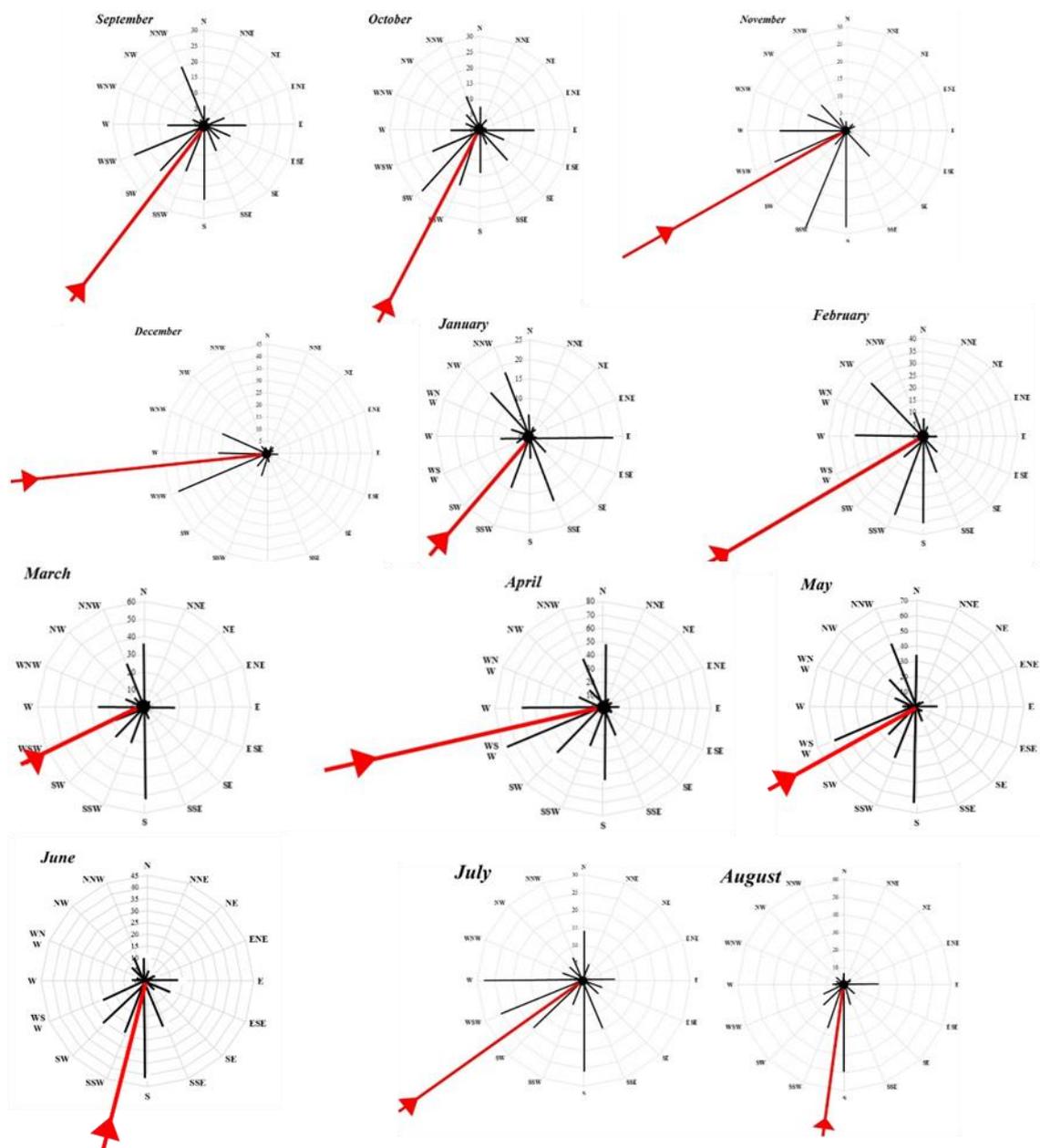


Figure N° 63 : Roses de sable mensuelles moyennes et les modules de la résultante (RDP) de station Ain Sefra pendant la période 1985-2015.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

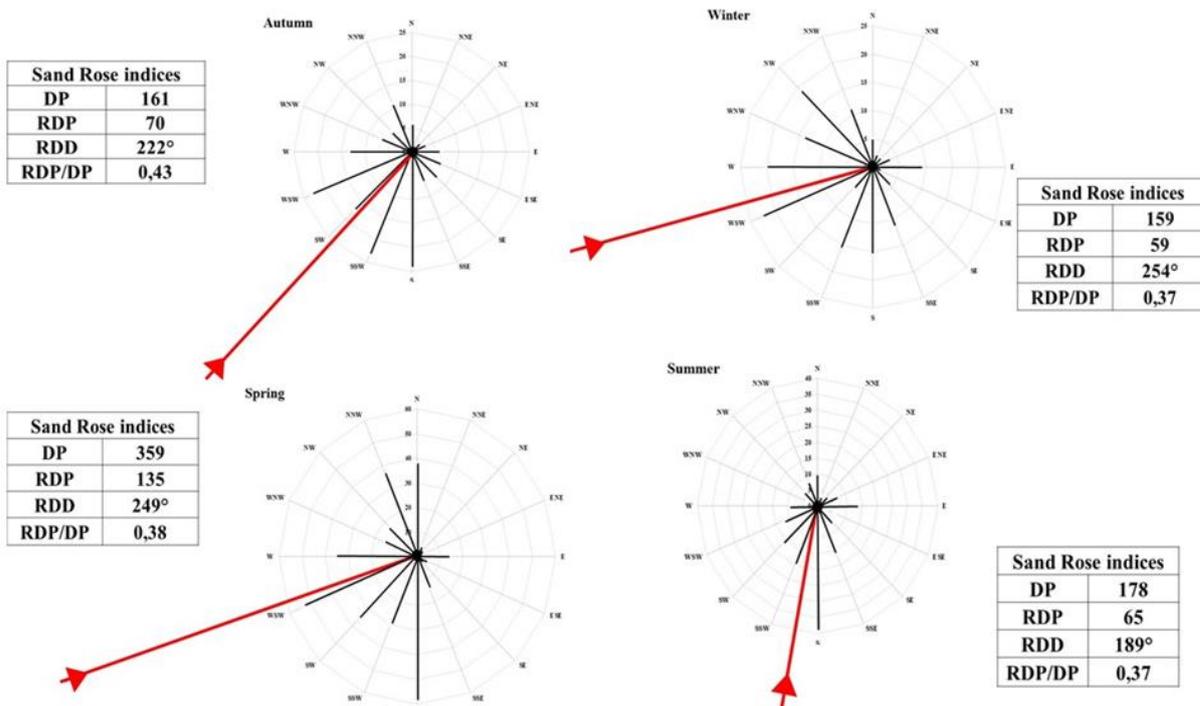


Figure N° 64 : Roses de sable saisonniers moyennes et les module de la résultante (RDP) de station Ain Sefra pendant la période 1985-2015.

3. La sensibilité du bassin versant de l'Oued Ain Sefra au risque d'ensablement :

L'ensablement est l'un des problèmes environnementaux les plus graves dans la wilaya de Naama, qui menace les activités humaines et le développement socio-économique. Il est le résultat d'une action éolienne intensive dans un milieu fragile (Le Houerou, 1959 ; Khatteli, 1981 ; Flore & Pontanier, 1982). L'ensablement est déclenché dans le milieu naturel du bassin versant de l'Oued Ain Sefra qui est caractérisé par sa fragilité et par sa sensibilité à la dégradation. La dégradation des parcours steppes ont favorisé le transport des grains de sables par le vent fréquent et plusieurs manifestations de dégradation, liées essentiellement à l'érosion éolienne, sont devenues très remarquables dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

C'est donc bien d'appliquer une approche de logique à la cartographique de la sensibilité à l'ensablement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, afin d'établir de la carte de risque d'ensablement dans le bassin versant de l'oued Ain Sefra. Pour réaliser cette carte on a suivi une méthodologie, appuyée sur l'utilisation de la télédétection et les logiciels de SIG.

Le croisement des informations issues des traitements des images satellites ou de la photo-interprétation nous a permis de définir des zones homogènes en matière de sensibilité aux risques d'ensablement.

La morphologie du bassin versant de l'Oued Ain Sefra joue un rôle très important dans la protection contre le risque d'ensablement puisqu'il représente une barrière naturelle qui empêche le déplacement des sables, Il est caractérisé aussi par un climat du type aride avec une variante d'aride supérieur à hiver tempéré sous une influence continentale

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra est assez ventée, les vents efficaces représentent 49,7 % sur l'ensemble de l'année. Les principales directions des vents affectant les dépressions qui situent entre Djebel Mourghad à Djebel Aissa, et entre Djebel Aissa à Djebel Mekther. En été, les vents chauds et secs de direction ouest et sud-ouest, appelés localement

« Echhili » ou « El-Guebli », provoquent une élévation importante des températures et accentuent les tress hydrique chez la végétation. Ces vents accélèrent le phénomène de l'évapotranspiration et favorisent la déflation et le transport éoliens.

Les parcours steppiques dans le bassin versant de L'Oued Ain Sefra sont caractérisés par l'absence d'arbres, la dominance de touffes de végétation herbacée et l'extension des formations steppiques. Par ailleurs, les sols caractérisés par une moyenne et une forte sensibilité à l'érosion éolienne est les sols limoneux et sablonneux meubles susceptibles d'être transportés par les vents morphogéniquement efficaces.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Afin d'aboutir à une carte de risques à l'ensablement (Fig. 65), nous avons combiné dans un SIG les différents couches d'information en rapport avec la sensibilité des sols et lithologie, la sensibilité de morphologie de surface, la sensibilité de l'occupation des sols et la direction des vents efficaces dominants. Afin de définir un zonage adéquat, nous avons appliqué le croisement de ces couches.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSÉDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

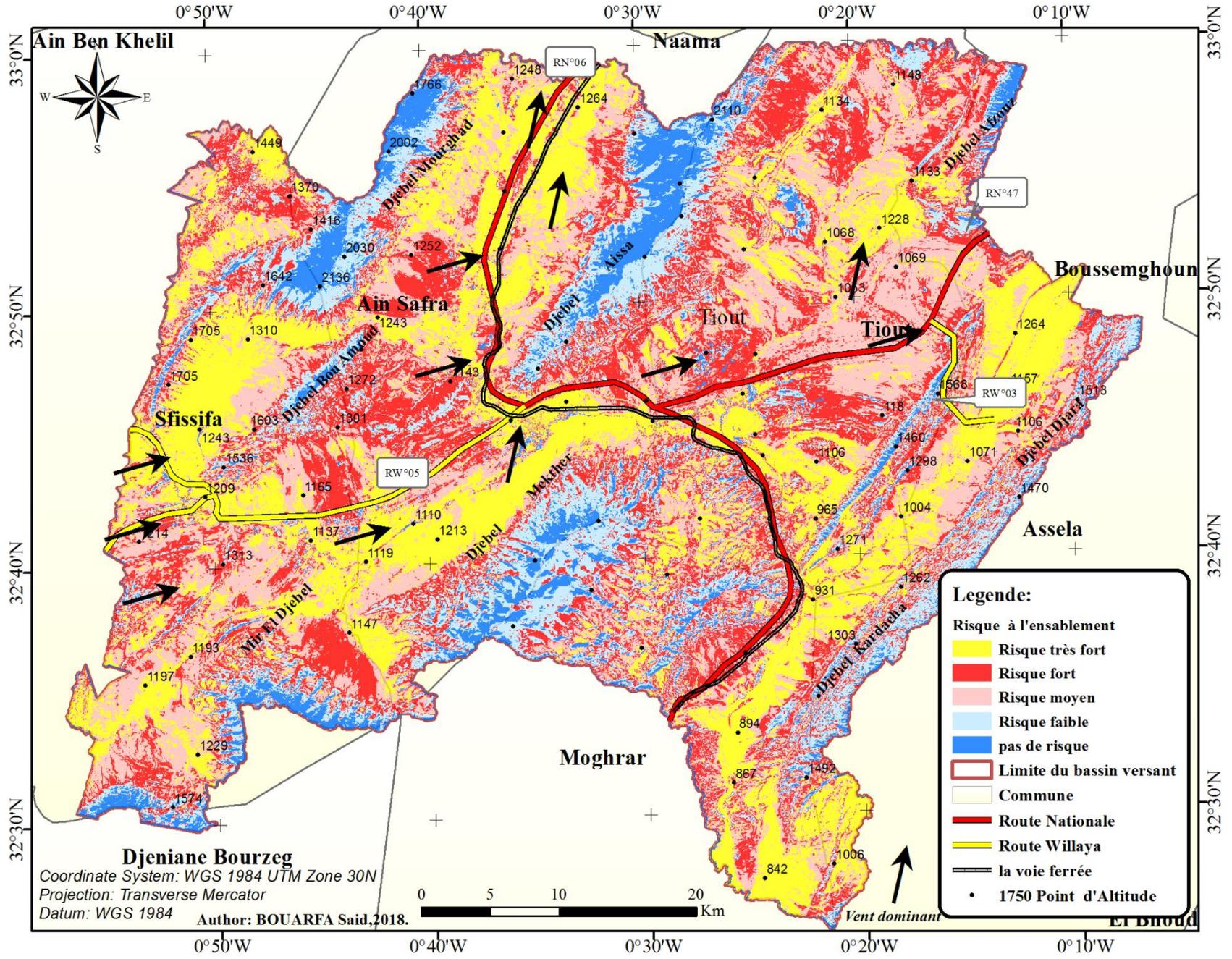


Figure N°65 : la sensibilité du bassin versant de l'Oued Ain Sefra au risque d'ensablement.

La carte de risque à l'ensablement issue de la combinaison des couches d'informations montre que le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a des zones ayant un très fort risque d'ensablement, un fort risque, un risque moyen, un risque faible et des zones pas de risque d'ensablement. Les éléments explicatifs de ce risque sont en rapport direct avec la fragilité du milieu naturel (la morphologie, l'ouverture aux vents forts, la faible couverture végétale, la texture fine des sols...) et la pression anthropique sur le milieu (la dégradation des parcours, la mobilisation des sols à des fins agricoles...).

La carte de risque à l'ensablement montre que les zones à risque très fort d'ensablement atteignent 74133 hectares soit 24.7% de la surface du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, elles sont localisées dans la dépression qui s'étend entre Djebel Aissa et Djebel Mourghad, d'Ain Sefra – Boughilaba à Naama, aux pieds ouest de Djebel Aissa, aux pieds ouest de Djebel Mekther, aux versants ouest de Djebel Mourghad, de Boussemgoune à Mougrar et Sfissifa à Djebel Bouamoud. (Tab. 59)

Les zones à risque fort d'ensablement atteignent 72252 hectares soit 24% de la surface du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, elles sont localisées au centre de la dépression qui s'étend entre Djebel Aissa et Djebel Mourghad et l'autre qui s'étend entre Djebel Aissa et Djebel Mekther de Tiout à Assela. D'Ain Sefra – Boughilaba à Haraza et Sfissifa, aux versants ouest de Djebel Aissa, et les versants Est de Djebel Mourghad, de Boussemgoune à Mougrar et Sfissifa à Djebel Bouamoud.

Les zones ayant un risque moyen gardent une superficie de l'ordre de 87504 hectares (30%). Elles sont localisées généralement aux dépressions.

Les zones à risque faible sont très limitées, Elles sont généralement les Montagnes et les versants des Monts des Ksour, et quelques zones protégées contre l'ensablement (reboisement, forêt, mise en défend ou un aménagement).

Les zones à pas de risque sont aussi très limitées, Elles sont généralement localisées aux sommets des Montagnes, les plus de 1600 mètres.

Type de Risque à l'ensablement	Pourcentage %	Surface (hectares)
risque très fort	24,69%	74133,28
risque fort	24,06%	72252,34
risque moyen	29,14%	87504,63
risque faible	15,06%	45240,22
Pas de risque	7,05%	21183,31

Tableau N°59 : la sensibilité du bassin versant de l'Oued Ain Sefra au risque d'ensablement.

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Les résultats obtenus par la cartographie et par les sorties de terrains ont indiqué qu'une partie importante du bassin versant de l'Oued Ain Sefra est assez vulnérable aux problèmes provoqués par l'ensablement et que la majeure partie de la zone est aussi soumise à un risque fort d'ensablement. « *La succession de zones de déflation et de zones d'accumulation matérialise d'une part, l'impact au sol du flux éolien transatlantique, d'autre part, participe fortement à son fonctionnement, grâce à la présence tout au long de l'axe du flux éolien, d'une multitude d'obstacles orographiques de différents volumes entretenant les mécanismes du flux au sol, loin au sud jusque vers le Bas-Sahara.* »(Benazzouz, 1994)

Ces résultats pourraient être à la base d'une intervention d'aménagement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra afin d'assurer une protection aux parcours steppiques, agglomérations et infrastructures et garantir une amélioration des conditions de vie à la population locale.

Conclusion de la troisième partie :

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra subit en de nombreuses localités des importants problèmes d'ensablement. Ces derniers qui résultent de la sévérité des conditions climatiques et édaphiques, et de l'utilisation non rationnelle des ressources naturelles constituent le phénomène le plus spectaculaire de la désertification.

La compréhension du phénomène de l'ensablement a été rendue possible grâce à l'effet combiné des actions édapho-climatiques, des facteurs géologiques et géomorphologiques, Ce dernier a été très complexe est intrinsèquement lié à des facteurs extrazonaux tant sur le plan climatique que sur le plan des processus régionaux de transport éolien de sable entre zones sources et zones de dépôts. Le vent reste l'élément principal responsable de la modélisation de la forme de relief où le régime du vent, y compris la fréquence, la magnitude et la direction est l'un des facteurs qui déterminent la forme, la dynamique, la migration et accumulation de dunes de sable.

D'après l'analyse des données pluviométriques de la station d'Ain Sefra qui représente l'exemple le plus représentatif de tout le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, à travers plusieurs indices de sécheresse, nous pouvons retenir que la sécheresse est un phénomène récurrent. Par ailleurs la méthode des écarts à la moyenne donne un pourcentage plus de 64% d'années sèches, alors que l'analyse fréquentielle atténue le sens de la sécheresse et réduit le pourcentage à 35 %. En outre, la fréquence d'apparition d'années successives sèches est relativement élevée : 51,6 % d'années sèches sont formées de deux ou trois années consécutives.

Le traitement des données anémométriques soit par le régime des vents et par le déplacement potentiel des sables permet de déterminer les directions des vents efficaces et la direction résultante annuelle des déplacements potentiels de sable ainsi que celle saisonnière et d'estimer la masse du sable susceptible d'être mobilisée. Les vents dominants proviennent essentiellement des secteurs Sud et Nord et secondairement du secteur Est et Ouest, du régime de transport sableux qui est unidirectionnel. En effet, seuls les vents du secteur Sud et WSW sont efficaces et les plus fréquents, ils sont capables de générer un déplacement sableux.

Dans la représentativité de la période sur laquelle ont été faits nos calculs de DPS, il apparaît que le transport des sables est un phénomène cyclique, en intensité et en direction, aux échelles saisonnière et quotidienne.

Ce cycle comporte deux phases : un printemps et un été : les déplacements potentiels (DP) sont les plus élevées et les sables se déplacent du WSW vers NNE généralement et de sud vers nord. Durant cette période, nous avons un coefficient de migration moyen (0,37-0,38) en produisant

toujours un transport de sable sur de longues distances. Un automne et un hiver les DP sont plus faibles. Dans cette période les vents sont moins venteux, sans directions prépondérantes.

En été, les vents chauds et secs de direction ouest et sud-ouest, appelés localement « Echhili » ou « El-Guebli », provoquent une élévation importante des températures et accentuent les stress hydrique chez la végétation. Ces vents accélèrent le phénomène de l'évapotranspiration et favorisent la déflation et le transport éoliens.

Les sols dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra sont squelettiques et sont généralement constitués de roches mères friables et facilement érodables par le vent ou l'eau.

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra est caractérisée par des affleurements géologiques et pédologiques qui représentent les causes de la production du sable autochtone, tout comme les dépôts de sable de la grande dune de Mekther et de Magroune qui sont considérés comme des aires source.

Par conséquent, tous les facteurs précédents ont conduit à l'existence d'une partie importante du bassin versant de l'Oued Ain Sefra est assez vulnérable aux problèmes provoqués par l'ensablement et que la majeure partie de la zone est aussi soumise à un risque fort d'ensablement. Les résultats obtenus par la cartographie et par les sorties de terrains pourraient être à la base d'une intervention d'aménagement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra afin d'assurer une protection aux parcours steppiques, agglomérations et infrastructures et garantir une amélioration des conditions de vie à la population locale.

« En résumé, la migration des sables ne constitue pas un phénomène unique dans le temps et dans l'espace mais plutôt présente sur le terrain des indices d'un fonctionnement en «relais» successifs par un recyclage permanent des sables. » (Benazzouz, 1994)

**PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET
AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA
DES MONTS DES KSOUR**

Introduction de quatrième partie :

La désertification fait désormais partie des questions de dimension planétaire pour lesquelles nous sommes tous concernés, scientifiques ou non, décideurs politiques ou non, habitants du Sud comme du Nord (Requier-Desjardins et Caron, 2005)(Requier-Desjardins et Caron, 2005)

A priori, il est urgent de mobiliser et de faire participer la société civile, et surtout dans un premier temps de lui fournir les éléments nécessaires à une meilleure compréhension du phénomène de désertification et de l'ensablement et des leurs conséquences. Les connaissances scientifiques doivent alors être à la portée de tout un chacun et dans un langage compréhensible par le plus grand nombre (Mainguet et Dumay, 2006)(Mainguet et Dumay, 2006).

L'érosion éolienne est l'un des principaux processus contrôlant le fonctionnement du système terrestre. Les surfaces continentales vulnérables à l'érosion éolienne sont estimées à 33 millions de km², c'est-à-dire près de 25% de la surface des continents (Lal, 1990 ; Middleton and Thomas, 1997 ; Shoa, 2008). La lutte contre l'ensablement doit s'inscrire dans le cadre d'un plan national ou régional de lutte contre la désertification ou de développement des terres arides d'un pays définissant le programme, la nature et le coût des interventions ainsi que leur priorité.

Dans cette perspective, la stratégie à développer repose sur deux étapes : la première constitue la phase préparatoire ou d'orientation, la seconde est dite phase opératoire ou de réalisation.

Actuellement, en raison de la sédentarisation rapide des populations nomades et de l'appropriation des terres collectives, des formes nouvelles de gestion des ressources naturelles sont développées. Elles se manifestent notamment, par l'abandon progressif de la transhumance, la création des jardins au voisinage des habitations et l'extension considérable de l'arboriculture et de la céréaliculture aux dépens des surfaces pastorales grâce aux facilités offertes par l'introduction et la généralisation de la mécanisation (déchaumeuse à disques) qui a permis le défrichage rapide et peu onéreux de grandes surfaces steppiques (Khalteli, 1984).

Le recours à cette technologie agressive pour labourer les steppes sableux, qui sont actuellement les plus attractives pour la céréaliculture et l'arboriculture, a favorisé, outre mesure, le déclenchement et l'accélération des processus de l'érosion éolienne.

Cette extension rapide des cultures au détriment des surfaces pastorales a diminué d'autant les zones traditionnelles de pâturage. Les troupeaux, dont l'effectif est resté toujours important, se trouvent vivement refoulés sur des surfaces de plus en plus restreintes provoquant ainsi le surpâturage qui entraîne la réduction du couvert végétal des espèces vivaces et de leur phytomasse et ouvre ainsi la porte aux processus de la dégradation (Floret et poanter, 1982).

Ceci est d'autant plus grave que les sols sont particulièrement sensibles à l'érosion éolienne qui décape l'épaisseur des horizons sableux superficiels et engendre la formation de dunes (Bendali 1987 et Ababa, 1991).

En effet, selon le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), les programmes nationaux de lutte contre la pauvreté, les ressources nationales en faune et en flore seraient des biens privés des états nationaux, exclusifs et rivaux en vigueur pour la lutte contre la désertification, qui ne serait plus seulement la collection de quelques actions techniques menées au niveau local pour limiter l'ensablement et l'érosion, mais qui prendrait une nouvelle dimension, à la fois locale et globale, intégrant les questions de développement et les questions d'environnement.

À présent, il paraît essentiel de faire le point sur ce processus de l'ensablement. Nous voulons exposer son impact et ses conséquences. Un autre point essentiel est d'estimer si l'aggravation de l'ensablement entraînera une augmentation de la pauvreté et une fragilité des ressources naturelles disponibles.

Par conséquent, notre travail représente une modeste contribution à la lutte contre l'ensablement à travers des solutions concrètes pour contrôler les menaces de sable efficacement et scientifiquement.

Nous avons choisi comme terrain d'études pour nos recherches contre l'ensablement et pour un éventuel projet d'aménagement, le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Nous comptons principalement sur les expériences précédentes dans la lutte contre l'ensablement de plusieurs pays dans le monde. Et nos propres expériences dans le domaine, et les méthodes internationalement reconnues de lutte contre l'ensablement.

I. Lutte contre l'ensablement et aménagement :

La convention des nations unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD), adoptée à Paris le 17 juin 1994, a défini ainsi les termes suivants : «désertification» : dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines. «Lutte contre la désertification» : activités qui relèvent de la mise en valeur intégrée des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches en vue d'un développement durable, et qui visent à : prévenir et/ou réduire la dégradation des terres ; remettre en état les terres partiellement dégradées ; restaurer les terres désertifiées.

Cette partie s'adresse aux décideurs politiques et à leurs conseillers particulièrement ceux du Sud-Ouest, mais également au grand public, aux journalistes scientifiques du développement et de l'environnement. Elle a aussi l'ambition de fournir aux enseignants, aux formateurs ainsi qu'aux personnes en formation des compléments sur différents domaines. Enfin, elle entend contribuer à la diffusion des connaissances auprès des acteurs de la lutte contre la désertification, l'ensablement, la dégradation des terres et la lutte contre la pauvreté : responsables d'organisations professionnelles, d'organisations non gouvernementales et d'organisations de solidarité internationale.

1. L'impact et les conséquences de l'ensablement :

La migration dunaire dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, constitue une source potentielle d'ensablement et un véritable danger pour les infrastructures socioéconomiques (El Ghannouchi, 2007) (El Ghannouchi, 2007) (Photo annexe).

Les masses sableuses comme les barkhanes, les dunes linéaires, les cordons longitudinaux ou les zones de dépôt sont très dangereuses pour les villages, les infrastructures routières, les périmètres maraîchers et les palmeraies. Ces masses se convertissent en fronts de dunes lorsqu'elles rencontrent un obstacle placé sur leur trajectoire. Les crêtes de ces fronts signifient qu'elles constituent des pièges à sable, qui peuvent se développer sur plusieurs mètres de haut en risquant de tout ensevelir à mesure qu'elles avancent. Les secteurs d'accumulation constituent également des importantes masses de matériel sableux qui, transporté par le vent, risque d'envahir d'autres sites (Berte et al., 2010) (Berte et al., 2010).

Les sols dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra ont une teneur en matière organique faible et une texture dominée par le sable, donc à faible degré de cohésion. La conjonction de ces facteurs rend donc ces sols très sensibles à l'érosion éolienne (LABIADH et al., 2015) (Labiadh et al., 2015).

Les conséquences de l'ensablement consistent aux différentes transformations dues à ce phénomène. Ces transformations sont irréversibles et profondes aussi bien dans le paysage que dans la vie économique et sociale, et elles sont sensibles sur tous les écosystèmes, entre autres

nous citons : l'envahissement par le sable et la stérilisation des terres de agricoles, des pâturages, des infrastructures de communication, des logements, la dégradation des ressources naturelles sols, eaux, air, végétation, faune, le tarissement des cours d'eau, des mares, des lacs et de leurs chenaux d'alimentation, etc.

1.1 L'ensablement des parcours steppiques dégradés :

Les parcours steppiques dégradés dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra se distinguent par l'apparition des surfaces dépourvues du couvert végétal, sauf de quelques touffes dispersées, qui sont devenues le piège d'accumulation sableuses. Des nebkas sont alors formées autour de ces touffes. Le parcours steppique devient caractérisé par une activité éolienne de plus en plus importante, les tempêtes de sable et les vents de poussières sont de plus en plus fréquents. Il prend un aspect qui le rapprocherait du désert où s'étendent, sur une grande surface, des dunes mobiles. Parfois, ces parcours sont transformés en de véritables champs dunaires où les dunes coalescentes peuvent atteindre 1 à 4 mètres de hauteur. C'est le cas de Boughilaba à Mékalis et de Belgrade à Rgimette et Tiout. Les parcours steppiques ce sont les surfaces les plus envahissantes par les sable (Photo N°06).



Photo N°06 : L'ensablement des parcours stippeques du bassin versant de l'Oued Ain Sefra (Bouarfa S, 18/02/2018).

L'ensablement provoque la dégradation du couvert végétal. En effet, les dunes de sables mobiles réduisent le développement de la végétation. Le nombre d'espèces se trouve, par conséquent, très limité. L'extension du sable mobile provoque la disparition de quelques espèces, tels que

Rhanterium suaveolens, et l'apparition d'autres tels que Stipagrostis pungens qui se développent rapidement en cas d'une alimentation continue en sable éolien (Le Houérou ,1959).

En effet, nous pouvons citer le cas de Boughelaba, Tiout et Sfissifa où l'étude comparative entre l'intérieur et l'extérieur des zones mise en défens, a montré l'absence des espèces pérennes dans la partie dégradée (Benjedou et Bou Saïdi, 2003).

Par ailleurs, les surfaces occupées par les dunes sableuses augmentent et les sols qui les constituent se trouvent dégradés et pauvres en matière organique. La structure de ses horizons devient désorganisée.

D'autre part, les parcours steppiques qui représentent l'ensemble des terres s'étalant de part et d'autre des pâturages, sont des prairies annuelles sur dunes de sable stabilisées (dunes mortes ou stabilisées) et dominées par les graminées telles que *Stipa Tenacissima(alpha)*, *Artemisia herba alba et Lygeum Spartum*, associées à *Lygeum spatum et Artemisia harba alba*, *Lygeum spartum et Lygeum spartum*, *Artemisia harba-alba et stipa tenacissima*.

En somme, ce sont des plaines alluviales, des dépressions et des talwegs aux bordures plus ou moins couvertes de végétation. Sur piétinés et sur pâturés par le bétail, ces espaces sont dégradés par un système pastoral qui crée des compositions éoliennes faites de zones de piégeage localisées ou de déflation.

Débarrassés continuellement de toute sa végétation, les parcours sont agressés par toutes les formes d'érosion. Les conséquences en sont la baisse de la productivité, la diminution de la capacité de charge, la sous-alimentation du troupeau et la baisse des effectifs, le déplacement des pasteurs et leur concentration autour et dans les zones humides et les oueds où naissent des conflits avec les agriculteurs.

Les pâturages sont pareillement dégradés sous l'effet des vents et de l'ensablement, conduisant les nomades et les éleveurs à la recherche de zones de pâturage plus adéquats notamment dans le Nord du Tell, où la végétation herbacée est plus importante.

Le voyage massif des éleveurs vers le Nord Algérien tel que Sidi Bel Abas et Tlemcen entraîne un surpâturage généralisé. Il provoque la dégradation des terres cultivables.

Le mouvement des campements s'accompagne de coupe de branches et branchages pour leur reconstruction et la construction des parcs. Ces nouveaux pôles de sédentarisation sont de nouvelles zones d'ensablement (Bouarfa, 2012) (Bouarfa, 2012).

Nous avons noté que l'ensablement a causé une réduction des zones de culture de décrue et des bourgoutières avec une réduction drastique du potentiel fourrager et de la capacité de charge de ces pâturages de la saison sèche. Des autres impacts sur les écosystèmes sont :

- la désertisation (avancée du désert) ;
- la pollution de l'air par des vents de sable et les poussières durant certaines périodes de l'année ;
- l'assèchement des sources d'eau de surface ;
- le refoulement en profondeur des eaux souterraines.

1.2 Les accumulations dunaires sur les berges des Oueds :

Des édifices dunaires de dimension très importante, dont la hauteur dépasse parfois 40 mètres, se sont formés au niveau des terrasses et des embouchures des oueds du bassin versant de l'oued Ain Sefra. Ces édifices sont le résultat d'un remaniement, par le vent, du matériel (sablo-limoneux) déposé par les oueds lors des crues. C'est le cas de l'Oued Ain Sefra où les dunes de Mekther atteignent plus de 40 mètres de hauteur à la ville d'Ain Sefra (Photo N°07).



Photo N°07 : vue aérienne (Hélicoptère), l'ensablement sur les berges d'oued Ain sefra (Touhami, 2018.)

Ces accumulations dunaires constituent une source de départ pour les grains de sables qui menacent les agglomérations proches et provoquent l'envahissement des villes. Le cas le plus illustre est la dune de Mekther accolé de l'Oued Ain Sefra.

L'ensablement progressif du lit et les berges des Oueds agrandis les risques de sorties de lits et d'inondations en zones plates ou dépressionnaires (Ngando biembe, 2004).

Les inondations résultantes, en addition des désagréments évidents sur les populations et leurs biens matériels, s'accompagnent du lessivage des terres (Photo N°08).



Photo N°08 : Inondation de l'Oued Ain Sefra en 2008 (Bensalem M 2003).



Photo N°09 : La crue de l'Oued Ain Sefra en 2000 (Protection Civil, 2000).

Les agglomérations, qui sont affectées par les inondations, sont généralement des villes instaurées sur les berges des oueds.

La ville d'Ain Sefra est située dans une dépression par rapport au bassin versant d'Oued Ain Sefra. Elle a été touchée plusieurs des fois par des inondations violentes qui ont causées des énormes dégâts humaines et infrastructurels (inondation de 1904 avec plus de 17 morts, de 1990 avec plus de 5 morts et perte des patrimoines, des bétails et des infrastructures, et dernièrement en 2001, 2003, 2004 et 2008 qui ont fait plus de 15 morts et beaucoup de dégâts) (Photo N°08-09).

D'ailleurs, nous citons quelques extraits des articles journalistiques qui présentent la situation en cas d'inondation au niveau d'Ain Sefra au fil du temps :

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

« L'orage épouvantable qui a récemment éclaté sur la région d'Ain-Sefra a eu les plus terribles conséquences. Une trombe d'eau s'est déchaînée sur la ville et les environs ; et la pluie est tombée avec une telle abondance que l'oued Sefra, qui en temps ordinaire n'est qu'un modeste ruisseau, a grossi tout à coup, et, sortant de son lit, s'est rué sur le village en emportant un grand nombre de maisons. L'inondation s'est produite si soudainement que les habitants n'ont pu la prévoir et que, la plupart d'entre eux n'ont pas eu le temps de prendre la fuite. Quatorze indigènes et douze Européens ont été victimes de la catastrophe. Sur ce nombre de vingt-six morts, on compte six petits enfants qui se trouvaient dans l'école au moment où les eaux l'ont envahie et que le courant a entraînés avant qu'on ait pu les secourir. » (Le Petit Journal ,6 Novembre 1904).

« Ain-Sefra, la nuit du 22 au 23 Octobre 2000, lorsque les eaux en crue de l'oued qui la traverse engloutissent en quelques instants sa « ville basse » (Centre-ville) et la recouvrent de sable et d'eau, d'une boue cuivrée, dévastatrice et meurtrière. » journal El-watan N° 3025 du 16/11/2000.



**Photo N°10 : La voie ferrée et la route nationale à Ain après l'inondation en 2008.
(Bensalem M, 2008)**

L'inondation a causé des dégâts mortels humains et de matériels, destruction de plusieurs dizaines de maisons et perte des centaines de têtes de bétail et l'ensablement de l'oued par un dépôt de plus de 1 m d'épaisseur. L'ancien pont a été rendu inutilisable. Par son ampleur, cette catastrophe a été en fait le premier cas qui a réveillé l'attention du Gouvernement. Il a été contraint d'engager des dépenses urgentes pour évacuer et reloger les habitants aux sites Ain Sefra (Photo N°10).

1.3 Les conséquences socio-économiques :

L'ensablement a notamment des impacts négatifs de plus ou moins grande importance en fonction du milieu et des éléments qui le composent. Le premier impact qui conditionne les autres est la perte de la diversité biologique (génétique, spécifique et écosystémique).

La régression de la faune qui a causé la dégradation des habitats suite au dépôt et au mouvement des sables, est observable sur le bassin versant. De plus, l'ensablement provoque l'invasion végétale des zones comblées de faible profondeur.

Nous avons noté aussi la migration des populations et du bétail vers des régions plus humides et plus riches en ressources naturelles et la perte de biodiversité et modification de la répartition végétale et animale. Le phénomène d'ensablement affaiblit les récoltes. En effet, les feuilles de plantes, sous un effet d'écrasement mécanique, se recroquevillent et chutent. Tandis que la floraison est également perturbée par la couleur. L'activité photosynthétique, la teneur en des cellules, le taux de croissance des plants et la densité des plantules proportionnellement à la durée de l'exposition à l'érosion éolienne (Khatteli, 1996 ; cité par Fryrear, 1975).

En outre, un ensablement prolongé cause l'étouffement de la végétation, surtout si sa croissance est inférieure à la vitesse de dépôt du sable (Khatteli, 1996).

L'accroissement de dunes provoque le rabais de la productivité essentiellement dans les champs de céréaliculture. Le rendement en orge dans une parcelle ensablée à Dar Dhoui est d'environ 2, 255 quintal/hectare. Par contre, il est de 3,725 quintal/hectare dans un champ de céréale voisin (Khatteli, 1981).

L'ensablement cause indéniablement l'insécurité alimentaire suite à la perte de la productivité des terres et des pâturages et l'appauvrissement des populations locales, leur concentration se fera dans les zones encore favorables telle la ville d'Ain Sefra.

Au niveau des aménagements, les voies d'accès se trouvent, dans certains cas, coupées. C'est le cas de la route Naâma-Ain Sefra au niveau de Mékalis et Tiout.

Etant donné les différents effets néfastes de l'ensablement, l'arrondissement de forêts de barrage vert est intervenu dans plusieurs sites afin de fixer les dunes et protéger ces différents aménagements. Ainsi, plusieurs moyens mécaniques et biologiques ont été utilisés. L'étude de ces moyens fera l'objet de la partie suivante (Naciba, 2002) (Naciba, 2002).

Dans les endroits où le vent est l'agent principal de transport des particules de sable, les activités humaines ont accéléré le processus. Les abords des villages et des campements ont été déboisés pour la production de bois de cuisine, broutés et surpâturés par le bétail, calcinés par les feux de brousse utilisés pour favoriser la repousse et nettoyer les champs de culture.

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

Toutes ces actions ont eu pour conséquence la dénudation des sols, leur transformation en poussière ou sable fin. Elles ont facilité le transport des masses de sable et de poussière à travers les glacis dénudés. Les steppes boisées se sont dégradées en steppes arborées puis arbustives, avant de devenir des steppes herbues que le bétail a transformé rapidement en terres nues. La production primaire a baissé et la survie des êtres vivants est devenue difficile.

Les milieux aquatiques et notamment les zones humides se dessèchent et deviennent inhabitables pour de nombreuses espèces animales (Tab. 60).

Pâturages naturels (1980)	Pâturages actuels (2008)
Stipa tenacissima (Alpha)	Atractylis serratuloides , Salsola vermiculata et Thymelaea microphylla
	Thymelaea microphylla et Atractylis serratuloides
	Thymelaea microphylla et Stipa parviflora
Stipa tenecissima (ALPHA)	Atractylis serratuloides
Artemisia harba-alba	Salsola vermiculata et Atractylis serratuloides
Lygeum spatum et Artemisia harba alba	Atractylis serratuloides et salsola vermiculata ; Atractylis serratuloides et Lygeum Spartum Atractylis serratuloides
Lygeum spartum	Atractylis serratuloides et peganum harmala ; Atractylis serratuloides et salsola vermiculata ; Atractylis serratuloides
Lygeum spartum , Artemisia harba-alba et stipa tenacissima	Arisida pungens , Thymelaea microphylla , Schismus barbatus

Tableau N°60 : Pâturages naturels et pâturages actuels entre 1980 et 2008 (D.ENVRM).

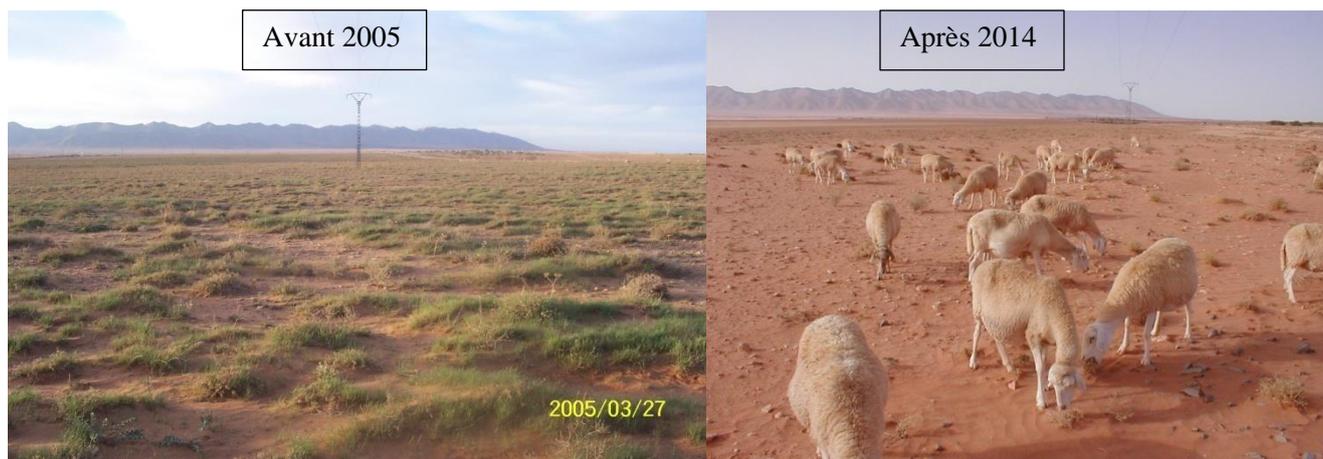


Photo N°11 : La dégradation d'un parcours à Haraza entre 2005 et 2014 (Hsds).

Souvent, lorsque l'habitat se trouve exposé aux vents dominants, la corrosion provoque le creusement d'alvéoles et de gorges dans les matériaux de construction friables grâce aux grains de sable projetés par ces vents. Cette action érosive est d'autant plus menaçante que les vents sont violents, constants et dirigés dans une seule direction. La corrosion ronge aussi les murs en banco dans le sens d'où viennent les vents dominants qui provoquent l'ensablement des villes et des villages parmi lesquels beaucoup ont dû être évacués (Photo N°11-12).



Photo N°12 : L'ensablement des agglomérations à Ain Sefra (Bouarfa S, 2017).

La diminution des aires agricoles, la dégradation des pâturages et entraînent une réduction importante de la production agricole et pastorale. Ce qui se traduit par, la baisse des revenus des producteurs, un déficit alimentaire permanent, la pauvreté, etc.

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

Des terres de culture ont été abandonnées à cause de l'ensablement puisque les sources d'eau ont asséché, les canaux d'alimentation obstrués, et les crues insuffisantes pour entretenir les cultures de décrue (Abdallah, 1987) (Abdallah, 1987).

Les zones dunaires forment, après les récoltes, des espaces nus dont le vent s'empare comme base de départ aidé en cela par le labour à sec de sols superficiels. Lorsque ces zones sont sous enclos, ce sont les branches et branchages des épineux qui arrêtent les grains de sable et bloquent le mouvement des dunes.

Généralement nous trouvons les champs agricoles sur les rives du des oueds comme c'est le cas pour l'Oued Ain Sefra (Bouarfa, 2012) (Bouarfa, 2012). Les conséquences de cette agression du sable sont la perte de terres de culture, les conflits fonciers, la baisse de la production et enfin le déficit alimentaire.

D'autre part, le sol est le maillon faible de la structure des écosystèmes fragiles de la région, et les statistiques indiquent que la majeure partie de la zone de l'Etat, estimée à 3.000.000hectares, est situé dans la région la plus sensible à la désertification comme nous pouvons observer dans le tableau 61 et la figure 66.

La perturbation du rythme de travail et des pistes de nomadisme et de transhumance, les problèmes et conflits liés à la libre pâture et à la persistance des systèmes extensifs d'élevage ont contribué au changement des comportements, de mode d'alimentation et de distraction des populations nomades (Photo N°13) .



Photo n°13 : Journée venteuse aux vents de sable à Ain Sefra (Hdji b, 2017).

La vulnérabilité du sol	Superficie en hectares	Le pourcentage de la superficie totale
Sensibles	1.073.274	44.72
Sensibilité moyenne	404.303.15	16.85
Faible sensibilité	347.562.05	14.48
Très sensible	134.766.87	5.62
Désertifiées	16.613.53	0.69

Tableau N°61 : La vulnérabilité du sol dans la wilaya de Naama (DSA, 2012).

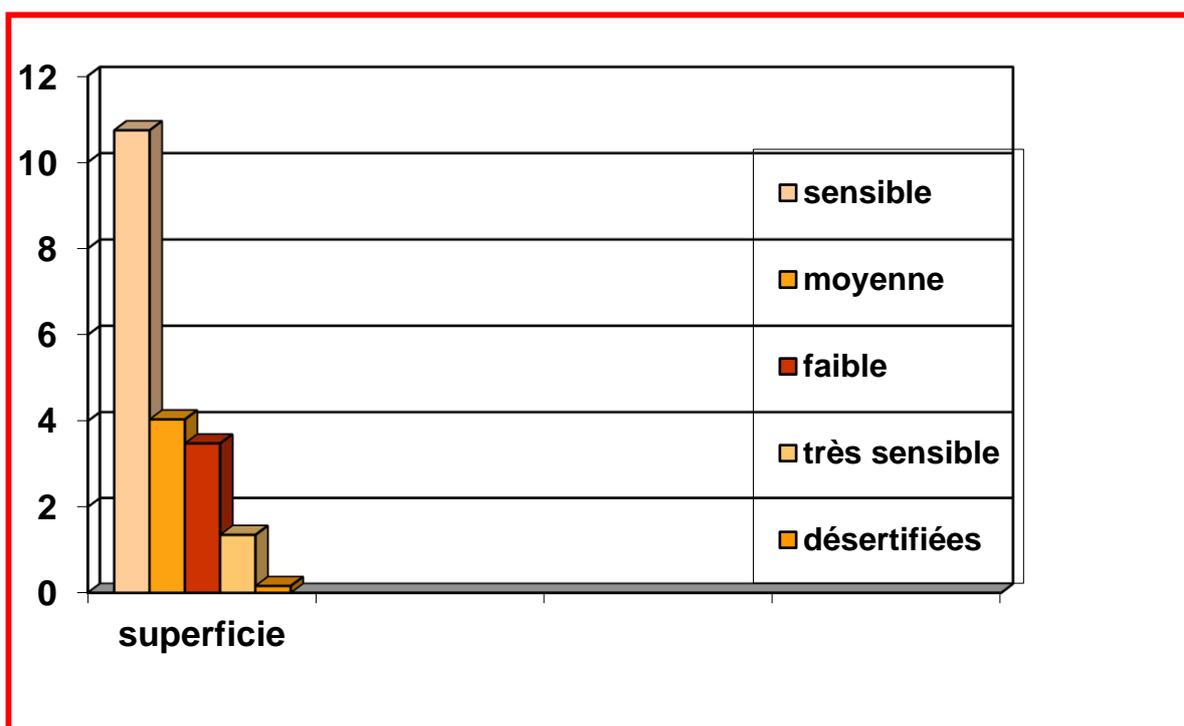


Figure N°66 : La vulnérabilité du sol dans la wilaya de Naama (D.S.A Naama, 2012).

1.4 Les impacts sur les voies de communication et les infrastructures :

Les voies de communication terrestres, telles que les routes et les pistes sont des zones d'accumulation des masses de sable transportées par les vents. Les sables qui s'accumulent ne viennent jamais de très loin. A la zone d'accumulation est toujours associée une zone de déflation ou zone d'alimentation.

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

Tracées en lignes droites, sans chercher à suivre la ligne de moindre pente, les routes et les pistes tranchent souvent les dunes fixes ouvrant ainsi des brèches plus ou moins grandes que les vents transforment en bourgeonnement de dunes. Par l'ouverture des zones d'emprunts et autres carrières de sable ou de latérite proche du tracé de la route et dans le seul souci d'économie, sans tenir compte de la direction principale des vents, les sociétés de construction de génie civil provoquent l'ensablement qui finit par envahir la route et ses dépendances (Photo N°14).



Photo N°14 : L'ensablement de la route nationale RN°06 Naâma-Ain Sefra (Bouarfa s, 2017)

Les conséquences sont représentées par des coûts énormes d'entretien puis l'abandon de l'infrastructure par manque de moyens d'entretien. Les routes et les pistes reliant les villes et villages à l'intérieur des deux régions deviennent de plus en plus impraticables à cause du phénomène de l'ensablement entraînant un ralentissement du commerce entre les différentes agglomérations.

Le besoin d'argent est devenu général, les migrations se sont accélérées et la solidarité communautaire a été rompue souvent jusqu'au milieu des familles.

La présence des vents de sable provoque beaucoup de désagrément lorsque les grains de sable tombent dans les yeux, les aliments où sont inhalés. Jusqu'à présent, il n'est pas formellement

établi que les grains de sable provoquent des maladies respiratoires, mais ça représente une conséquence négative pour la santé.

La disparition des infrastructures et des sites touristiques reconnus, contribue à diminuer les activités culturelles.

Dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra la menace d'ensablement est générale. Les facteurs climatiques et anthropiques sont favorables à la naissance et l'entretien du phénomène. Les conséquences sur l'homme et son milieu sont nombreuses.

2. Les différents programmes d'aménagement de lutte contre l'ensablement approuvés par l'État :

Le processus de dégradation et de désertification des zones steppiques algériennes ne s'est pas arrêté et s'est même amplifié. Il est dû à plusieurs facteurs dont le principal est l'inadaptation des politiques macroéconomiques et des politiques visant spécifiquement la steppe.

L'espace steppique est un écosystème fragile parce qu'il est soumis à une forte pression qui trouve son explication dans le fait que la population pastorale recherche tout à la fois, la satisfaction de ses besoins essentiels et le maintien d'une activité pastorale principale source de revenu. En conséquence, la dégradation intense de ces milieux fragiles induit la désertisation.

Nous avons noté que le taux de recouvrement de la végétation est en régression. Cette régression est expliquée par l'augmentation du taux des parcours steppiques très dégradés. En plus des endroits désertisés, et fortement menacés par le phénomène de désertisation et d'ensablement, nous avons noté également une superficie étendue du territoire qui est moyennement sensibles à très sensibles à la désertification.

2.1 Aménagement à travers le Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT) :

En revanche, l'adoption de la Loi n° 10-02 du 16 Rajab 1431 correspondant au 29 juin 2010 portant approbation du Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT), est approuvé pour une période de vingt ans, et il représente un acte par lequel l'État affiche son projet territorial. Le SNAT montre comment l'État compte assurer, dans un cadre de développement durable, l'équilibre, l'équité et l'attractivité du territoire dans toutes ses composantes y compris la défense et la sécurité nationales, telles qu'énoncées par l'article 5 de la loi n° 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.

Des lignes directrices construisent le SNAT et accordent les enjeux du développement du territoire national tels qu'ils ont été identifiés dans le diagnostic puis déclinés en futurs possibles dans les différents scénarios :

La ligne directrice n° 1 : Vers un territoire durable

La ligne directrice n° 2 : Créer les dynamiques du rééquilibrage territorial

La ligne directrice n° 3 : Créer les conditions de l'attractivité et la compétitivité des territoires

La ligne directrice n° 4 : Réaliser l'équité territoriale

Ces Lignes Directrices sont mises en œuvre à la faveur de 20 Programmes d'Action Territoriale « PAT ». Les Programmes d'Action Territoriale constituent des programmes opérationnels. Leur ampleur, leur complexité ou leur caractère transversal, en font des opérations de longue haleine, fédérant des acteurs variés et multiples. Les lignes directrices ne constituent, toutefois, qu'une étape dans leur élaboration. Elles ont ainsi vocation à servir de support et à être discutées et déclinées de manière territoriale à l'échelle des espaces de programmation territoriale par les autorités locales (les walis et les élus locaux) mais aussi de manière sectorielle au niveau national par le Gouvernement (SNAT, 2010).

La première ligne directrice du SNAT vise à bâtir un territoire durable, installant ainsi un lien étroit entre aménagement du territoire et durabilité et en faisant de celle-ci une préoccupation préalable à toute intervention dans le domaine de l'aménagement. se décline en cinq Programmes d'Action Territoriale (PAT) :

PAT 1 : la durabilité de la ressource en eau

PAT 2 : la conservation des sols et la lutte contre la désertification

PAT 3 : les écosystèmes

PAT 4 : les risques majeurs

PAT 5 : le patrimoine culturel

Dans le Programmes d'Action Territoriale N°02(PAT 2), la conservation des sols et la lutte contre la désertification propose l'élaboration d'un Schéma National de Conservation des Sols et de Lutte contre la Désertification à la faveur de l'élaboration d'une étude relative aux relations entre la productivité des ressources naturelles, l'exode et la pauvreté. Cet étude doit être sous-tendue par la mise en œuvre de nouvelles techniques de lutte contre l'ensablement dans le cadre de la lutte contre la désertification, lutte contre la salinisation des terres (Espace Ouest et oasis), lutte contre la remontée des eaux dans le bas-Sahara.

Ainsi que le Programmes d'Action Territoriale N°03 (PAT 3), un de ses objectifs est d'établir une stratégie de préservation et de mise en valeur de l'écosystème oasien par la lutte contre l'ensablement des zones menacées par la réalisation de ceintures vertes. De même, il s'agit d'intégrer des projets de réhabilitation des écosystèmes fragiles et de mettre en place un système transfrontalier de lutte contre l'ensablement.

Dans le cadre de l'application des dispositions de la loi relative à l'Aménagement et au Développement Durable du Territoire, le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement - MATE - a lancé l'élaboration de Schémas d'Aménagement pour les trois espaces de programmation Territoriale : Hauts Plateaux-Est, Hauts Plateaux-Ouest, Hauts Plateaux-Centre au niveau des 14 wilayas steppiques. Ces plans d'aménagement sont consolidés dans la vision nationale du SNAT. Les schémas d'aménagement des espaces de programmation territoriale et les Plans d'Aménagement des Wilayas (PAW) constituent les instruments de mise en œuvre du SNAT à l'échelle locale.

2.2 Le Schéma d'Aménagement de l'Espace de Programmation Territoriale de Hauts Plateaux Ouest à l'horizon du 2030 :

Dans le cadre de l'application de la loi suscitée, le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE), a lancé l'élaboration de schémas d'aménagement pour les trois espaces de programmation des Hauts Plateaux (SEPT HP) : SEPT HP Est, SEPT HP Centre et SEPT HP Ouest, d'où l'objet de la réalisation de ce schéma de développement de l'espace de programmation territoriale des Hauts- plateaux Ouest (HPO) confié au groupement de bureaux d'études « BRLi-BNEDER-CSI ».

Sur le plan géographique la RP-HPO (Naama, El Bayadh, Saida, Tissimislt et Tiaret) appartient à quatre grandes unités du territoire : le versant sud de l'Atlas tellien, les Hautes plaines de l'intérieur, l'Atlas Saharien et la zone présaharienne au sud qui vient s'adosser au Grand Erg Occidental. Un cadre légal rénové et actualisé, qui accorde désormais une importance primordiale au développement durable des espaces Hauts-plateaux : « Impératif Hauts Plateaux ». Le Schéma d'Aménagement de l'Espace de Programmation Territoriale Hauts Plateaux Ouest a noté que Naâma, Ain Sefra, Mecheria et El Bayadh, villes fortement insérées dans le contexte d'une économie pastorale de type extensif sont à considérer comme des villes liées à un écosystème sensible. Leur croissance actuelle au niveau de l'espace des Hauts Plateaux Ouest pose des problèmes de maîtrise de leur évolution et de leur gestion. Ces villes sont soumises aux phénomènes d'ensablement, d'inondations et de salinisation. De plus, les modes de leur urbanisation actuelle favorisent ces risques et leur écosystème oasien menacé par l'ensablement.

Le programme propose des objectifs stratégiques de réhabilitation du système oasien par des actions de rajeunissement des palmeraies, l'amélioration des conditions d'irrigation et la lutte contre l'ensablement. Lutte contre les phénomènes d'ensablement par la fixation mécanique et biologique des édifices dunaires en donnant la priorité aux centres de vie, aux espaces agricoles et pastoraux et aux infrastructures socioéconomiques. Mise en place d'un programme spécial pour la

remontée biologique du milieu et lutte contre l'ensablement des établissements humains et infrastructures du Sud de l'EPT HPO, afin d'atténuer les effets négatifs sur les populations et activités locales et la lutte contre l'ensablement des terres agricoles.

Selon les cas, il existe des solutions telles que la fixation biologique et mécanique des dunes, réalisation de ceintures vertes autour des agglomérations, réalisation de ceintures vertes ou de murettes autour des périmètres agricoles ou réalisation de bandes vertes le long des axes routiers.

2.3 Le Plan d'Aménagement de Wilaya de Naâma (PAW) :

A priori, il représente l'étude du plan d'aménagement du territoire de la wilaya de Naâma, car le précédent Plan d'aménagement de la wilaya de Naâma (PAW), élaboré en 1989 par l'Agence Nationale d'Aménagement du Territoire (ANAT), a atteint la limite de sa durée légale de validité. Les autorités de la wilaya entendent, par conséquent, doter cette collectivité locale d'un instrument d'aménagement prenant en charge à la fois les évolutions enregistrées aux plans nationaux et locaux, et les objectifs souhaités pour le développement du territoire de la wilaya.

Ainsi, un des objectifs est de d'inscrire dans la ligne définie par la nouvelle politique en matière d'aménagement du territoire, laquelle s'exprime notamment sur deux niveaux. Nous avons un cadre légal rénové et actualisé (loi n° 2001-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire), qui accorde désormais aux préoccupations de préservation de l'environnement, une importance primordiale, des perspectives d'aménagement et de développement durable, esquissées ou arrêtées par différents instruments d'aménagement (schéma national SNAT 2025, schéma régional, schémas sectoriels, etc.) et constituant autant de référents pour les projections à identifier au profit de la wilaya de Naâma. Elle vise à identifier et proposer les options jugées les plus adéquates pour une approche intégrée et cohérente d'aménagement, attentive aux besoins de renforcement du niveau d'équipement des différentes zones de la wilaya d'exploitation des potentialités existantes et de valorisation des atouts, tout en recherchant les conditions de protection des équilibres du milieu naturel et de préservation de l'environnement.

Concernant la lutte contre l'érosion éolienne, elle sera mise en œuvre au travers d'actions visant à traiter le problème en amont et non uniquement de façon curative. Ces actions sont : la fin des labours, des défrichements en milieu steppique, le réensemencement en espèces steppiques des jachères, la régénération des zones dégradées et préservation par une exploitation rationnelle des couverts végétaux, la lutte contre l'ensablement, en milieux steppique et saharien.

2.4 Les Aménagements des Programmes HCDS de la wilaya de Naâma :

Pour essayer de protéger les ressources fragiles de la région et pour relancer les activités agricoles et pastorales, de nombreux acteurs interviennent sur le terrain au niveau des différents espaces. Cependant, les risques de dégradation des ressources agro-écologiques (notamment les ressources en eau, en végétation et en sols) sont encore persistants et les niveaux de production agricole et pastorale demeurent encore assez modestes comparés aux besoins importants d'une région en pleine croissance.

La wilaya de Naâma a bénéficié d'un vaste programme de soutien et de suivi technique et financier, visant non seulement la protection et la conservation des ressources steppiques et pastorales (terres, parcours, nappes alfatières, points et sources d'eau), mais aussi et de plus en plus la valorisation de ces ressources et la création d'une dynamique de production agro-pastorale. L'intervention du HCDS a eu lieu par de mise en défens des nappes alfatières et autres : 555.000 hectares (soit en moyenne 4.584 ha par commune et 6.875hectares par an), plantation pastorale : 11.935 hectares (soit environ 994,5 hectares par commune et 1.492 par an en moyenne) et en projet, la mise en défens de 35.000 hectares à lancer incessamment (Photo N°15).

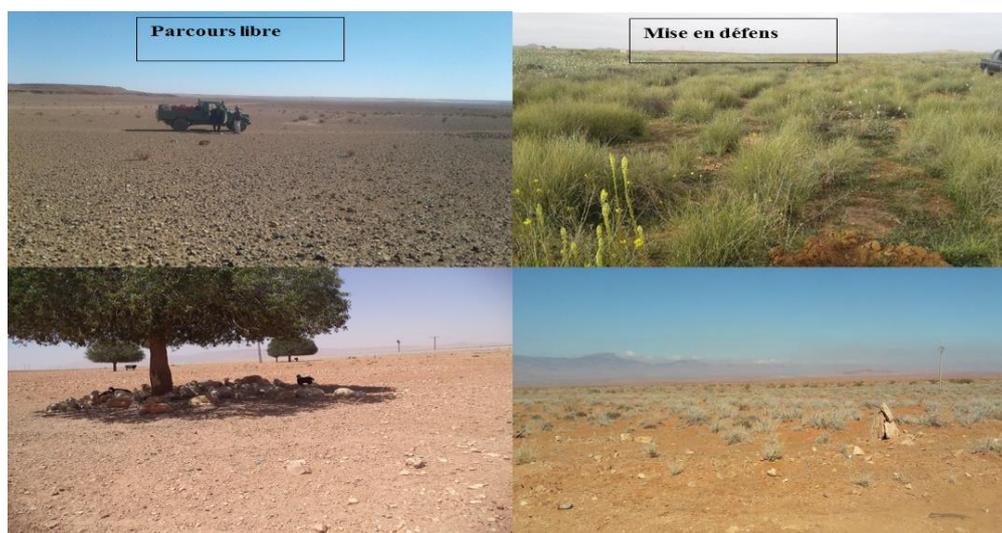


Photo N°15 : Vue entre le parcours libre et la mise en défens (Asla- Haraza) (Douda m).

La mise en défens est un ensemble d'opérations de protection et de mise en friche protégée et obligatoire de surfaces en parcours d'alfa, d'armoise blanche, de sparte et de parcours mixtes. Elle a été rendue nécessaire et parfois urgente du fait de la forte dégradation des parcours et de la surcharge de ces mêmes parcours (nous avons compté jusqu'à 6 ovins à l'hectare). La mise en défens est un processus qui n'a pas toujours été accepté par les riverains pasteurs. Mais il a été constaté une certaine prise de conscience de la part des éleveurs-pasteurs des risques et des menaces sur les parcours. Une certaine acceptabilité des dispositifs de mise en défens semble actuellement être perçue par ces mêmes éleveurs dans la wilaya de Naâma. Les procédures de concertation et d'information sur les risques encourus par la steppe, mais aussi sur les intérêts de la mise en défens, ont d'ailleurs beaucoup facilité cette acceptabilité (PAW).

D'importantes opérations de mise en défens (sur près de 30.000 ha), pour protéger ce patrimoine en dégradation, ont été et continuent à être réalisées par le Haut-Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS). Il est réalisé à l'heure actuelle l'équivalent de 515.000 ha (dont 130.000 ha de mise en défens surveillés) auxquels il faudrait ajouter les 500.000 ha de nappes en zone frontalière Algéro-Marocaine (Ceneap, 2009).

2.5 Aménagement des exploitations agricoles par le biais du fonds national de régulation de développement agricole (FNRDA) :

Les efforts déployés concourent la consolidation des différentes actions inscrites dans le cadre du programme FNRDA et la mise à niveau de l'ensemble des exploitations agricoles d'une part, et d'autre part l'augmentation de la superficie agricole utile (SAU) par la mise en valeur de nouvelles terres (APFA). L'objectif principal est l'intensification des poches agricoles par la plantation arboricole comme moyen de lutte contre la désertification et la promotion des cultures fourragères pour répondre aux besoins du cheptel (Monographie, 2016). Ces dernières ont tendance à augmenter au cours des dernières années, suite à des actions volontaristes de soutien à la production agricole conduite par les pouvoirs publics à la faveur de divers programmes (PNDA/FNRDA, FNDIA, DGF, Concessions agricoles, Programme Hauts Plateaux). A la fin de 2016, nous avons compté dans la région, une répartition plus ou moins égale entre la zone "steppique" dont une partie de ses terres ont été mises en valeur (44% de la SAU totale) et la zone piémontaise des Monts des Ksour (58% de la SAU totale), essentiellement des enclaves oasiennes et des nouvelles parcelles dans de nouveaux périmètres de mise en valeur.

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

Le programme de soutien et de réhabilitation des activités agricoles (PNDA) constitue un instrument de gestion des espaces agricoles qui ambitionne de créer des conditions favorables à la compétitivité des principales activités agricoles et l'émergence d'un environnement macro-économique propice à l'investissement agricole et aux entreprises agroalimentaires (Tab N°62).

La visée du PNDA, dans ses objectifs stratégiques est le perfectionnement durable de la sécurité alimentaire. Le PNDA est basé principalement sur des composantes qui tiennent compte des conditions d'aridité du climat, de l'équilibre écologique et de la nécessité de relancer l'emploi rural. Le programme contient six composantes dont les plus importantes sont : le Plan National de Reboisement (PNR), l'extension de la SAU par la mise en valeur des terres marginales, les terres mises en valeur dans le cadre de la concession seront cédées à des exploitants, le développement de la production agricole. L'objectif de ce programme est d'améliorer la production et la productivité. Un intérêt sera accordé aux productions à avantages comparatifs qui peuvent faire l'objet d'exportation (maraîchage et arboriculture) et à un programme de reconversion et d'adaptation des systèmes de production (Ceneap, 2009).

Commune	Dossiers retenus		Investissements (DA)	
	Total	Année 2016	Total	Année 2016
Naâma	1057	63	534 973 325	43 899 340,1
Mecheria	940	22	368 114 075	19 421 224,1
Ain-Sefra	2519	43	1 329 738 551	26 248 903,8
Tiout	640	12	486 420 273	5 401 281,3
Sfissifa	849	37	603 221 284	32 653 142,0
Moghrar	410	8	198 952 160	3 269 614,0
Asla	865	17	466 600 079	8 111 957,0
Djenien Bourezg	181	4	115 635 250	1 796 838,0
Ain-Ben-Khelil	1789	19	1 167 969 823	14 526 991,0
Mekmen-Ben-Amar	235	3	214 293 305	9 228 434,5
Kasdir	249	1	26 746 711	1 565 054,0
El-Biodh	728	13	476 247 910	5 190 856,0
Total	10462	242	5 988 912 743	171 313 635,7

Source : DSA

Tableau N°62 : Répartition de la mise en valeur des terres agricoles dans le cadre de l'accession à la propriété foncière agricole (APFA), par commune au 31/12/2016 (Monographie, 2016).

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

Malgré ses capacités, la wilaya de Naâma dispose d'une superficie agricole utile de 20.960 ha (soit à peine 7,5% de la S.T). Cela est tout à fait compréhensible vu la vocation essentiellement pastorale de la région et les faibles efforts faits dans le passé en matière de mise en valeur agricole. Mais la S.A.U a vocation à évoluer positivement dans l'avenir, selon les spécialistes et les responsables techniques de la région. Les hypothèses de développement de la wilaya insistent sur la place de choix que prendra le secteur agricole comme premier secteur économique, vecteur de relance et de développement des autres secteurs (Paw, Ceneap, 2009).

Commune	la superficie agricole utile SAU					Terres improductives	Pacage et parcours	Total
	Cultures herbacées	Terres au repos	Arboriculture	Total SAU				
				Total	irriguée			
Naâma	434	2.032	318	2.784	752	4	188.347	191.135
Mecheria	420	2.076	273	2.769	693	4	34.748	37.521
Ain Sefra	432	718	930	2.080	1.362	11	51.171	53.262
Tiout	280	130	648	1.058	928	5	58.447	59.510
Sfissifa	430	253,5	796,5	1.480	1.226,5	6	159.344	160.830
Moghrar	75	42	537	654	612	5	140.530	141.189
Asla	323	197	546	1.066	869	6	181.404	182.476
Djenien Bourezg	53	63	264	380	317	2	48.938	49.320
Ain Ben Khelil	665	2.259	760	3.684	1.425	9	242.288	245.981
Mekmen Ben Amar	46,5	772,5	31	850	77,5	2	278.982	279.834
Kasdir	103,5	804,5	9	917	112,5	2	511.423	512.342
El Biodh	585	2.083	571	3.239	1.156	4	286.817	290.060
Total	3.847	11430,5	5.683,5	20.961	9.530,5	60	2.182.439	2.203.460

Table N°63 : Répartition des terres agricoles (Hectare) par commune- wilaya de Naama. (Monographie, 2016).

Au niveau de quelques dépressions sur les hautes plaines steppiques ainsi qu'au niveau d'enclaves situées sur les piémonts des Monts des Ksour, nous avons trouvé toutefois une activité agricole appréciable, essentiellement basée sur la production maraichère (plus de 1.800 ha), fourragère (plus de 1.400 ha) et arboricole (plus de 1.000 ha). Mais c'est l'activité d'élevage et particulièrement l'activité d'élevage ovin (et accessoirement caprin et camelin), conduit sous les formes pastorale et semi-pastorale, qui domine dans ces zones, avec 850.000 à 1.000.000 de têtes d'ovins, près de 100.000 Caprins et 1.000 camelins (Tab. 63).

2.6 Les programmes mise en valeur par la Générale des Concessions (GCA) :

La réalisation des projets de mise en valeur lancés par la Générale des Concessions (GCA) sur 1.600 ha et pour 434 concessionnaires, soit des groupements de 20 à 21 concessionnaires par projet et un minimum de 80 ha par projet consiste sur un engagement d'un financement public de l'ordre de 1,450 Milliards de DA, soit : 72.019.892,15 DA par projet, 900.249 DA par ha réalisé et 3.318.888 par concessionnaire et un engagement de réaliser 5.219 emplois (soit 652 emplois par an en moyenne). Ainsi que, exécution des projets de mise en valeur pastorale sur une superficie totale de 90.400 ha de parcours steppiques, soit 4.520 mis en valeur par projet lancé sur un engagement d'un financement public de 517.377.000 DA, soit 25.868.850 DA par projet et un engagement de réaliser 765 emplois (soit 96 emplois par an en moyenne).

2.7 Les interventions de Conservation des forêts :

La Direction Générale des Forêts est également chargée de faire appliquer par ses structures locales la politique de lutte contre la désertification et l'ensablement.

Vue à la propriété forestier et alfatier, la conservation des forêts de Naâma a mis en place divers interventions tendant à protéger mais aussi à promouvoir les ressources forestières sur près de 11.000 hectares. C'est devenu évidente la disparition des parcours à sparte et à armoise et la nette régression de la nappe alfatière (800 000 hectares en 1976 et seulement 287 544 hectares en 2016), qui représente un témoignage d'une dégradation alarmante du couvert végétal nécessitant des interventions d'urgence. Avec la surcharge des parcours et l'action anthropique caractérisée par le défrichement, le labour illicite et l'exploitation abusive du couvert végétal, aujourd'hui à une dégradation effrénée de cet écosystème sensible nous assistons à une désertification du milieu qui a atteint, par endroit, des formes irréversibles. (Photo N°16)



Photo N°16 : Initiative de boisement et de reboisement de la Conservation des forêts 2017-2018 (Douba m, 2017).

C'est ainsi que la région se trouve aujourd'hui confrontée au phénomène de l'ensablement qui menace aussi bien les agglomérations et les infrastructures routières que les exploitations agricoles. C'est pourquoi la Conservation des forêts a effectué des programmes contre l'ensablement. Ces programmes sont : exécuter un reboisement et sylviculture : reboisement : 1737 hectares, brise vents : 1268 km, plantation de bandes vertes : 1033 hectares, travaux sylvicoles 1000 hectares et les plantations fruitières : 2285 hectares.

Par conséquence dans le cadre de la lutte contre l'ensablement et aménagements forestiers, la Conservation des forêts lancées une initiative de fixation des dunes soit 211 ha, un entretien des forêts de 1.000 ha, des corrections torrentielles de 88.570 m³, la réalisation et réhabilitation des structures forestières qui représente 95% de réalisations. Parmi ces programmes, nous pouvons noter des programmes sectoriels classiques (reboisement, repeuplement), mais aussi d'autres programmes complémentaires (Tab. 64).

Commune	Super. forestière totale (Ha)	Terre dénudée destinée au reboisement + voiles dunaires	Total général	Superf. alfa (Ha)
Naâma	5 519	6 644	12 163	37 866
Mecheria	9 069	3 295	12 364	19 893
Ain-Sefra	73 757	5 056	78 813	10 732
Tiout	18 026	100	18 126	7 198
Sfissifa	22 850	200	23 050	50 857
Moghrar	45 672	500	46 172	0
Asla	100	650	750	17 538
Djenien-Bourezg	14 800	400	15 200	0
Ain-Ben-Khelil	39 310	8 000	47 310	76 256
Mekmen-Ben-Amar	495	1 400	1 895	41 793
Kasdir	222	300	522	117 874
El-Biodh	28 484	2 695	31 179	56 243
Total	258 304	29 240	287 544	436 250,0

Table N°64 : Répartition de la superficie forestière et Alfatière (Ha) par commune 2016 (Monographie Naâma 2016).

Nous citons également l'existence d'autres programmes de soutien supervisés par les conservations, entre autres, le programme d'Accession à la propriété foncière (APFA), avec une superficie mise en valeur de 20.960 hectares et une superficie réellement cultivée de 9.387 hectares (soit à peine 31% des terres attribuées et 1 ha par bénéficiaire).

À partir du déclanchement du PNDA et la reprise en charge du secteur agricole et rural, la Direction des Services Agricoles et les subdivisions agricoles ont vu leurs obligations se soutenir pour proposer, engager, conduire et suivre les divers programmes de développement et de promotion de la production agricole.

Nous ne devons pas oublier les initiatives des associations de la société civile et des agriculteurs pour contribuer à la lutte contre la dégradation et de l'ensablement.

Nous saluons également les efforts de M. Naoum Falah d'Ain Sefra, qui a planté l'Alfa dans sa ferme (Photo N°17).



**Photo N°17 : Plantation d'Alfa par un Agriculture Naoum Ben Ali, El-Eche 2017
(Bouarfa S, 2017).**

II. Les différentes méthodes de lutte contre l'ensablement adapté au bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

Nous allons présenter et proposer les principales méthodes de lutte contre l'ensablement au bassin versant de l'Oued Ain Sefra, en montant leurs portées et leurs limites, en citant ici les méthodes et traditionnelles et les méthodes modernes.

1. Les moyens de lutte mécaniques :

La première intervention de lutte contre l'ensablement consiste en l'installation des moyens mécaniques qui ont pour objectif soit la fixation des dunes sableuses, lorsqu'elles menacent des infrastructures et des installations humaines, soit d'empêcher la formation et le déplacement des édifices dunaires (Ben Salem, 1974 ; Jalel, 1989 ; Khatteli, 1993).

1.1 Les palissades ou les « Afrags » :

Elle se base sur l'emplacement des obstacles, tels les palissades, dans la trajectoire éolienne, suite à une accumulation du sable autour de l'obstacle par le biais de la réduction de la vitesse du vent. Selon Houmymid, 1993, les palissades sont des obstacles linéaires exposés aux vents dominants pour en réduire la vitesse et provoquer à son niveau le dépôt et l'accumulation du sable transporté. Elles ont pour rôle d'amorcer la formation de dune artificielle, et qu'il s'agisse d'arrêt ou de défilement (El Ghannouchi, 2007) (El Ghannouchi, 2007). Il s'agit de créer des obstacles mécaniques opposés au vent dominant afin de diminuer sa vitesse et provoquer à leur niveau l'accumulation du sable en mouvement. Cette accumulation aboutit à la formation d'une dune artificielle (FAO, 1988). Ces palissades sont érigées sur une levée de terre appelée localement « Afrag ». Celles-ci sont construites manuellement ou mécaniquement. Les Afrags mécaniques ont

une hauteur plus élevée presque 01 mètre, que les manuelles sont moins de 0.6 mètre. Elles sont enfoncées à 36 cm de longueur est restant apparentes sur 40 cm. Un intervalle de 2 à 4 cm est laissé entre les plaques pour assurer une perméabilité à l'air et le maintien de l'équilibre des obstacles (Fig. 67-Photo N°18-19) (Naciba, 2002) (Naciba, 2002).

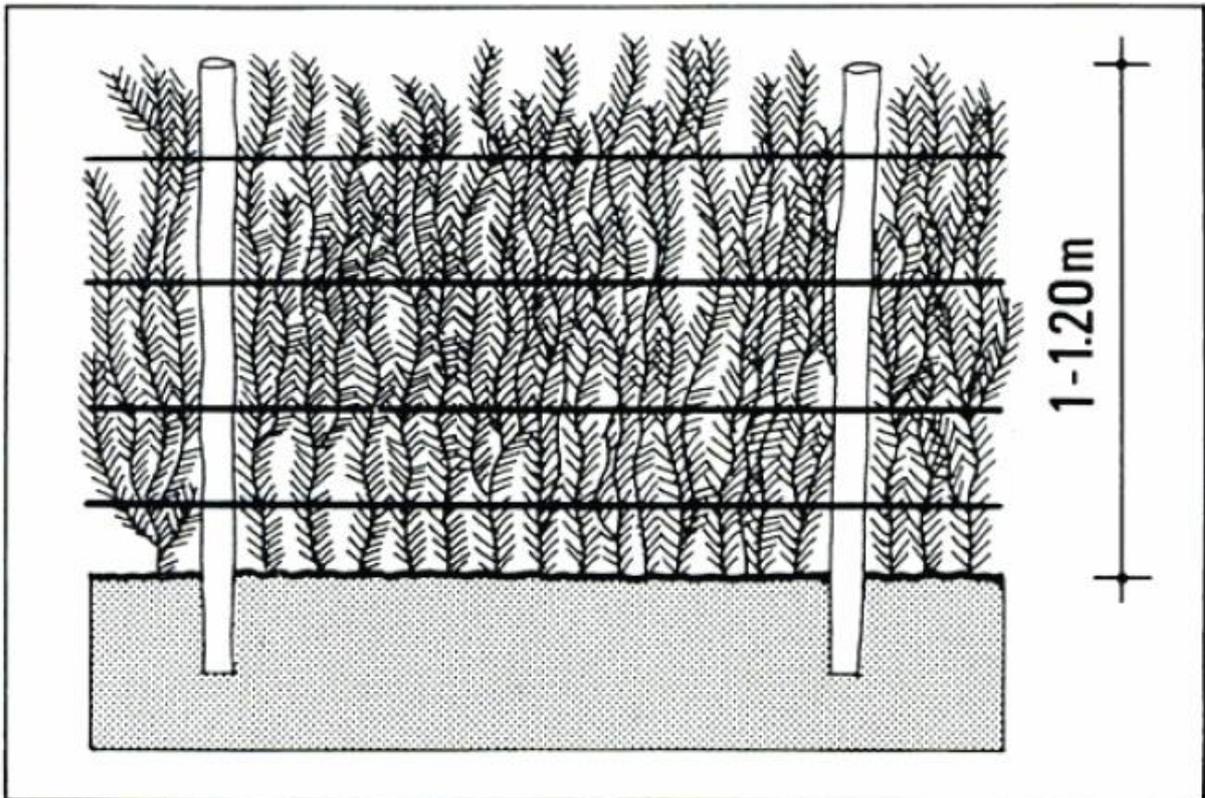


Figure N°67 : Les caractéristiques d'une palissade (Salem, 1988)(Salem, 1988)(Salem, 1988)(Salem, 1988)(Salem, 1988).



Photo N°18 : L'utilisation réussie des palissades dans le bassin versant –Ain Sefra (Bouarfa, 2016).



Photo N°19 : Initiative collective pour la construction des palissades –Adrar (internat).

1.2 La méthode de clayonnage :

Cette méthode consiste au placement sur le front dunaire, de deux lignes de palissades distantes de 20 à 30 m, orthogonales à la résultante des directions moyennes des vents efficaces. Ceci est

valable dans le cas des dunes homogènes à fronts continus. Dans le cas des fronts discontinus, une seule rangée suffit dans l'espace intermédiaire. Dans les deux cas, la hauteur de la palissade ne doit pas dépasser 01 metre (El Ghannouchi, 2007)(El Ghannouchi, 2007)(El Ghannouchi, 2007)(El Ghannouchi, 2007)(El Ghannouchi, 2007).

1.3 La technique de quadrillage :

Cette technique conçue pour la fixation des fronts dunaires se justifie dans le cas des vents multidirectionnels par l'installation d'un réseau de palissades. Les dimensions des quadras varient en fonction de la dynamique éolienne, de hauteur de la dune et la nature des matériaux utilisées. Elle est employée dans le cas où les directions des vents sont variables (Photo N°20). Les dunes mobiles- dont la stabilisation est visée afin de limiter le départ des particules sableuses- sont de dimensions importantes (plus que 3 mètres de hauteur) (Jalel, 1989).

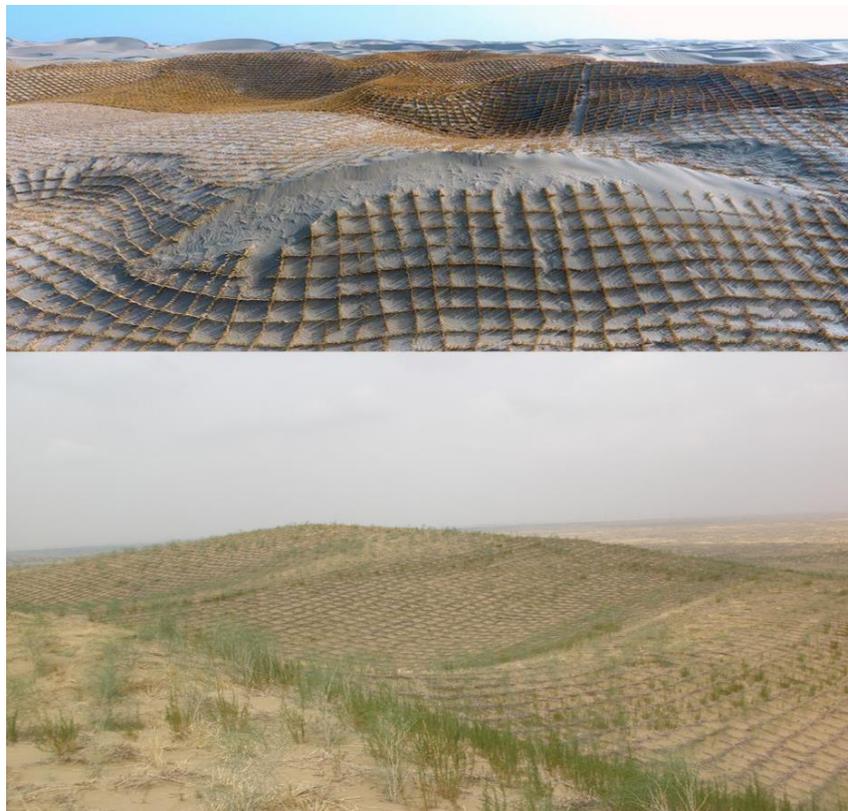


Photo N°20 : Fixation des dunes par la technique de quadrillage en Chine (Youb.o 2010).[U1]

1.4 La technique de trou de transport et d'hydrodynamique :

La technique de trou de transport compte sur l'évacuation des trous de dimensions suffisantes dans les unités ensablées. Le sol alluviale extraite sert pour les clôtures et la construction, quant aux trous, ils sont ensuite comblés par le sable et remis en culture après planage.

La technique d'hydrodynamique, est de déposer des cailloux sphériques et érodés de 20 à 50 cm de diamètre le long de la crête des dunes. Lorsque le vent souffle, des turbulences se créent au

niveau de chaque pierre. Ces turbulences accentuent l'énergie cinétique du vent et lui permettent de transporter plus loin les sables remis en mouvement. Au fur et à mesure que la dune s'érode les pierres descendent. Il en résulte que les petites dunes « accumulation sableuses » érodées dans leur partie supérieure diminuent progressivement jusqu'à leur disparition (El Ghannouchi, 2007). (El Ghannouchi, 2007).

L'accélération artificielle de la vitesse du vent est accrue par l'adjonction de la végétation exposée horizontalement sur des pierres. Lorsque le vent souffle, il est obligé de passer entre la crête de la dune et la végétation. L'énergie cinétique ainsi que son pouvoir érosif augmente brusquement. Les pierres et la végétation descendent simultanément au fur et à mesure que la crête de la dune s'érode. Moutaoukkel, 1987 a mis en évidence les limites de ces techniques traditionnelles en montrant que ces méthodes ne peuvent pas faire face à l'avancée des fronts dunaires.

1.5 La technique des Drâas :

La technique de la lutte contre l'ensablement par des **Drâas** ou "**Gaouatie**" est d'origine traditionnelle et elle est particulière à la région de l'Oued Souf. (SEBAA et al., 2009)

Les Drâas sont des levés de sable éolien dressés selon le talus naturel d'éboulement et disposés sous le sens de vent dominant de la section assujettie à l'ensablement. Ils constituent un écran à section triangulaire ou conique et sont orientés de manière à dévier le vent et à éviter l'accumulation de sable sur la chaussée. Selon les cas, les Drâas sont disposés en un, deux ou plusieurs rangées avec les caractéristiques suivantes : une longueur variable de l'ordre de 10 à 15 m, une hauteur de 50 à 60 cm si le Drâas est disposée en haut de la dune et de 1.50 à 2.0 m s'il est en pied, une distance de 10 à 20 m de la plateforme (Fig. 68-photo N°21-22), en laissant un couloir d'une vingtaine de mètres de large lorsqu'il s'agit de plus d'un Drâas (Bekakra.A, 2006).

Les essais de désensablement par les Drâas, montrent que ceux implantés parallèlement à la route jouent le rôle d'accumulateur d'écran. L'implantation des Drâas en biais par rapport à la route a un rôle préventif vis-à-vis des vents. Ces derniers jouent respectivement le rôle de canalisateurs et accélérateurs à la fois. Les vents font soulever les dépôts précédents et les transportent par-dessus la chaussée sans les déposer. Ce type de protection convient pour une zone assez dégagée et ne peut servir de protection que pour une route dont la côte est suffisamment proche de celle du terrain naturel. Les Drâas évitent l'ensablement instantané des routes et permettent de procéder au désensablement d'une manière discontinue. Cette solution est intéressante pour des zones très

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

courtes soumises à des ensablements intenses. En revanche, ils nécessitent un nettoyage régulier car pouvant devenir une source pour la formation de dunes le long des routes (Bekakra,2006).

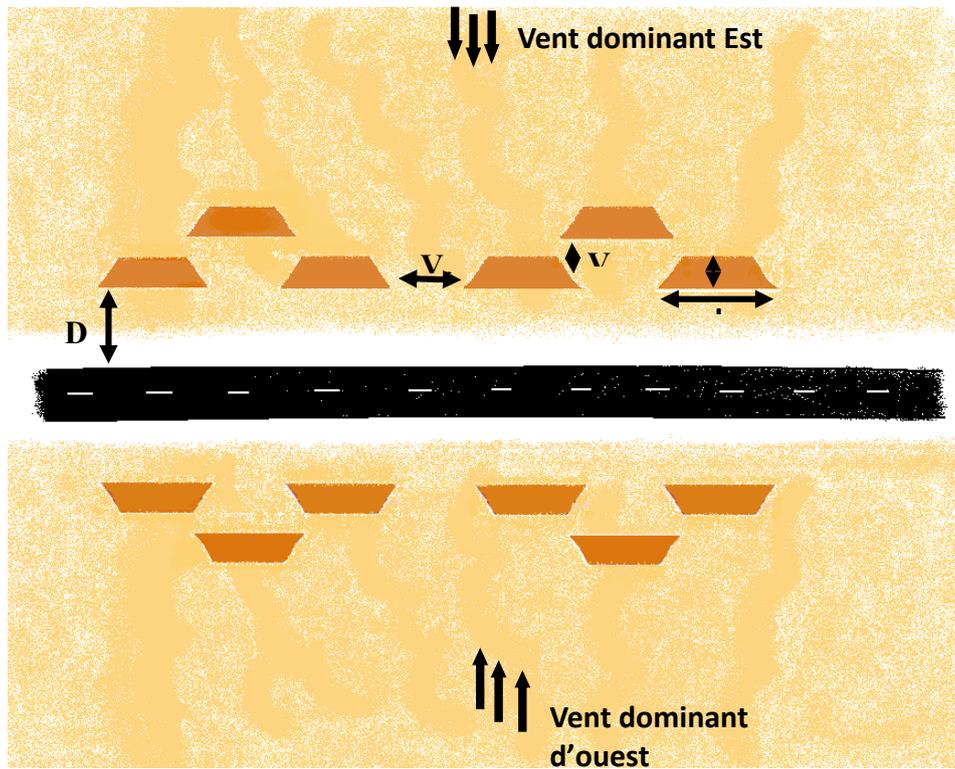


Figure N°68 : Conception et disposition des Drâas (Sebaa CRSTRA).



**Photo N°21 : Drâas installés sur le site expérimentale Timimoune par CRSTRA
–DTP ADRAR (Sebaa,A, 2016).**



Photo N°22 : Drâas installés sur le site expérimentale Timimoune par CRSTRA

– DTP ADRAR (Sebaa. A, 2016).

1.6 La technique du reprofilage :

L'objectif de cette technique est de s'éloigner tout obstacle qui pourrait diminuer la vitesse du vent et diriger des dépôts de sable. Le reprofilage est utilisé dans le cas des bas-côtés des routes, de canaux d'irrigation ou pour dégager n'importe quelle infrastructure socioéconomique (Abouchrif, 1990).

Elle consiste à aplanir et écrêter les monticules de sable pour obtenir un profil dunaire régulier car la concavité et la convexité de la dune favorisent les tourbillons qui peuvent créer des excavations sur le front et former des petites dunes en aval. Le profil peut se faire manuellement ou au moyen d'un engin si la topographie du terrain le permet. Cette technique est coûteuse et nécessite un temps de travail énorme (El Ghannouchi, 2007). (El Ghannouchi, 2007).

1.7 La fixation par technique de « mulching » :

Cette technique consiste à niveler les dunes de sable et à les recouvrir par une formation protectrice, afin d'arrêter l'action du vent et empêcher le phénomène de saltation (FAO, 1960 et 1988). La formation peut être composée de paille, d'herbes locales ou de résidus agricoles.

Les traitements les plus efficaces, sur le plan d'érosion éolienne, sont ceux qui ont consisté en un épandage d'*Artemisia campestris*, et de *Rhanterium suaveolens* (Khatteli, 1996).

2. Lutte avec des moyens biologiques :

Cette opération consiste à fixer les dunes mobiles par des plantations, après l'installation du dispositif de protection mécanique (Khatteli, 1996). Elle passe par les étapes suivantes: la plantation, la mise en défens, l'entretien des plantations.

Pour la plantation, il s'agit de l'installation d'une couverture végétale vivante à base d'espèces locales ou introduites et qui peuvent être arborées ou arbustives. La mise en place des plants se fait, généralement, en automne et au printemps (Naciba, 2002) (Naciba, 2002). L'opération de la plantation consiste à creuser un trou sommaire et à planter directement sur une profondeur de 0.3 à 0.5 m. La densité de plantation est de l'ordre de 500 à 1200 plants par hectare (Naciba, 2002) (Naciba, 2002). Le technicien procède à l'achèvement de l'opération de plantation. Pour le cas d'une intervention à l'intérieur d'un quadrillage, nous procédons comme suit : Catégorie de la dune, il s'agit de distinguer entre une dune basse: 3m, moyenne: 3 à 5m ou haute: > 6m; Position de la station sur le versant; Pente, il s'agit d'évaluer la pente et déterminer la classe à laquelle correspond la valeur ainsi déterminée ; la végétation naturelle indicatrice est un relevé de la végétation à l'intérieur du quadra précisant l'espèce, le nombre de touffes total et par espèce et le recouvrement au niveau du quadra (FAO- Sekkou Zouha, 1988).

Pour chaque type d'unité on définira plus particulièrement l'espèce, la technique de plantation et la nature des entretiens.

D'autre part, la taille doit avoir lieu hors période de haute chaleur. Elle doit se faire avec un outil tranchant et en biseau à l'extrémité supérieure, le transport doit être fait avec beaucoup de précaution et de préférence, les boutures sont à emballer dans un feuillage, pour éviter toute altération. A l'aide d'une pelle, nous dégageons le sable et nous ouvrons une amorce de trou sous forme d'entonnoir puis nous creusons à l'aide d'une tarière pédologique un sondage de 1 à 1,50 m, fonction de la profondeur de l'humidité dans le sol. La plantation se réalise par la mise en place de la bouture dans le forage ainsi pratiqué en prenant soin de le remplir de sable humide. Au moment de la plantation, nous apportons un seul arrosage de l'ordre de 10L par plançon (M. Houmymid, 1988). (Photo N°23-24)

Après l'implantation, le périmètre d'intervention est mis en défens afin d'éviter tout risque de dégradation. La protection est assurée par des gardiens dont le nombre varie en fonction de la superficie de site. Il consiste en une irrigation périodique jusqu'au développement du jeune plant. La quantité et la fréquence dépendent de la saison, du niveau d'humidité du sol, de la disponibilité de l'eau et des moyens d'irrigation. Nous n'avons pas pu, en effet, obtenir une information précise et fiable qui nous permet d'évaluer, par la suite, le rôle de cette technique dans la fixation des dunes. Le binage est une opération qui consiste à briser la croûte superficielle du sol pour l'ameublir tout autour de la plante et pour réduire et éviter l'évaporation. Elle est pratiquée 3 à 5 jours avant l'arrosage pour conserver la quantité d'eau d'irrigation. La fréquence de cette opération est, également, non précise. Le regarni : c'est une opération qui consiste à remplacer des plants morts après la plantation (Jalel, 1989).



Photo N°23-24 : Lutte biologique contre l'ensablement en Chine. (Youb.o, 2010)

3. Les moyens de lutte contre de l'ensablement proposés dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

Une douzaine de dossiers est consacrée à différents thèmes aussi variés que la biodiversité, le changement climatique, le pastoralisme, la télédétection, etc., afin de faire le point des connaissances sur ces différents sujets. Il s'agit également d'exposer des débats d'idées et de nouveaux concepts, y compris sur des questions controversées, d'exposer des méthodologies couramment utilisées et des résultats obtenus dans divers projets et enfin, de fournir des références opérationnelles et intellectuelles, des adresses et des sites Internet utiles.

Les sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, la faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation. Les ressources hydriques sont faibles, peu renouvelables, inégalement réparties et anarchiquement exploitées.

Sur le plan réglementaire, il faut ajuster la réglementation pastorale aux mutations socio-économique de la steppe et poser un plan pour la création d'un comité intersectoriel pour consigner les textes réglementaires régissant l'activité agropastorale pour renforcer les prérogatives et le fonctionnement des organismes et offices spécialisés dans l'intervention dans steppe, en particulier le HCDS, en associant leurs actions à des universités et à des chercheurs. Egalement, il faut intégrer dans les cahiers des charges des PNR les thématiques prioritaires qui sont en relation avec le développement et la préservation de la steppe. Ensuite, il faut établir la mise en place d'un conseil de coordination chargé de suivi, évaluation et élaboration des stratégies de développement de la steppe.

Par ailleurs, nous devons initier des projets de recherche en direction des territoires steppiques afin de renforcer les laboratoires de recherches pour les impliquer davantage dans le développement socio-économique de la steppe et d'identifier des passerelles avec d'autres universités et institutions pour renforcer et accompagner les jeunes centres universitaires en matière de capacités pédagogiques. Il faut souligner l'importance de renforcer les Projets de Proximité de Développement Rural Intégré et les études d'aménagement steppique et exploiter les points d'eau existants dans le cadre du programme Fond National de Développement Agricole (FNDA) en orientant et soutenant les pasteurs vers les cultures fourragères et propagation des fellahs pour les inciter à adopter ce genre de cultures.

L'aménagement et la gestion de la plantation réalisée sur des dunes doivent répondre à ces préoccupations tout en gardant à l'esprit la fonction prépondérante de protection assignée à ces plantations (FAO).

Dans le domaine de la lutte contre l'ensablement, aménager une plantation signifie :

- Fixer les objectifs à atteindre
- Prévoir les mesures et équipement indispensables à la réalisation de ces objectifs (FAO).

Par ailleurs, il est vivement recommandé d'associer la population usagère à toutes les étapes d'aménagement, dans le but de les intégrer dans la gestion de ces boisés. Quand l'objectif de protection n'est pas encore atteint ou quand le milieu est vulnérable à l'érosion éolienne pour diverses raisons, dynamique éolienne élevée, réussite partielle de plantations, croissance lente des espèces.

3.1 Les moyens de lutte curative :

La méthode de fixation utilisée consistait à combiner la lutte mécanique et la lutte biologique. La fixation mécanique des sables est réalisée par l'étalage de branchage de rétama ou de tamaris, sur la surface des dunes. Cette stabilisation consiste à renforcer légèrement les branchages dans les sables de façon à orienter la partie ramifiée en aval et la tige dans le sens des vents dominants. Cette méthode a donné des bons résultats grâce à l'abondance du matériel localement.

3.1.1 Les interventions pour la protection des routes et des agglomérations contre l'ensablement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

Dans le but de stabiliser les dunes et de protéger quelques routes et agglomérations contre l'envahissement du sable, plusieurs chantiers de lutte contre l'ensablement ont été réalisés, depuis des années. Nous allons nous intéresser aux interventions, ayant comme objectif principal, la protection des routes et la voie ferrée contre l'envahissement des sables, ou une fixation mécanique sera consistée en une confection des contres dunes qui sont constituées par une barrière de blocage de sable, une planche qui dévie le sable et une feuille qui affaiblit le vent.



[U2]Photo N°25 : La voie ferrée et la route touchées par l'envahissement de sable (BOUARFA S, 2016).

La barrière de sable en damier pierreux (photo N°25) est dérivée de la barrière de sable en damier de paille, qui est efficace pour fixer le sable mobile dans les régions arides et semi-arides. Étant dans un environnement de vent de haute énergie le long de la voie ferrée à Ain Sefra- Naâma, les matériaux utilisés pour le contrôle du sable ont été changés de la paille et du roseau traditionnels à la roche et au béton.(ZhangKecun, 2010)

La barrière de sable en damier pierreux est principalement utilisée pour fixer le sable mobile loin du chemin de fer (ZhangKecun, 2010) (ZhangKecun, 2010).

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

Les clôtures de blocage du sable, dont le profil de porosité est déterminé par le régime du vent local, sont utilisées à distance du chemin de fer pour contrôler les sources de sable éloignées et bloquer le flux de sable (Photo N°26b). Les panneaux qui dévient le sable modifient la direction du flux de sable et la laissent s'écouler loin des instruments de chemin de fer (Photo N°26c).

La dernière mesure pour le contrôle du sable est la feuille qui affaiblit le vent avec beaucoup de morceaux de béton en forme de feuille, et elle peut efficacement réduire la vitesse du vent près de la voie ferrée (photo N°26d).



Photo N°26 : Technique de barrière de sable pour protéger la voie ferrée contre l'avancement du sable ((ZhangKecun, 2010)(ZhangKecun, 2010)(ZhangKecun, 2010)(ZhangKecun, 2010)(ZhangKecun, 2010).

Il est bien connu que des nombreux progrès ont été réalisés dans la lutte contre le sable éolien dans les régions arides et semi-arides.

Malheureusement, au début de la construction du chemin de fer, aucune mesure pour le contrôle de sable n'a pas été développée spécifiquement pour notre région.

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

Par conséquent, certaines mesures utilisées temporairement pour les régions arides et semi-arides ont été adoptés le long du chemin de fer.

Afin de contrôler efficacement et scientifiquement les dégâts causés par le sable, des recherches sont nécessaires pour déterminer les différences de mouvement des grains de sable dans les régions arides et semi-arides. (ZhangKecun, 2010) (ZhangKecun, 2010).

D'autres méthodes, à la fois mécaniques et biologiques, sont également mentionnées dans les Photos N°27. Cette technique a été utilisée sur les routes chinoises, et de bons résultats ont été donnés. Par conséquent, nous recommandons son utilisations à côté des routes et des chemins de fer de notre pays.

Ces barrières en béton (photo N°25-28) ne doivent pas être utilisées entre les routes, car elles collectent du sable à l'intérieur de la route, et surtout elles provoquent des accidents de la circulation et entraine son blocage (Photo N°28).



Photo N°27 : Technique chinoise de lutte conte l'ensablement des routes

(Youb. o, 2010).

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

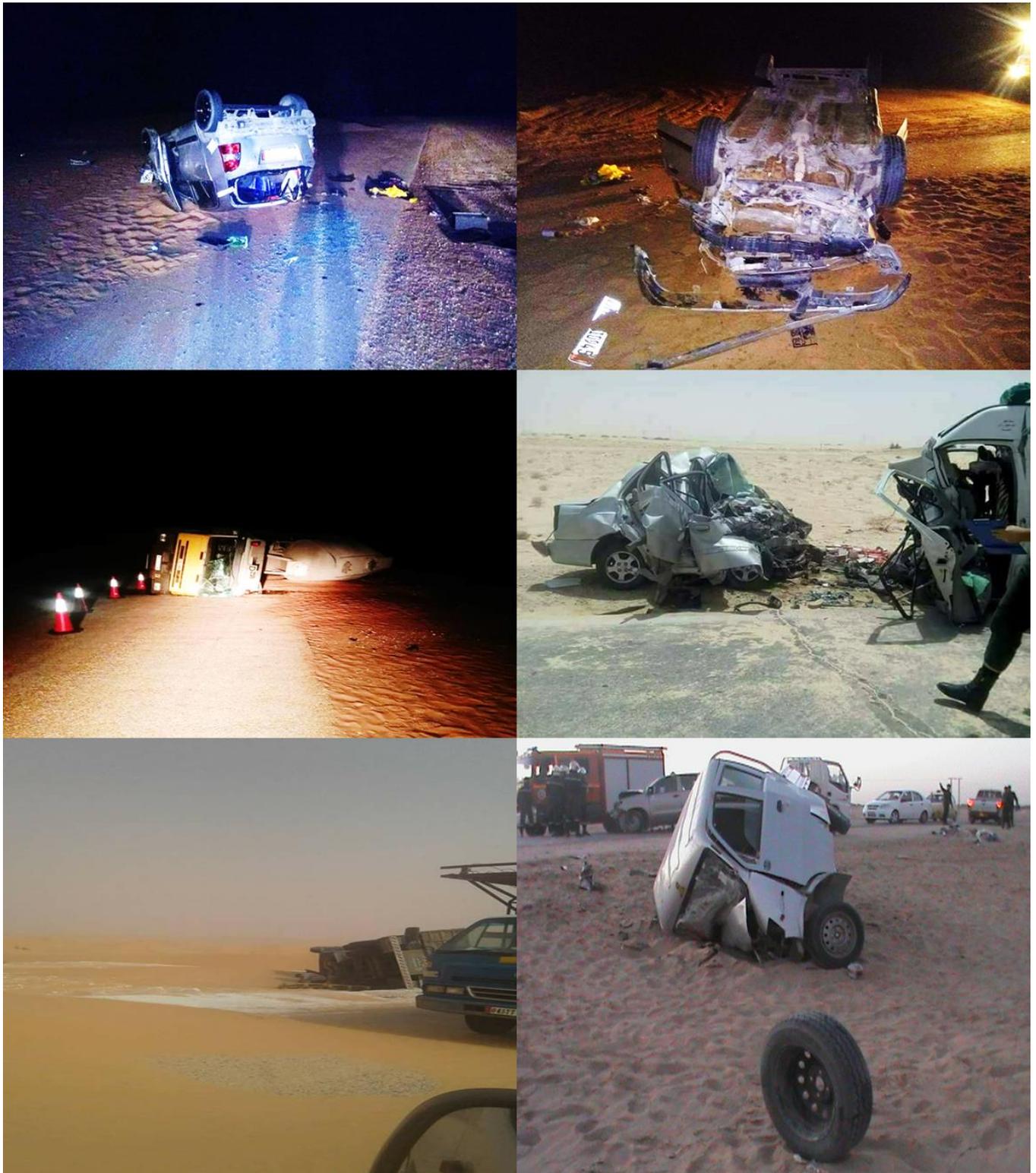


Photo N°28 : L'invasion de la route par le sable cause des accidents et surtout des victimes (Hakoum m, 2018).



Photo N°29 : Les résultats de l'utilisation de la technique chinoise de la lutte contre l'ensablement des routes (Zhang et al., 2009).

3.2 L'aménagement des berges des oueds contre l'ensablement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

Des populations de plus en plus nombreuses se sont installées aux abords des oueds et ont défriché de grandes surfaces pour la pratique de la culture irriguée. Cette action s'est accompagnée de la coupe des ligneux qui protégeaient les berges pour la consommation domestique et pour ériger des palissades autour des champs. La construction des canaux d'irrigation, le labour des terres fragiles se sont ajoutés pour créer les conditions de l'accélération de l'ensablement des affluents, l'érosion des berges et le comblement des mares, des lacs et leurs affluents.

Les bassins versants et les oueds engendrent, aux moments des crues, le ravinement des berges et affectent souvent le réseau routier, les infrastructures forestières et les agglomérations.

Pour protéger une ville contre l'inondation, il faut localiser les zones inondables selon les degrés de risque par rapporte aux les inondations précédentes (Fig. 69).

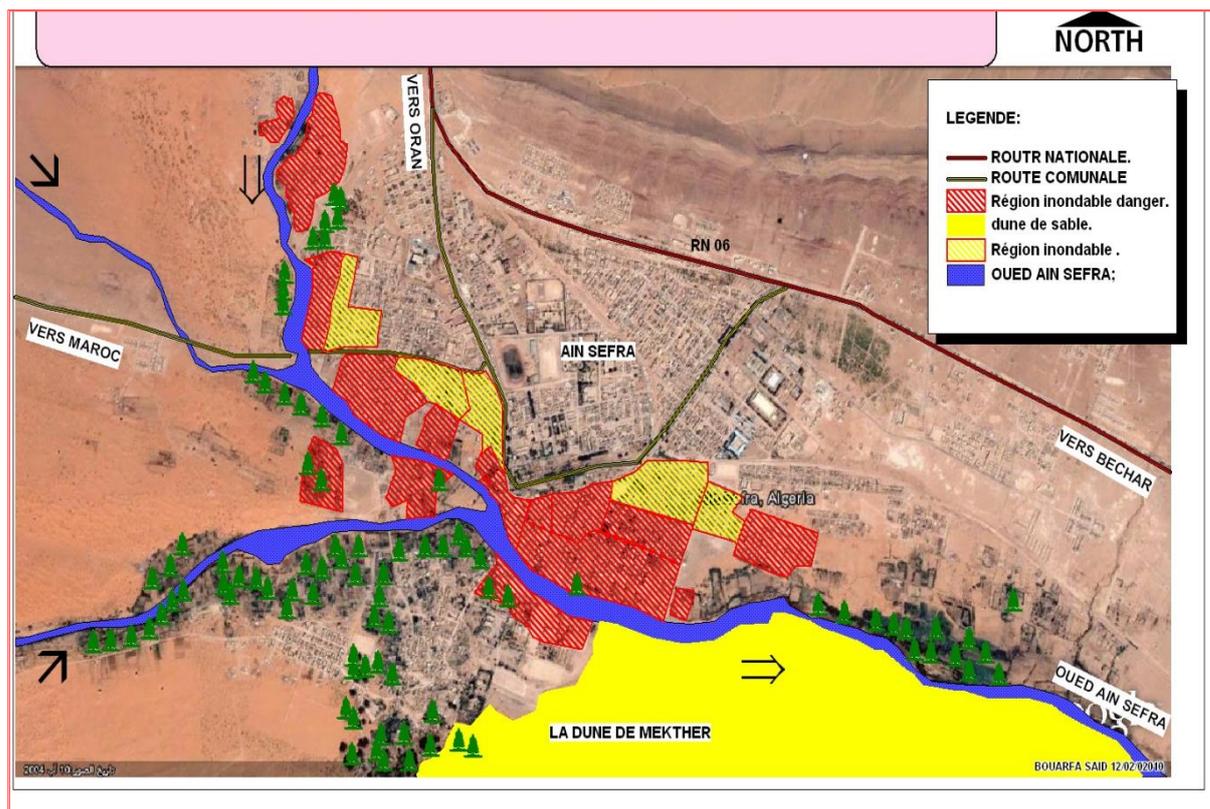


Figure N°69 : Sensibilité à l'inondation de la ville d'Ain Sefra.

L'interaction entre des indices comme, la cartographie du bassin versant et la ville vulnérable à inondée, la pluviométrie de dizaine d'années, le réseau hydrographique et l'étude sur terrain avec les témoins qui sont des victimes de ces catastrophes, permettent la mise en évidence des solutions idéales. Il y a plusieurs études qui ont pour but de protéger et aménager les villes inondables mais ces études concernent seulement des zones particulières.

Les agglomérations inondables sont des villes qui sont affectées par les inondations et sont généralement instaurées sur les berges des rivières, des fleuves et des oueds. C'est la raison pour laquelle l'eau des crues débordent. (Photo N°30)



Photo N°30 : L'ensablement des berges de l'Oued Mouilah –bassin versant de l'Oued Ain Sefra (Bouarfa S, 2016).

Pour protéger une ville contre l'inondation, il faut localiser les zones inondables selon les degrés de risque par rapporte aux inondations précédentes.

La carte montre des quartiers inondables, qui représentent les quartiers bâtis sur les berges de l'oued. Les quartiers en rouge sont plus menacés par les crues à cause de leur position au croisement des Oueds, et donc, ce sont les plus en danger. Les quartiers en jaune sont moins de danger mais ils sont en risque de subir des inondations.

La prévention passive représente la plus simple, et de loin la plus efficace méthode, largement adoptée par nos ancêtres, et qui consistait à ne pas s'installer dans les secteurs réputés inondables. Les villages s'établissaient que sur les sites élevés bien connus, pour être en sécurité par rapport aux menaces des cours d'eau. Autrefois, la construction dans les zones inondables était exceptionnelle.

En ce qui concerne l'entretien des lits, au cours des siècles précédents les cours d'eau non domaniaux étaient exploités, leur entretien considéré comme essentiel et était assuré par les riverains. (Photo N°31)



Photo N°31 : L'aménagement de l'Oued Tiout après l'invasissement du sable.

(Bouarfa, 2018)

Les lits des oueds sont envasés souvent par des arbustes comme les tamaris, des déchets et de la terre, etc., qui représentent des obstacles empêchant la circulation des eaux courant des oueds. Ils diminuent le lit d'oued et par conséquent ils provoquent des crues.

Les travaux de protection pour l'aménagement d'un cours d'eau peuvent être conçus à plusieurs niveaux et revêtir plusieurs formes : suppression d'obstacles, curages, dragages et protection des rives, etc.

Les digues peuvent retenir les eaux d'inondation au moment des décrues et les empêchant de regagner le lit du cours d'eau.

Une autre solution efficace est le recours à des barrages filtrants qui sont percés avec des ouvertures de tailles variables et à des hauteurs différentes. En cas de crues dangereuses l'écoulement de l'eau n'est pas bloqué mais modulé et considérablement freiné.

Les canalisations sont les opérations les plus coûteuses et qui posent le plus de problèmes. Elles ne devraient se faire que lors des traversées urbaines, lorsque la haute valeur foncière des terrains adjacents justifie leur construction et qu'aucune autre solution ne peut être trouvée. (Fig. 70)

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

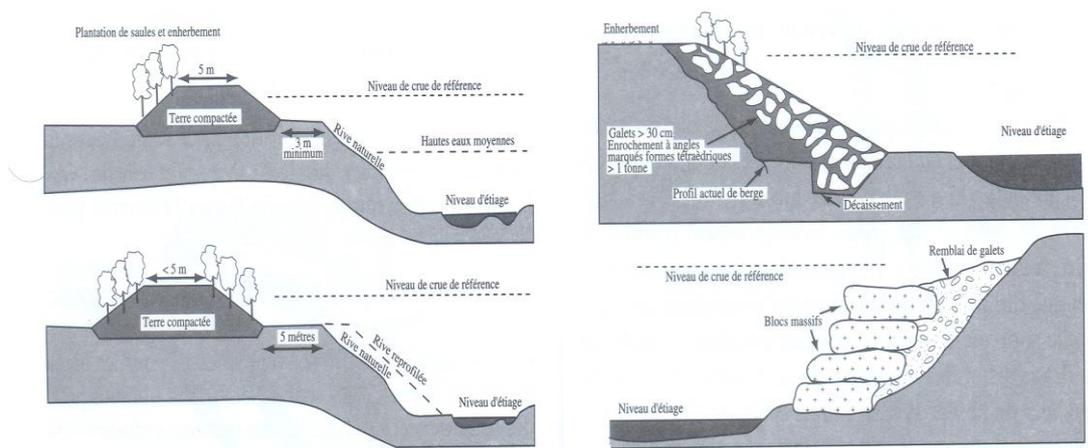


Figure N°70 : Protection de berges. Protection par l'endiguement et l'enrochement.

(Salomon, 1997) (Salomon, 1997) (Salomon, 1997) (Salomon, 1997)

Des études hydrogéologiques seront toutefois nécessaires si nous voulons souhaiter tirer un réel profit de ces réserves. Le secteur de l'hydraulique connaît actuellement une phase de rénovation, de réhabilitation et d'extension destinées à renforcer les infrastructures existantes, et ce par le recours aux différents programmes mis en œuvre (PSD, PCD, FSDRS, Programme d'urgence, etc.).

Commune	Volume Correction Torrentiel(m ³)	Volume de conservation des eaux et de sol(m ³)	Total
Naâma	5 000	1 000	6 000
Mecheria	25 740	0	25 740
Ain-Sefra	79 365	3 000	82 365
Tiout	0	0	0
Sfissifa	9 339	1 500	10 839
Moghrar	33 663	2 300	35 963
Asla	16 900	17 415	34 315
Djenien-Bourezg	5 000	500	5 500
Ain-Ben-Khelil	0	0	0
Mekmen-Ben-Amar	0	0	0
Kasdir	0	0	0
El-Biodh	0	0	0
Total	175 007	25 715	200 722

Tableau N°65 : Répartition de traitement des bassins versants et protection des eaux et des sols (depuis la création de la wilaya) par commune (31/12/2016).

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

Une technique de « submersion » a été proposée par Ghanouché en 2007. Elle consiste dans l'utilisation des eaux de crues pour inonder les parcelles ensablées puis d'évacuer sur l'oued les eaux chargées de sables au moyen d'un fossé conçu pour cette fin.

3.3 Aménagement des parcours ensablés et très dégradés dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra :

Pour les parcours qui sont très dégradés et qui ont été envahi totalement par le sable, nous signalons le besoin d'une action urgente de la part des autorités.

Egalement les parcours ensablés qui sont proches des quartiers résidentiels, devraient être dirigés vers des programmes de construction ou des installations des équipements publiques, tels que l'expérience ressue du quartier de Mouilah où la conversion des terres sablonneuses en logements entre 2004-2016 (Fig. 71).



Figure N°71 : Aménagement de remplacement des parcours ensablés par des constructions à Ain Sefra entre 2004 et 2016. (Image google Earth pro).

Les photos et les images satellites montrent la réussite du processus de conversion des zones sableuses en habitations et des bâtiments. Les bénéficiaires des programmes de logement ont contribué à la transformation des terres sableuses en quartiers résidentiels. (Photo N°32)

PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR

Ca représente un cout important pour la population de former ces espaces et de transférer le sable à un potentiel où il est utilisé pour l'enfouissement. Les bénéficiaires sont transportés sur les sables vers d'autres endroits, généralement utilisés dans les travaux d'enfouissement.



Photo N°32 : Le remplacement des parcours ensablé par des constructions à Ain Sefra entre 2004 et 2016. (Bouarfa S).

Conclusion :

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra est un milieu favorable au déclenchement de l'ensablement qui est causé par plusieurs facteurs. En effet, le bassin appartient à un climat aride, et il est caractérisé par des ressources en eau limitées, un couvert végétal peu dense, une extension des terrasses alluviales (constituées de matériel sableux fin) et des sols sableux. L'exploitation intensive de ces ressources - par surpâturage, extension des cultures, la destruction du couvert végétal et du sol, s'est trouvée exposé aux agents de dégradation. Le prélèvement des particules sableuses par le vent et son accumulation par la suite, a abouti au déclenchement du phénomène d'ensablement qui a beaucoup d'effets néfastes sur les aménagements, les infrastructures et sur le domaine pastorale.

Afin de réduire ces effets, une tentative de stabilisation des dunes par moyens mécaniques et biologiques a été menée depuis 1962 par l'Etat et l'autorité civile. Les moyens mécaniques utilisés consistent en une confection des palissades surmontées par des plaques en fibrociment ou en palmes sèches. Ces palissades sont disposées soit sous la forme d'un quadrillage, soit sous la forme des contre dunes. Une fixation biologique – par reboisement et par mise en défens est effectuée par la suite. Afin de renforcer l'efficacité des moyens utilisés, plusieurs expériences menées par la biographie (la Chine, Tunisie, Maroc, FAO), ont eu lieu. Elles ont concerné la technique de quadrillage, l'aplanissement des dunes, la mise en défens, l'utilisation des moyens de labour et de la technique de culture en bande.

Les stratégies ont été orientées vers la protection des terrains de culture contre l'envahissement du sable. Les résultats dans ce cas ont été très limités. En effet, les interventions, par la technique des contre dunes, dans les parcours steppiques dégradés, n'ont pas connu de succès significatif, dans la stabilisation des accumulations sableuses. En outre, la présence des sources de sable représente un autre facteur qui influence la fixation de ces dunes. Par ailleurs, les facteurs techniques ont joué un rôle prépondérant. Les analyses effectuées ont montré l'effet bénéfique de la mise en défens.

Enfin, les différents moyens de lutte utilisés dans le bassin versant, nous a permis de constater que la plus part des techniques utilisées sont des techniques curatives. En effet, l'intervention a eu lieu après le déclenchement du phénomène d'ensablement. Nous considérons que l'utilisation des moyens préventifs, surtout lorsqu'il s'agit des parcours steppiques, peut avoir des résultats importants au niveau de la fixation du sable et la protection des aménagements contre le processus d'ensablement.

Conclusion générale :

L'érosion éolienne est caractérisée par l'arrachement, le transfert et la sédimentation des particules par l'eau, le vent et la gravité. Le vent reste l'élément principal responsable de la mobilité des sables, où la dégradation rapide et intensive de la couverture végétale facilite le prélèvement du matériel sableux par le vent. Ce matériel enlevé est accumulé par la suite dans d'autres endroits, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, engendrant la formation de différentes accumulations dunaires et initiant des processus de désertification. Les accumulations sableuses dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, sont déplacées continuellement et envahissent d'autres surfaces chaque année, pourraient mettre en danger les sites urbains et les infrastructures socio-économiques.

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra des Monts de Ksour qui fait partie du Sud-Ouest des Hautes Plaines oranaises qui forment la partie occidentale de la chaîne atlasique algérienne, il a de nombreuses localités de sérieux problèmes d'ensablement. Ces derniers qui résultent de la sévérité des conditions climatiques, la friabilité des affleurements géologiques et de l'utilisation non rationnelle des ressources naturelles constituent le phénomène le plus spectaculaire de la désertification.

L'ensablement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a plusieurs lieux, on a : Une grande formation dunaire de 4 km de hauteur, 8 km de largeur et 30 km de longueur, aussi le champ de dunes de Magroune est principalement formé par des petites barkhanes et des champs barkhaniques et des aklis qui s'étendent de Sefissifa à Haraza.

La technique pour suivre la mobilisation des sables est le traitement d'images satellitaires entre 1975 et 2015 et a été réalisé en plusieurs volets qui sont obligatoires pour arriver à une autre image plus réelle puisque nous avons intégré les données du terrain, ce que nous appelons « la classification supervisée » ainsi le croisement entre ces deux images classifiées pour détecter le changement de l'extension d'ensablement.

Nous avons essayé, en exploitant des données de terrain et les techniques de la télédétection et l'outil SIG, de comprendre la dynamique éolienne et les mécanismes de l'ensablement, voire même l'apparition de la désertification pour une zone très sensible, en l'occurrence la wilaya de Naâma.

L'étude diachronique s'est basée sur l'utilisation des images multidates (MSS, TM, ETM+ et Oli). Cette étude a permis de cartographier la variation des changements des accumulations sableuses et des parcours steppiques en exploitant des techniques, la technique basée sur l'utilisation des SIG et des images satellitaires, l'utilisation des compositions colorées multidates et de l'indice dynamique de voile sableux. A l'aide de ces techniques nous avons pu mettre en lumière la détection du changement qui a eu lieu pour une période fixée au préalable de 1975 à 2015.

D'après les traitements des images satellitaires, les formations éoliennes dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra ont connu durant les 40 ans des différentes phases qui varient entre la régression et la progression des couvertures sableuses.

Les résultats obtenus à partir des classifications des images satellitaires et la vérification de terrain montrent l'existence d'une dégradation importante des parcours steppiques et des matorrals. Cette dégradation est la résultante des activités anthropiques (labours, pâturage et coupe de bois de feu) qui contribuent à réduire notablement la densité du couvert végétal. Les rares beaux peuplements forestiers sont présents uniquement sur les sommets du massif, généralement avec un accès difficile.

Le bassin versant d'Oued Ain Sefra a une surface de 300735.3 hectares, où l'ensablement qui envahit sa surface, comme les parcours steppiques, il poursuit le processus de remplissage les terres jour après jour. Il est souvent représenté sous forme des dunes de plus de 2 mètres et les accumulations désignent un ensemble de 24949 hectares (8.3%) en 1975, de 35681 hectares (11.8%) en 1985, de 36667 h (12.2 %) en 1998, de 67692 hectares (22.51%) en 2005 et de 49454 hectares (16.44%) en 2015.

Les accumulations de sable sont principalement des amas de sable ou des dunes de sable de 2 à 4 mètres de haut, à Boughilaba et Maktaa -Dli au pied du Djebel d'Aissa. Ces accumulations se situent le long de la route nationale N°06. Nous avons enregistré une augmentation de 27818,24 hectares pour les dunes soit 9,25% et de 7084,57 hectares soit 2,36% pour les accumulations sableuses. L'ensablement en 2015 a présenté 16.6% de la superficie totale de bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Nous avons remarqué que l'ensablement de 1975 à 2015 sont localisent généralement à la dépression qui se situe entre Djebel Aissa et Djebel Mekther, de Tiout jusqu'à Assela, aussi dans la zone de Boughilaba, à la dépression qui situe entre Djebel Mourghad et Djebel Aissa de Naama jusqu'à Ain Sefra, et quelque accumulations sableuses se trouvent dans Sfissifa.

L'ensablement a été localisé spatialement sous les versant ouest des montagnes c'est à dire la direction WSW et SW, cette répartition est généralement sous forme des flashes et accumulation de sables dispersées.

Mais pour connaître l'impact du phénomène d'ensablement sur la morphologie et l'évolution des dépôts sableux, il reste utile de coupler ces techniques avec des levés topographiques de grande précision permettant des calculs de volumes de sable déposé ou érodé par le vent.

Les conséquences néfastes sont l'invasion des infrastructures de base par des sables (routes, canaux d'irrigation, champs de culture, etc.), sur le plan socio-économique il est à l'origine de la baisse de la production agricole et la réduction des espaces pastoraux, ce qui alimente l'exode rural massif vers la ville d'Ain Sefra et les centres urbains avoisinants.

Le bassin versant se distingue par une topographie largement dépendant de la structure, mais aussi de son dégagement par l'érosion qui est favorisé par la perméabilité topographique transversale des Monts des Ksour.

Il a un climat de type continental aride à semi-aride, caractérisé par : des températures moyennes ont augmenté dans la période 1985-2015 et des précipitations insuffisantes et à fortes variations saisonnières et annuelles, de surcroît marquées par le changement climatique des dernières décennies ; des hivers froids, accompagnés de gelées fréquentes ; des étés chauds et secs. D'après l'analyse des données pluviométriques de la station d'Ain Sefra qui représente l'exemple le plus représentatif de toute la zone, à travers plusieurs indices de sécheresse, nous pouvons retenir que la sécheresse est un phénomène récurrent. Par ailleurs la méthode des écarts à la moyenne donne un pourcentage plus de 64% d'années sèches, alors que l'analyse fréquentielle atténue le sens de la sécheresse et réduit le pourcentage à 35 %. En outre, la fréquence d'apparition d'années successives sèches est relativement élevée : 51,6 % d'années sèches sont formées de deux ou trois années consécutives. L'aridité du climat s'est accentuée. La station d'Ain Sefra est passée de l'étage aride inférieur à hiver froid à l'étage aride inférieur à hiver frais.

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a également une structure géologique aux formations de surface fragiles et sensibles à l'érosion qui, conjuguée aux effets climatiques et à l'insuffisance du couvert végétal pérenne, a donné lieu à des sols de qualité médiocre pour l'agriculture. Sa végétation steppique est soumise aux effets négatifs du climat et du surpâturage, qui se rétrécit de plus en plus pour laisser place à l'érosion et à la désertification.

La sédentarisation de la population nomade, l'évolution et l'accroissement de la population, l'accession à la propriété foncière et agricole, les subventions accordées aux éleveurs, l'introduction de moyens mécaniques et de transports, la destruction de l'organisation sociale tribale et la privatisation de certaines terres collectives ont entraîné un déséquilibre et une dégradation souvent irréversible des écosystèmes pastoraux et la chute de leur productivité.

Les constats effectués mettent donc en évidence une situation très singulière et qui peut susciter des inquiétudes quant à l'avenir de ces territoires. En effet, à travers la dégradation des conditions

climatiques et les effets néfastes des interventions de l'homme sur le milieu naturel (surpâturage, défrichement, etc.) c'est toute la base de l'économie ancestrale de la wilaya de Naama, à savoir le pastoralisme, qui est menacée dans sa durabilité, et qui appelle donc la nécessité de solutions urgentes. Les facteurs anthropiques et socio-économiques qui ont un lien direct ou indirect dans le dysfonctionnement du système pastoral semblent très complexes et se situent à des niveaux divers. Dans ce bassin versant l'érosion éolienne est la cause principale de tout ensablement où le vent joue le triple rôle d'agent érosif, de transport et de dépôt de formation des dunes. Il présente des conditions favorables à une vive érosion éolienne souvent accentuée par l'action néfaste de l'homme et de son bétail. L'intensité de cette érosion dépend essentiellement du vent qui est l'agent causal et des autres caractéristiques écologiques du milieu où s'exerce cette érosion. Le traitement des données anémométriques soit par le régime des vents ou par le déplacement potentiel des sables permet de déterminer les directions des vents efficaces et la direction résultante annuelle des déplacements potentiels de sable ainsi que celle saisonnière et d'estimer la masse du sable susceptible d'être mobilisée. Cependant, quels que soient les vents efficaces de ce bassin versant, ils ne représentent pas l'unique agent responsable dans le phénomène d'ensablement.

La modélisation du déplacement potentiel sableux a permis de distinguer le «régime des vents» de celui «le déplacement sableux », c'est-à-dire différencier les vents dominants des vents efficaces qui sont capables de générer des déplacements sableux. Ainsi, le régime des vents au niveau du système dunaire du bassin versant de l'Oued Ain Sefra est "bidirectionnel" où les vents dominants proviennent essentiellement des deux secteurs Sud-Ouest et secondairement de l'Est. Alors que le régime des déplacements sableux est "uni modale" où les vents efficaces sont issus du secteur Ouest.

L'essai de quantification a l'intérêt d'être une des seules approches du difficile problème des déplacements éoliens. Elle présente des lacunes, car bien des paramètres lui manquent.

La turbulence du vent, qui n'est mesurée par aucune station météorologique et qui joue un rôle principal dans la mise en mouvement du sable et la résultante des déplacements de ce dernier, peut se trouver de ce fait fort différente de celle des roses des sables.

Les vents dominants proviennent essentiellement des secteurs Sud et Nord et secondairement du secteur Est et Ouest, du régime de transport sableux qui est unidirectionnel. En effet, nous observons seulement les vents du secteur Sud et WSW qui sont efficaces et capables de générer un déplacement sableux.

La capacité de transport (DP) pour l'ensemble de la série de 1985 à 2015, avec une vitesse d'arrachement de 6 m/s est de l'ordre de 220 U.V. et de 329 pour la vitesse d'arrachement 5m/s, ceci permet de considérer la zone d'Ain Sefra comme étant une zone à énergie éolienne moyenne.

L'utilisation des équations de S.G. Fryberger (1979) pour la corrélation entre la capacité de transport et le volume de sable déplacé indique que la masse de sable potentiellement mobilisée de 1985 à 2105 est de 1849,16 m³/m/an soit, 3088,09 T/m/an.

La représentativité de la période sur laquelle ont été faits nos calculs de DPS, démontre que le transport des sables est un phénomène cyclique, en intensité et en direction, aux échelles saisonnière et quotidienne :

- un printemps et un été. : les capacités de transports (DP) sont les plus élevées et les sables se déplacent du WSW vers NNE généralement et de S vers N.

Durant cette période, nous avons un coefficient de migration moyen (0,37-0,38) en produisant toujours un transport de sable sur de longues distances.

-un automne et un hiver : les capacités de transports (DP) de sables sont plus faibles.

Dans cette période les vents sont moins venteux, sans directions prépondérantes.

Par rapport au coefficient de migration (RDP/DP) pour les 30 ans de la série de 1985-2015 à la station météorologique d'Ain Sefra, nous pouvons considérer ce dernier comme étant moyen selon la classification de Fryberger, entre 0.3 et 0.34 donc, c'est-à-dire il existe une mobilité en produisant toujours un transport de sable sur de longues distances et l'angle moyen d'orientation (RDD) de la série est de 234 °N soit, une direction de résultante d'WSW.

Le module de la résultante (RDP) qui représente la force potentielle de migration des seize directions est de 76 pour la vitesse de 6 m/s et de 99 pour 5m/s, pour l'ensemble de la série.

Cependant, la combinaison des couches d'informations et la cartographie montrent que le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a des zones ayant un très fort risque d'ensablement sont localisées dans la dépression qui situent entre Djebel Aissa et Djebel Mourghad, d'Ain Sefra – Boughilaba à Naama, aux pieds ouest de Djebel Aissa, aux pieds ouest de Djebel Mekther, aux versant ouest de Djebel Mourghad, de Boussemgoune à Mougrar et Sfisifa à Djebel Bouamoud. Des zones à fort risque d'ensablement sont localisées au centre de la dépression qui situe entre Djebel Aissa et Djebel Mourghad et l'autre qui situe entre Djebel Aissa et Djebel Mekther de Tiout à Assela. D'Ain Sefra – Boughilaba à Haraza et Sfisifa, aux versants ouest de Djebel Aissa, et les versant Est de Djebel Mourghad, de Boussemgoune à Mougrar et Sfisifa à Djebel Bouamoud.

Les zones à risque moyen gardent elles sont localisées généralement aux dépressions.

Les zones à risque faible sont très limitées, Elles sont généralement les Montagnes et les versants des Monts des Ksour, et quelque zones protégées contre l'ensablement (reboisement, forêt, mise en défend ou un aménagement). et des zones pas de risque d'ensablement. Les éléments explicatifs de ce risque sont en rapport direct avec la fragilité du milieu naturel (la morphologie, l'ouverture

aux vents forts, la faible couverture végétale, la texture fine des sols...) et la pression anthropique sur le milieu.

Ces résultats pourraient être à la base d'une intervention d'aménagement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Les aménagements et les moyens de lutte contre l'ensablement dans le bassin versant ont eu beaucoup d'effets bénéfiques sur le parcours steppique, le couvert végétal et sur le paysage morphologique. Les résultats, au niveau de recouvrement par la végétation et au niveau de la fixation des dunes, sont différents d'un site à l'autre, l'efficacité des mesures de fixation et de contrôle biologique ne pourra être jugée que dans quelques années mais il faudrait expérimenter à la fois l'utilisation des treillis plastiques et étudier les potentialités des microorganismes en matière de fixation des sables à ce bassin versant.

L'aménagement en lui-même constitue un résultat, un acte final à propos duquel il est utile de rappeler les phases de conception du modèle qui l'ont précédé, afin de susciter une réflexion commune, dans cette optique, la stratégie à adopter doit nécessairement apporter une réponse appropriée à l'adéquation des besoins et des ressources dans une perspective durable tenant compte des exigences environnementales.

Nous suggérons des mises en défends de longue durée pour une meilleure conservation des parcours steppiques par conséquent la couverture végétale et des sols sous-jacents pour préserver la diversité écosystémique restante.

Enfin les différents aménagements et techniques de lutte utilisés dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra ou dans des autres zones arides, sont pour la plus part des techniques curatives. En effet, l'intervention a eu lieu après le déclenchement du phénomène ensablement. Dans notre opinion, l'utilisation des moyens préventifs, surtout lorsqu'il s'agit des parcours steppiques, ne peut pas avoir des résultats importants au niveau de la fixation du sable et la protection des aménagements contre l'ensablement.

Bibliographie

- Abdallah, a. 1987. Contribution a l'etude hydrogeologique de la region d'ain sefra magister en geologie. these doctorat université alger.
- Abdourhamane toure, a., bergametti, g., bielders, c., bouet, c., callot, y., dupont, s., khatteli, h., labiadh, m., marticorena, b. et rajot, j.-l. 2015. Erosion éolienne dans les régions arides et semi-arides africaines: processus physiques, métrologie et techniques de lutte. *Revue des regions arides*, 36.
- Abuodha, j. o. 2003. Grain size distribution and composition of modern dune and beach sediments, malindi bay coast, kenya. *Journal of african earth sciences*, 36, 41-54.
- Aidoud, a. et touffet, j. 1996. La régression de l'alfa (*stipa tenacissima* l.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Science et changements planétaires/sécheresse*, 7, 187-193.
- Al-awadhi, j., al-helal, a. et al-enezi, a. 2005. Sand drift potential in the desert of kuwait. *Journal of arid environments*, 63, 425-438.
- Al-ghamdi, k. ethermas, e. 2015. Assessment of dune migration hazards against landuse northwest al-lith city, saudi arabia, using multi-temporal satellite imagery. *Arabian journal of geosciences*, 8, 11007-11018.
- Anderson, r. s., sørensen, m. et willetts, b. B. 1991. A review of recent progress in our understanding of aeolian sediment transport. *Aeolian grain transport 1*. Springer.
- Anser, a. 2017. Guide pratique pour l'utilisation des indices et coefficients climatologiques, office des publications universitaire.
- Bagnold, r. 1953. Forme des dunes de sable et regime des vents. *Actions eoliennes*, 23-32.
- Bagnold, r. 1954. Physical aspects of dry deserts. In: j.c. Cloudsley-thompson edit., *biology of deserts*, 7-12.
- Bagnold, r. a. 2005. *The physics of blown sand and desert dunes*, mineola, dover publications.
- Barth, h.-j. 2001. Characteristics of the wind regime north of jubail, saudi arabia, based on high resolution wind data. *Journal of arid environments*, 47, 387-402.
- Belkacem, g. 2014. Contribution a l'analyse phytoecologique de la region d'ain sefra (naama). Memoire magister, faculté des sciences de la nature et de la vie département de biologie.
- Belmahi, m. n. 2015. Ensablement et aménagement dans les milieux arides et semi-arides sur les marges nord-ouest de l'atlas saharien algerien. These doctorat faculté des sciences de la terre, de géographie et d'aménagement du territoire, univ. oran2.
- Benabadji, n. et bouazza, m. 2000a. Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *artemisia herba-alba* asso. Dans l'oranie (algérie occidentale). *Science et changements planétaires/sécheresse*, 11, 117-23.
- Benabadji, n. et bouazza, m. 2000b. Quelques modifications climatiques intervenues dans le sud-ouest de l'oranie (algérie-occidentale). *Rev. En. Ren. Unesco. Vol*, 117-125.
- Benalla, m., alem, e. m., rognon, p., desjardins, r., hilali, a. Etkhardi, a. 2003. Les dunes du tafilalet (maroc): dynamique éolienne et ensablement des palmeraies. *Science et changements planétaires/sécheresse*, 14, 73-83.
- Benaradj, a. 2017. Étude phyto-écologique des groupements à *pistacia atlantica* desf. Dans le sud oranais (sud-ouest algérien). these doctorat, univ. telemcen.

- Benazzouz, m.t 1994. Étude des interactions relief-migrations éoliennes de sable dans la région de M'Doukal (Algérie). *Méditerranée*, 80, 51-58.
- Benazzouz, m.t 2001. Morphogenèse éolienne et principes de fixation des dunes mobiles: élaboration d'un plan d'action dans le Bassin du Hodna et des Ziban (Algérie). Séminaire international sur les techniques de fixation des dunes. Taghit.
- Benazzouz mohamed tahar, Boulghobra nouar, n., koull, n., sebaa, a. etkherraze, m. e. h. 2011. impact du risque d'ensablement sur l'emprise de la nouvelle voie ferrée biskra_touggourt.
- Benderradji, m. e. h., alatou, d., arfa, a. m. t. etbenachour, k. 2006. Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation: impact du phénomène en algérie. *New medit*, 5, 15-22.
- Benmohammdi, a., benmohammdi, l. et jean-louis 2001. Analyse des inter-relations anthropiques et naturelles: leur impact sur la recrudescence des phénomènes d'ensablement et de désertification au sud-est du maroc (vallée de drâa et vallée de ziz). *Science et changements planétaires/sécheresse*, 11, 297-308.
- Bensaid, a. 2006. Sig et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride: le cas de la wilaya de naâma (algérie). These doctorat, université joseph-fourier-grenoble i.
- Benzarti, z. 1990. La pluviométrie indice de sécheresse. Tendances pluriannuelles. *Ressources en*.
- Bergaoui, m. 2002. Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique: cas du bassin versant de siliana en tunisie. *Science et changements planétaires/sécheresse*, 12, 205-13.
- Bergaoui, m. et alouini, a. 2002. Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique: cas du bassin versant de siliana en tunisie. *Science et changements planétaires/sécheresse*, 12, 205-13.
- Berte, c., mohamed, m. et saleck, m. 2010a. Lutte contre l'ensablement. L'exemple de la mauritanie. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Berte, c., mohamed, m. et saleck, m. 2010b. Lutte contre l'ensablement. L'exemple de la mauritanie.
- Blaschke, t. 2010. Object based image analysis for remote sensing. *Isprs journal of photogrammetry and remote sensing*, 65, 2-16.
- Bouarfa, s. 2012. Le phénomène d'ensablement dans le sud ouest la région d'ain sefra: conditions, facteurs et impacts sur l'environnement. Magister, université ahmed ben bella d'oran1 Es senia.
- Bouarfa, s. et bellal, s. a. 2018. Assessment of the aeolian sand dynamics in the region of ain sefra (western algeria), using wind data and satellite imagery. *Arabian journal of geosciences*, 11, 56.
- Boukhobza, m. h. 1982. L'agro-pastoralisme traditionnel en algérie.
- Boulghabra, n. et dridi, h. 2016. Fine resolution imagery and gis for investigating the morphological characteristics, and migration rate of barchan dunes in the erg sidi moussa dunefield near in-salah (algeria). *Geographia technica*, 11.
- Boulghobra, n. 2015. Sand encroachment in the saharan algeria; the not declared disaster-case study: in-salah region in the tidikelt. *Planet@ risk*, 3.
- Breed, c. s., fryberger, s. g., andrews, s., mccauley, c., lennartz, f., gebel, d. et horstman, k. 1979. Regional studies of sand seas using landsat (erts) imagery. *A study of global sand seas*, 1052, 305-398.
- Brice, g. 2002. Synchronisation des chaleurs chez les ovins et les caprins rev. *Point vét publi-information-ceva*, 33, 51.

- Callot, y. 1978. A propos des plateaux ardéchois: karsts. Rapports fond-surface et évolutions des paysages calcaires. Thèse de 3 e cycle, université de reims.
- Callot, y. 1987. Géomorphologie et paléoenvironnements de l'atlas saharien au grand erg occidental. These de doctorat, université de paris, 6.
- Callot, y. et oulehri, t. 1996. Aeolian sand geodynamics in the north-western sahara: relations between aerology and geomorphology. *Geodinamica acta*, 9, 1-12.
- Campbell, j. b. et wynne, r. H. 2011. Introduction to remote sensing, guilford press.
- Capot-rey, r. Études récentes sur le climat de l'afrique du nord et du sahara. *Annales de géographie*, 1946. Jstor, 39-48.
- Capot-rey, r. 1951. Une carte de l'indice d'aridité au sahara français. *Bulletin de l'association de géographes français*, 28, 73-76.
- Chehma, a 2011. Le sahara en algérie, situations et défis. Workshop international sur" l'effet des changements climatiques sur l'élevage et la gestion durable des parcours dans les zones arides et semi-arides du maghreb"(fao, ukmouargla, cirad). Ouargla-algérie, du, 2011.
- Chloé, l. 2015. La sécheresse : causes et conséquences. *Notre-planete.info*.
- Cook, e. r., woodhouse, c. A., eakin, c. M., meko, d. M. Etstahle, d. W. 2004. Long-term aridity changes in the western united states. *Science*, 306, 1015-1018.
- Cooke, r. u. et warren, a. 1973. *Geomorphology in deserts*, univ of california press.
- Dakir, d., rhinane, h., saddiqi, o., el arabi, e. Etbaidder, l. 2016. Automatic extraction of dunes from google earth images new approach to study the dunes migration in the laâyoune city of morocco. *International archives of the photogrammetry, remote sensing & spatial information sciences*, 42.
- De martonne, e. 1926. L'indice d'aridité. *Bulletin de l'association de géographes français*, 3, 3-5.
- Dhaou, h. 2003. Impact de la secheresse sur les oliviers dans les zones arides tunisiennes :cas du bassin versant d'oum zessar (médenine). Mastère, université des sciences, des techniques et de médecine, tunis ii institut national agronomique de tunis.
- Dhaou, h., ouerchefani, d., taamallah, h., donald, g. et ouessar, m. 2009. Drought impact on the olive-trees in the tunisian jeffara. *Journal of arid land studies*, 19, 331-334.
- Dubief, j. 1953. Essai sur l'hydrologie superficielle au sahara, gouvernement général de l'algérie, direction du service de la colonisation et de l'hydraulique, service des études scientifiques.
- El ghannouchi, a. 2007. Dynamique éolienne dans la plaine de sous: approche modélisatrice de la lutte contre l'ensablement.these doctorat, université rebat maroc.
- Emberger, l. 1955. Une classification biogéographique des climats, recherches et travaux des laboratoires de géologie, botanique et zoologie, faculté des sciences montpellier 7 (1966) 1-43. Google scholar.
- Fillali, k. 2011. Etude hydrogéologique du synclinal de naama (monts des ksour, atlas saharien occidental). Magister en science de la terre magister en science de la terre, faculté des sciences de la terre, de géographie et d'aménagement du territoire.
- Floret, c. et pontanier, r. 1984. Aridité climatique, aridité édaphique. *Bulletin de la société botanique de france. Actualités botaniques*, 131, 265-275.

- Forman, s. l., tripaldi, a. et ciccioli, p. L. 2014. Eolian sand sheet deposition in the san luis paleodune field, western argentina as an indicator of a semi-arid environment through the holocene. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 411, 122-135.
- Fryberger, s. et goudie, a. 1981. Arid geomorphology. *Progress in physical geography*, 5, 420-428.
- Fryberger, s. G., al-sari, a. M., clisham, t. J., rizvi, s. A. Etal-hinai, k. G. 1984. Wind sedimentation in the jafurah sand sea, saudi arabia. *Sedimentology*, 31, 413-431.
- Fryberger, s. g. et dean, g. 1979. Dune forms and wind regime. *A study of global sand seas*, 1052, 137-169.
- Gachon, l. 1923. L'influence de l'orientation ouest comparée à l'orientation est dans le massif du livradois. *Revue de géographie alpine*, 11, 457-463.
- Gaussen, h. et bagnouls, f. 1952. L'indice xéothermique. *Bulletin de l'association de géographes français*, 29, 10-16.
- Ghenim, a., terfous, a. et seddini, a. 2007. Étude du transport solide en suspension dans les régions semi-arides méditerranéennes: cas du bassin-versant de l'oued sebdou (nord-ouest algérien). *Science et changements planétaires/sécheresse*, 18, 39-44.
- Goudie, a. 2004. Arid lands geomorphology [online]. London: routledge. Available: <http://site.ebrary.com/id/10656950>.
- Greeley, r. Etiversen, j. D. 1987. Wind as a geological process: on earth, mars, venus and titan, cup archive.
- Haddouche. 2009. La télédétection et la dynamique des paysages en milieu aride. Thèse doctorat thèse doctorat, univ. Tlemcen.
- Hadied, m. 1996. Croissance et développement de petites agglomérations et leur rôle dans l'organisation de la steppe sud-oranaise (algérie occidentale). Magister magister, universite d'oran. Insitut de geographie et d'amenagement du territoire. p08/204
- Hirche, a., boughani, a. Etsalamani, m. 2007. Évolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. *Science et changements planétaires/sécheresse*, 18, 314-320.
- Huschke, r. e. 1959. Glossary of meteorology.
- Jensen, j. r. 1996. Thematic information extraction: image classification. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*, 197-256.
- Jia, w., zhang, c., li, s., wang, h., ma, x. et wang, n. 2016. Grain size distribution at four developmental stages of crescent dunes in the hinterland of the taklimakan desert, china. *Journal of arid land*, 8, 722-733.
- Khadidja, f. Etude hydrogéologique du syndinal de nâama. Magister, université mohamed ben ahmed d'oran 2.
- Khalaf, f. et al-ajmi, d. 1993. Aeolian processes and sand encroachment problems in kuwait. *Geomorphology*, 6, 111-134.
- Labiadh, m. t., bergametti, g., bouet, c., khatteli, h. Etabichou, m. 2015. Vers une quantification de l'érosion éolienne des sols labourés dans le sud tunisien. *Revue des régions arides-numéro spécial-n*, 36, 1.
- Lancaster, n. 1982. Dunes on the skeleton coast, namibia (south west africa): geomorphology and grain size relationships. *Earth surface processes and landforms*, 7, 575-587.
- Lancaster, n. 1988. Controls of eolian dune size and spacing. *Geology*, 16, 972-975.
- Lancaster, n. 2009. Aeolian features and processes. *The geological society of america*, 1-25.

- Landis, j. r. et koch, g. g. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 159-174.
- Larre, c. 2015. La sécheresse : causes et conséquences. Ww.notre-planete.info.
- Layelmam, m. 2015. Calcul des indicateurs de sécheresse à partir des images noaa/avhrr. Iav; crts; craste-lf.
- Le floch, e., grouzis, m., cornet, a. et bille, j. 1992. L'aridité: une contrainte au développement. Caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés. Editions de l'orstom. Paris.
- Le gouée, p. 1998. Incidence de l'exposition des versants sur la dynamique hydrique des horizons cultivés en période de sécheresse climatique. Etude expérimentale dans le sud du calvados (basse-normandie)(exposition of the slopes and dry-out of cultivated lands, experimental study). *Bulletin de l'association de géographes français*, 75, 332-340.
- Le houérou, h.-n. 1995. Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'afrique, centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes, institut agronomique méditerranéen de montpellier.
- Lettau, k. et lettau, h. 1978. Experimental and micrometeorological field studies of dune migration.
- Lillesand, t., kiefer, r. et chipman, j. 2000. Remote sensing and image interpretation john wiley & sons new york google scholar.
- Liu, l., skidmore, e., hasi, e., wagner, l. Ettatarko, j. 2005. Dune sand transport as influenced by wind directions, speed and frequencies in the ordos plateau, china. *Geomorphology*, 67, 283-297.
- Mainguet, m. 1996. Aridité, sécheresse et dégradation dans les aires sèches de chine. *Science et changements planétaires/sécheresse*, 7, 41-50.
- Mainguet, m. 1999. Aridity: droughts and human development, springer science & business media.
- Mainguet, m. 2012. Desertification: natural background and human mismanagement, springer science & business media.
- Mainguet, m. et callot, y. 1978. L'erg de fachi-bilma, tchad-niger: contribution à la connaissance de la dynamique des ergs et des dunes des zones arides chaudes, éditions du centre national de la recherche scientifique.
- Mainguet, m. et dumay, f. 2006. Combattre l'érosion éolienne: un volet de lutte contre la désertification. Les dossiers thématiques du csfd.
- Maliva, r. et missimer, t. 2012. Aridity and drought. *Arid lands water evaluation and management*. Springer.
- Mansour, h. 2007. Hydrogéologie du continental intercalaire et du complexe terminal en domaine aride. Exemple des monts des ksour (atlas saharien occidental-algérie). Thèse doctorat d'état université d'oran-407 p 162 fig., 8 pl.
- Mansour, h., issaadi, a. et stamboul, m. 2008. Apport des systèmes d'information à l'établissement d'une cartographie hydrogéologique régionale (monts des ksour, atlas saharien occidental, algérie). *Bulletin du service géologique national*, 19, 71-85.
- Martonne, e. d. 1942. Nouvelle carte mondial de l'indice d'aridité. *Annales de géographie*, 241-250.
- Mashhadi, n., ahmadi, h., ekhtesasi, m., feiznia, s. et fegghi, g. 2008. Analysis of sand dunes to determine wind direction and detect sand source sites (case study: khartooran erg, iran). *Desert*, 12, 69-75.
- Mckee, e. d. 1979. A study of global sand seas. Us govt. Print. Off.

- Medejerab, a. et henia, l. 2013. Variations spatio-temporelles de la sécheresse climatique en algérie nord-occidentale.
- Melalih, a. 2011. Analyse des techniques de conservation de l'eau et du sol dans la zone aride cas bassin versant d'ain sefra. Magister.
- Naciba, m. 2002. Les moyens de lutte contre l'ensablement dans la jeffara (sud est tunisien) :evaluation et impacts sur l'évolution du milieu « exemple la région de médenine ». Magister, laboratoire de cartographiegéomorphologique des milieux, des environnements et des dynamiques.
- Nedjraoui, d. Etbédrani, s. 2008. La désertification dans les steppes algériennes: causes, impacts et actions de lutte. Vertigo, 8.
- Nickling, w., neuman, c. m. et lancaster, n. 2002. Grainfall processes in the lee of transverse dunes, silver peak, nevada. Sedimentology, 49, 191-209.
- Nickling, w. et wolfe, s. 1994. The morphology and origin of nabkhas, region of mopti, mali, west africa. Journal of arid environments, 28, 13-30.
- Nouaceur, z. 2013. Nouakchott, une capitale au péril des vents de sable, de l'ensablement et des inondations. Science et changements planétaires/sécheresse, 24, 182-193.
- Nouar, b., toufik, h. et mamar, b. 2014. Using landsat imagery for monitoring the spatiotemporal evolution of sanding in dryland, the case of in-salah in the tidikelt (southern algerian sahara). Geographia technica, 9.
- Organisation météorologique mondiale 2012. Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé. Omm-n° 1090.
- Ouessar, m., institut de recherche pour le, d. et institut des régions, a. 2006a. Entre désertification et développement : la jeffara tunisienne, el menzah; tunis; médenine, institut de recherche pour le développement ; cerès éditions ; institut des régions arides.
- Ouessar, m., yahyaoui, h., ouled belgacem, a. et boufalgha, m. 2006b. Aménagements et techniques de lutte contre la désertification: inventaire et bilan. Entre la désertification et le développement: la jeffara tunisienne, edited by: genin, d., guillaume, h., ouessar, m., ouled belgacem, a., romagny, b., sghaier, m., and taamallah h., ceres editions, tunis, tunisia, 147-161.
- Oulehri, t. 1992. Etude géodynamique des migrations de sables éoliens dans la province de laayoune(nord du sahara marocain). These, universty paris 6.
- Owen, p. r. 1964. Saltation of uniform grains in air. Journal of fluid mechanics, 20, 225-242.
- Pye, k. et tsoar, h. 2008. Aeolian sand and sand dunes, springer science & business media.
- Rahmani, a., bouanani, a., kacemi, a. et hamed, k. b. 2017. Contribution of gis for the survey and the management of water resources in the basin "benhandjir-tirkount"(ain sefra)–mounts of ksour-saharian atlas–algeria. Journal of fundamental and applied sciences, 9, 829-846.
- Rahou, b. 2003. Erosion éolienne et mobilité potentielle des sables dans le sud-ouest algérien (wilayas de naama, béchar et adrar). Thèse d'etat, ph.d, université oran.
- Requier-desjardins, m. et caron, p. 2005. La lutte contre la désertification: un bien public mondial environnemental? Des éléments de réponse.
- Roche, m. f. 1986. Dictionnaire français d" hydrologie de surface avec équivalents en anglais-espagnol-allemand, masson.

- Rognon, p. 1996. Sécheresse et aridité: leur impact sur la désertification au maghreb. *Science et changements planétaires/sécheresse*, 7, 287-297.
- Salem, b. 1988. Manuel de fixation des dunes, organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Salomon, j.-n. 1997. L'homme face aux crues et aux inondations, presses univ de bordeaux.
- Saqqa, w. et atallah, m. 2004. Characterization of the aeolian terrain facies in wadi araba desert, southwestern jordan. *Geomorphology*, 62, 63-87.
- Sbaï, a., moussaoui, f. et oualit, n. 1992. Les régimes des vents au maroc oriental. *Méditerranée*, 76, 45-52.
- Senoussi, a., adamou, a. et boudedja, m. 2014. Synchronisation des chaleurs et insemination artificielle des chevres en algerie timing of heat and artificial insemination of goats in algeria. *Revue des bioressources*, 4, 89-96.
- Shalaby, a. et tateishi, r. 2007. Remote sensing and gis for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the northwestern coastal zone of egypt. *Applied geography*, 27, 28-41.
- Shehata, w., sabtan, a. et ghazal, m. 1998. A study on sand dune forms southeast of jeddah, saudi arabia. *Earth sciences*, 10.
- Soro, g., anouman, d., bi, t. g., srohorou, b. et savane, i. 2014. Caracterisation des sequences de secheresse meteorologique a diverses echelles de temps en climat de type soudanais: cas de l'extreme nord-ouest de la cote d'ivoire. *Larhyss journal issn 1112-3680*.
- Taïbi, a. n., gassani, j., elghadi, a. v., ballouche, a., moguedet, g., baba, m. l. o. et jidou, m. o. 2005. Diagnostic de la dynamique des ressources hydriques de surface et des processus de «désertification» du lac d'aleg et son bassin versant (brakna, mauritanie) par télédétection multirate. *Télédétection*, 5, 35-45.
- Thomas, i. l., benning, v. m. et ching, n. p. 1987. Classification of remotely sensed images.
- Tiscovschi, a., manea, g., cocos, o., vijulie, i. et cuculici, r. 2013. Characteristics of aridity conditions in south dobrudja. *Riscuri s i catastrofe*, 12, 57-65.
- Triki, n. 2009. Secheresse pluviometrique durant ces dernieres decennies sur les hautes plaines sud oranaises. Magister, faculté des sciences de la terre, géographie et aménagement du territoire.
- Tsoar, h. 2001. Types of aeolian sand dunes and their formation. *Geomorphological fluid mechanics*. Springer.
- Venard, c. 2012. La morphodynamique éolienne en régions sèches: des échelles spatiales et temporelles aux outils. Lyon 2.
- Wang, x. 2013. Sandy desertification: borne on the wind. *Chinese science bulletin*, 58, 2395-2403.
- Williams, m. 1996. Desertification. Natural background and human mismanagement. *Earth-science reviews*, 40, 309-310.
- Xiao, j., qu, j., yao, z., pang, y. et zhang, k. 2015. Morphology and formation mechanism of sand shadow dunes on the qinghai-tibet plateau. *Journal of arid land*, 7, 10-26.
- Yuan, f., sawaya, k. e., loeffelholz, b. c. et bauer, m. e. 2005. Land cover classification and change analysis of the twin cities (minnesota) metropolitan area by multitemporal landsat remote sensing. *Remote sensing of environment*, 98, 317-328.

Zhang, q., xu, c.-y. et zhang, z. 2009. Observed changes of drought/wetness episodes in the pearl river basin, china, using the standardized precipitation index and aridity index. *Theoretical and applied climatology*, 98, 89-99.

Annexes des Tableau :

Années	pi	pm	IM	IP	IPM
1985/1986	147,3	200,59	-53,29	0,73	-0,27
1986/1987	194,8	200,59	-5,79	0,97	-0,03
1987/1988	147,6	200,59	-52,99	0,74	-0,26
1988/1989	142,9	200,59	-57,69	0,71	-0,29
1989/1990	196,8	200,59	-3,79	0,98	-0,02
1990/1991	309,7	200,59	109,11	1,54	0,54
1991/1992	431	200,59	230,41	2,15	1,15
1992/1993	89,1	200,59	-111,49	0,44	-0,56
1993/1994	205,4	200,59	4,81	1,02	0,02
1994/1995	253	200,59	52,41	1,26	0,26
1995/1996	147	200,59	-53,59	0,73	-0,27
1996/1997	191,3	200,59	-9,29	0,95	-0,05
1997/1998	153,6	200,59	-46,99	0,77	-0,23
1998/1999	95	200,59	-105,59	0,47	-0,53
1999/2000	132,3	200,59	-68,29	0,66	-0,34
2000/2001	85,9	200,59	-114,69	0,43	-0,57
2001/2002	60	200,59	-140,59	0,30	-0,70
2002/2003	149	200,59	-51,59	0,74	-0,26
2003/2004	192	200,59	-8,59	0,96	-0,04
2004/2005	199	200,59	-1,59	0,99	-0,01
2005/2006	161	200,59	-39,59	0,80	-0,20
2006/2007	175,7	200,59	-24,89	0,88	-0,12
2007/2008	297	200,59	96,41	1,48	0,48
2008/2009	442	200,59	241,41	2,20	1,20
2009/2010	238	200,59	37,41	1,19	0,19
2010/2011	223	200,59	22,41	1,11	0,11
2011/2012	241	200,59	40,41	1,20	0,20
2012/2013	323	200,59	122,41	1,61	0,61
2013/2014	104	200,59	-96,59	0,52	-0,48
2014/2015	230	200,59	29,41	1,15	0,15
2015/2016	149	200,59	-51,59	0,74	-0,26

Tableau N°A01 : Valeurs de l'indice de pluviosité et Indice de l'écart à la moyenne du bassin versant de l'oued Ain sefra de 1985/2016.

Annexes

annees	pi	F	Class F	Class spi	σ	pm-q	pm-2q	Type de sécheresse
1985/1986	147,3	28,13	Sèches	Modérément sec	20,10	180,50	160,41	Très severe
1986/1987	194,8	56,25	Normales	Modérément humide	20,10	180,50	160,41	Modérée
1987/1988	147,6	31,25	Sèches	Modérément sec	20,10	180,50	160,41	Très severe
1988/1989	142,9	21,88	Sèches	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Très severe
1989/1990	196,8	59,38	Normales	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
1990/1991	309,7	87,50	Très Humides	Très humide	20,10	180,50	160,41	Modérée
1991/1992	431	93,75	Très Humides	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
1992/1993	89,1	9,38	Très sèches	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Très severe
1993/1994	205,4	65,63	Humides	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
1994/1995	253	81,25	Humides	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
1995/1996	147	25,00	Sèches	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Très severe
1996/1997	191,3	50,00	Normales	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
1997/1998	153,6	40,63	Normales	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Très severe
1998/1999	95	12,50	Très sèches	Modérément sec	20,10	180,50	160,41	Très severe
1999/2000	132,3	18,75	Sèches	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Très severe
2000/2001	85,9	6,25	Très sèches	Extrêmement Sec	20,10	180,50	160,41	Très severe
2001/2002	60	3,13	Très sèches	Modérément sec	20,10	180,50	160,41	Très severe
2002/2003	149	34,38	Sèches	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Très severe
2003/2004	192	53,13	Normales	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
2004/2005	199	62,50	Normales	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
2005/2006	161	43,75	Normales	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Forte
2006/2007	175,7	46,88	Normales	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Forte
2007/2008	297	84,38	Humides	Très humide	20,10	180,50	160,41	Modérée
2008/2009	442	96,88	Très Humides	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
2009/2010	238	75,00	Humides	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
2010/2011	223	68,75	Humides	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
2011/2012	241	78,13	Humides	Modérément humide	20,10	180,50	160,41	Modérée
2012/2013	323	90,63	Très Humides	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
2013/2014	104	15,63	Sèches	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Très severe
2014/2015	230	71,88	Humides	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Modérée
2015/2016	149	37,50	Normales	Proche de la normale	20,10	180,50	160,41	Très severe

Tableau N°A02 : Persistance de la sécheresse, Sévérité de la sécheresse et Classes de sécheresse en fonction des fréquences du bassin versant de l'oued Ain sefra de 1985/2016.

Annexes

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1985/1986	147,3	N	N	M.sec		N	M.humide	N	M.humide	N	M.humide	N	N
1986/1987	194,8	M.humide	M.sec	M.sec	M.sec	M.sec							
1987/1988	147,6	M.sec	M.sec	N	M.sec	N	M.sec	M.humide	N	N	M.sec	N	N
1988/1989	142,9	N	M.sec	N	N	M.humide	N	M.humide	M.humide	N	M.humide		N
1989/1990	196,8	M.humide	M.sec	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1990/1991	309,7	N	N	N	N	N	N	N	N	M.humide	M.humide	M.humide	M.humide
1991/1992	431	M.humide	M.humide	T.humide	T.humide	M.humide	T.humide	E.humide	E.humide	T.humide	T.humide	T.humide	E.humide
1992/1993	89,1	T.humide	M.humide	T.humide	T.humide	T.humide	M.humide	N	N	N	M.sec	M.sec	M.sec
1993/1994	205,4	M.sec	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1994/1995	253	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1995/1996	147	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1996/1997	191,3	N	M.sec	M.sec	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1997/1998	153,6	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1998/1999	95	N	N	N	N	N	N	N	M.sec	N	N	N	M.sec
1999/2000	132,3	T.sec	T.sec	T.sec	T.sec	N	N	N	N	N	N	N	N
2000/2001	85,9	N	N	N	M.sec	T.sec							
2001/2002	60	E.sec	E.sec	E.sec	E.sec	T.sec	T.sec	E.sec	E.sec	E.sec	E.sec	T.sec	T.sec
2002/2003	149	T.sec	T.sec	M.sec	T.sec	T.sec	T.sec	M.sec	N	N	N	N	N
2003/2004	192	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2004/2005	199	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2005/2006	161	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2006/2007	175,7	N	N	M.sec	M.sec	N	N	N	N	N	N	N	N
2007/2008	297	N	M.humide	M.humide	M.humide	N	N	N	M.humide	N	N	N	M.humide
2008/2009	442	M.humide	T.humide	T.humide	E.humide	E.humide	E.humide	E.humide	T.humide	E.humide	E.humide	E.humide	E.humide
2009/2010	238	E.humide	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2010/2011	223	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2011/2012	241	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2012/2013	323	N	N	M.humide	M.humide	T.humide	T.humide	T.humide	T.humide	T.humide	M.humide	M.humide	M.humide
2013/2014	104	M.humide	N	N	N	N	N	N	M.sec	M.sec	M.sec	M.sec	M.sec
2014/2015	230	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2015/2016	149	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Tableau N°A03 : Valeurs annuelles et manuelles moyennes de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI)

Annexes

	IM		Q	M°	m°
1985	5,34	le désert	13,43	37,30	-0,33
1986	7,12	le désert	21,37	35,87	4,60
1987	5,25	le désert	14,88	38,03	4,00
1988	5,12	le désert	14,17	37,60	3,00
1989	7,10	le désert	18,60	35,97	-0,33
1990	11,03	semi-aride	31,77	35,83	2,40
1991	16,30	semi-aride	39,56	36,33	-1,03
1992	3,40	Aridité absolu	8,66	34,63	-0,67
1993	7,45	le désert	20,68	35,17	1,10
1994	9,10	le désert	24,24	37,80	2,00
1995	5,33	le désert	13,40	37,30	-0,33
1996	6,99	le désert	20,99	35,87	4,60
1997	5,46	le désert	15,48	38,03	4,00
1998	3,37	Aridité absolu	8,94	38,80	2,37
1999	4,66	Aridité absolu	12,18	39,13	1,87
2000	3,08	Aridité absolu	7,11	38,93	-2,50
2001	2,07	Aridité absolu	5,39	39,60	1,40
2002	5,28	le désert	13,08	38,50	-0,57
2003	6,77	le désert	17,41	40,17	2,33
2004	7,19	le désert	18,50	37,73	0,83
2005	5,73	le désert	12,72	40,43	-2,97
2006	6,23	le désert	15,92	38,27	0,40
2007	10,66	semi-aride	26,05	38,40	-0,70
2008	15,98	semi-aride	40,32	37,90	0,30
2009	8,56	le désert	22,61	38,50	2,40
2010	7,93	le désert	21,11	37,73	1,50
2011	8,57	le désert	22,71	38,40	2,00
2012	11,47	semi-aride	29,39	38,80	1,10
2013	3,73	Aridité absolu	9,77	38,50	2,00
2014	7,93	le désert	21,67	38,80	2,40
2015	5,25	le désert	13,85	38,10	1,20
ANNUEL	7,18	le désert	18,68	37,90	1,08

Tableau N°A04 : l'indice d'aridité annuelle de _de Martonne et 2.1.4.2 Le quotient pluviométrique d'Emberger à Ain sefra 1985-2015

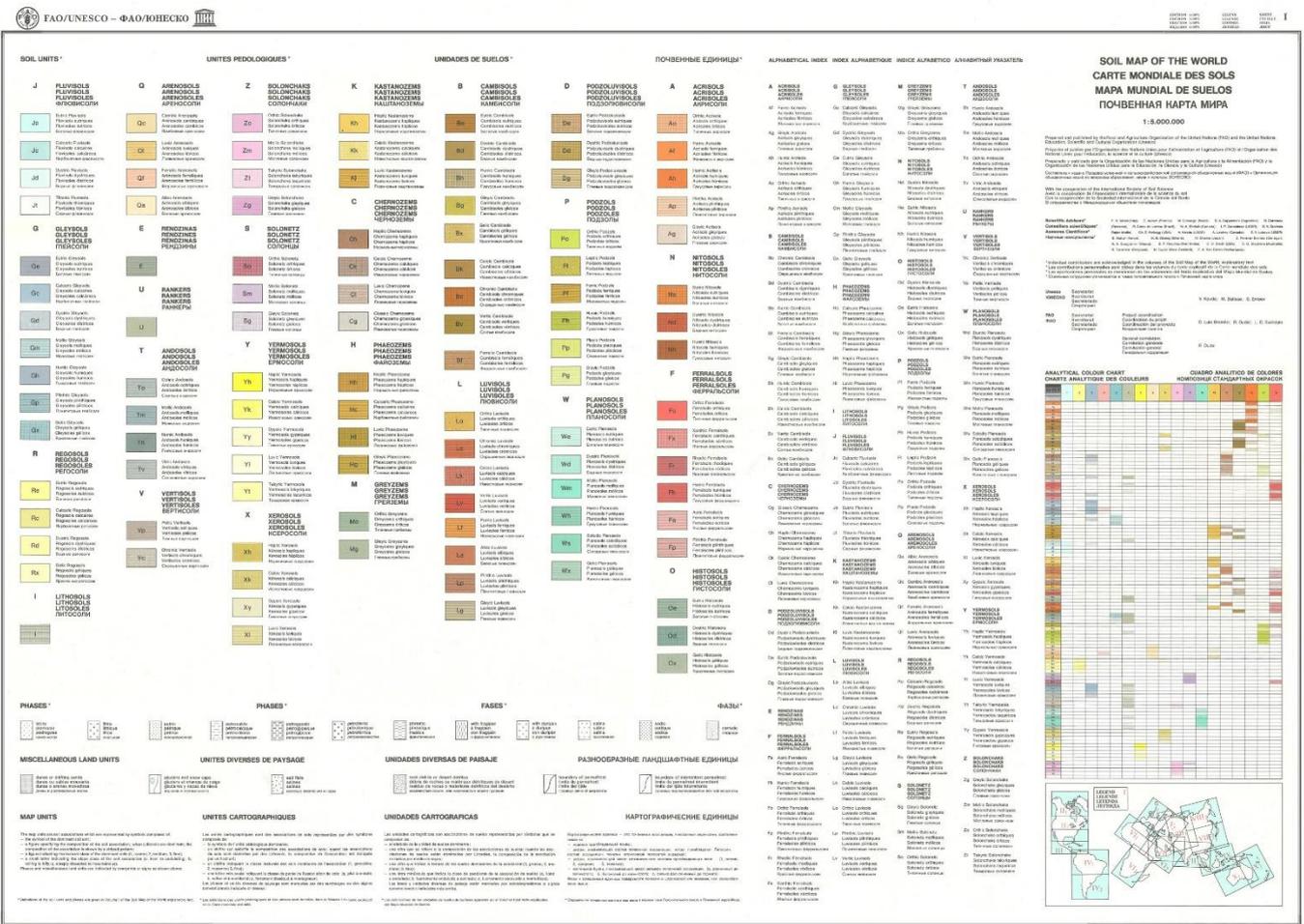


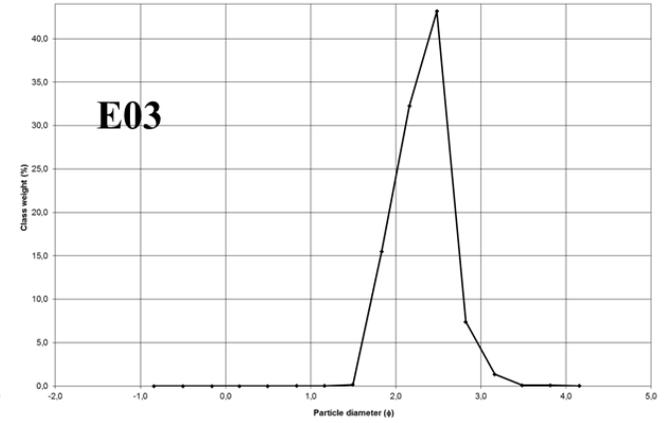
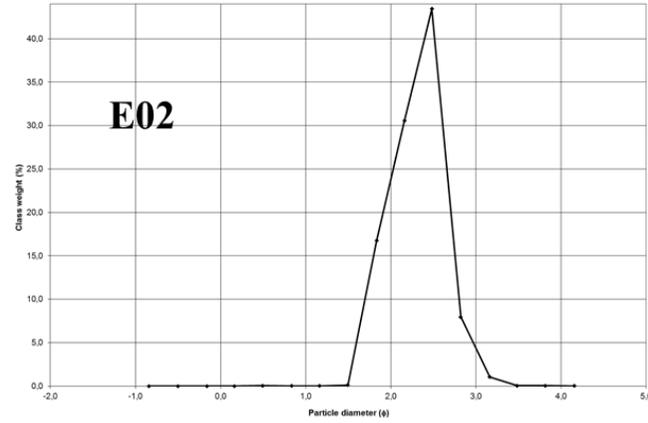
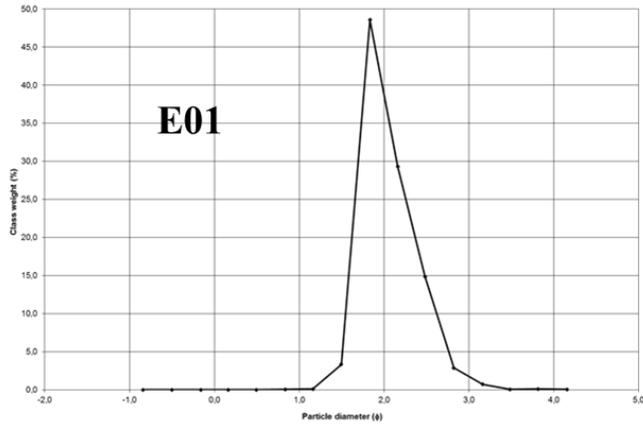
Figure N° A01 : carte mondiale des sols –FAO

Date	17/12/2016		
Référence	E1		
Prise d'essai de l'analyse (g) =	100		
Mailles (mm)	Poids retenus(g)	Refus %	Tamisats %
0,800	0,006	0,01	99,99
0,630	0,004	0,00	99,99
0,500	0,045	0,05	99,94
0,400	0,103	0,10	99,84
0,315	3,474	3,49	96,36
0,250	49,018	49,19	47,17
0,200	28,57	28,67	18,50
0,160	14,46	14,51	3,99
0,125	3,08	3,09	0,90
0,100	0,69	0,69	0,21
0,080	0,041	0,04	0,17
0,063	0,093	0,09	0,08
0,050	0,048	0,05	0,03
0,040	0,028	0,03	0,00
TOTAL =	99,66	100	
Perte % =	0,34		
T.E =	0,18	C.U =	1,51



Tableau N°A05 : Le processus d'analyse de particules granulaires.

Annexes



Particule diamètre (ϕ)

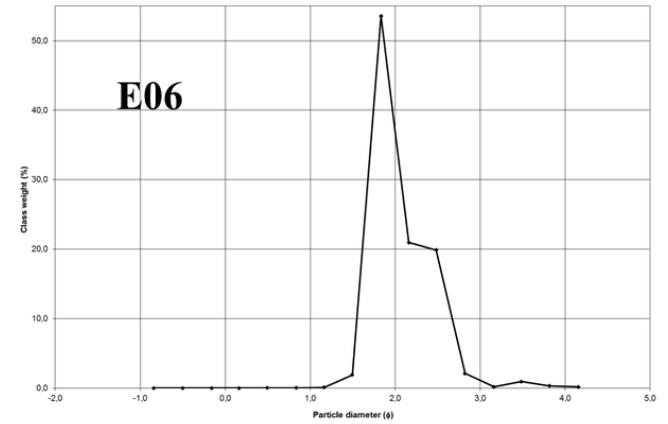
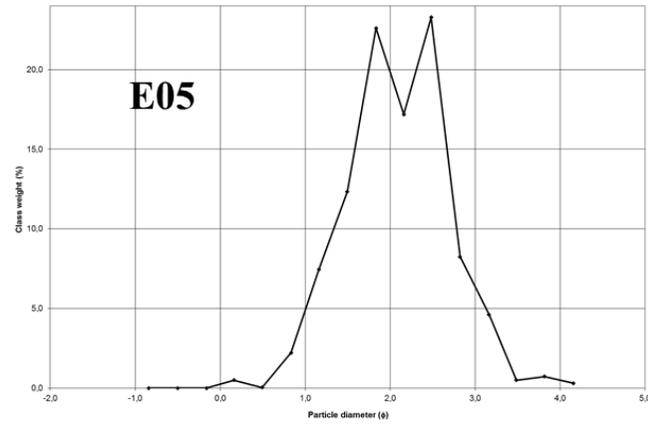
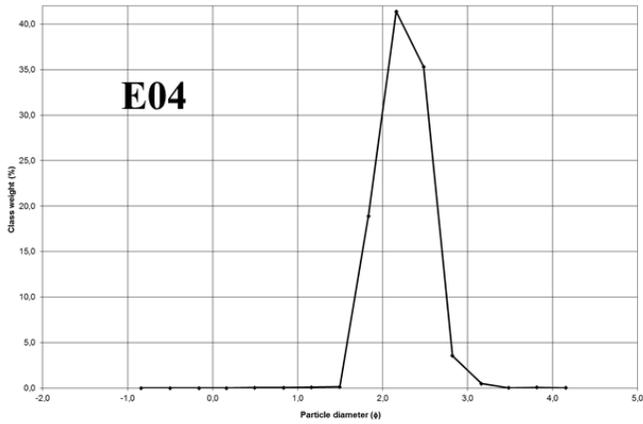


Figure N°A02 : Courbes de Fréquences Séparées en phi (ϕ) de : E01 à E06

Annexes

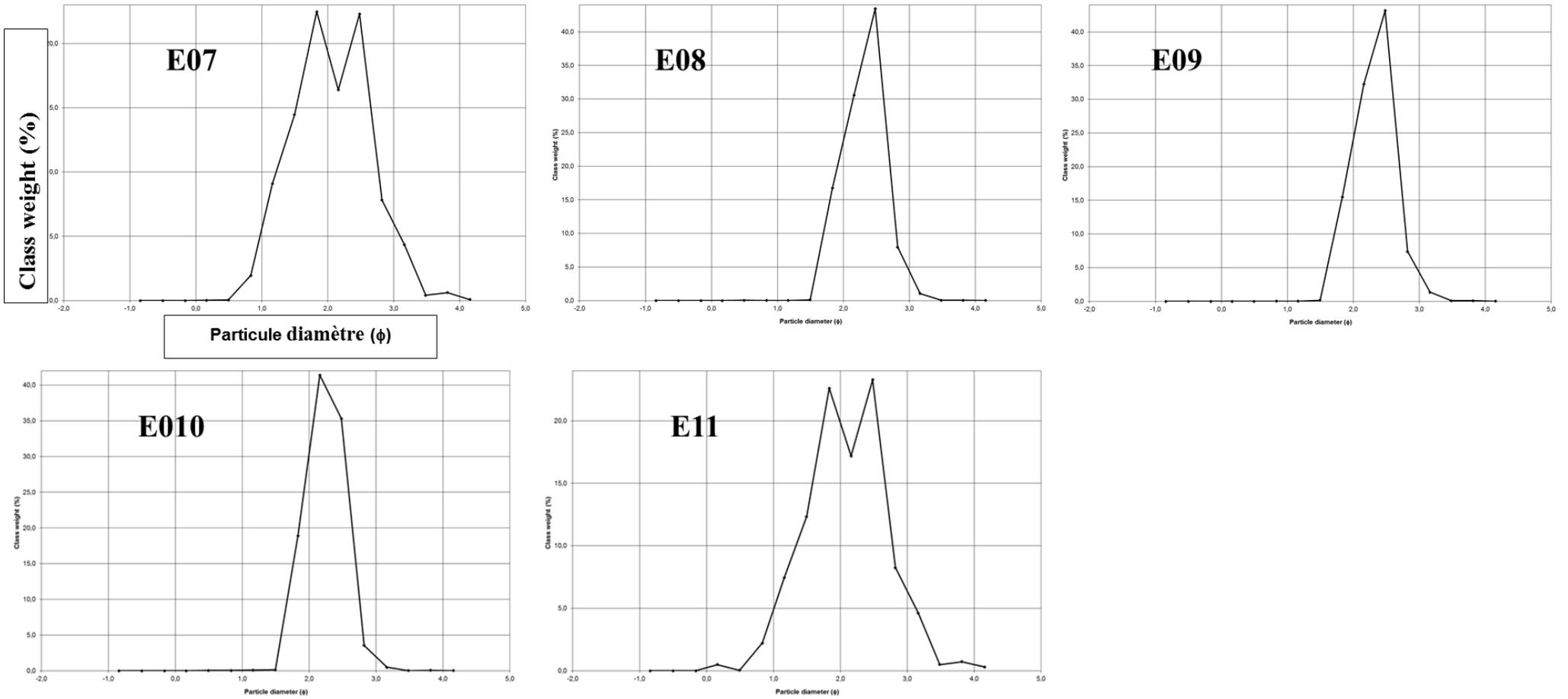


Figure N° A03 : Courbes de Fréquences Séparées en phi (ϕ) de : E07 à E11

Annexes

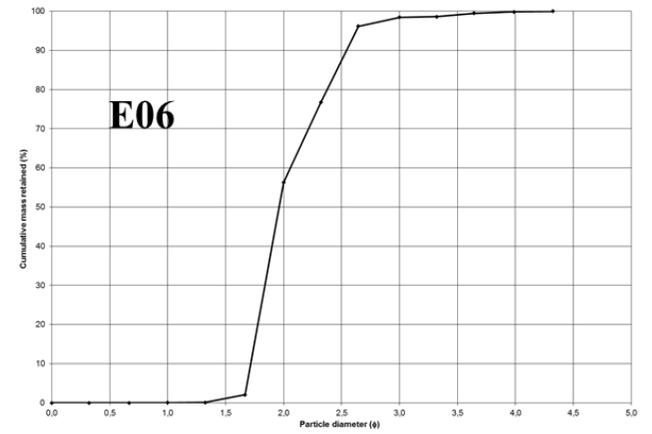
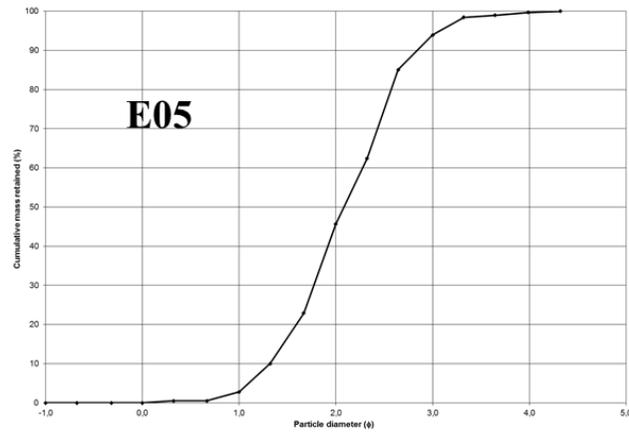
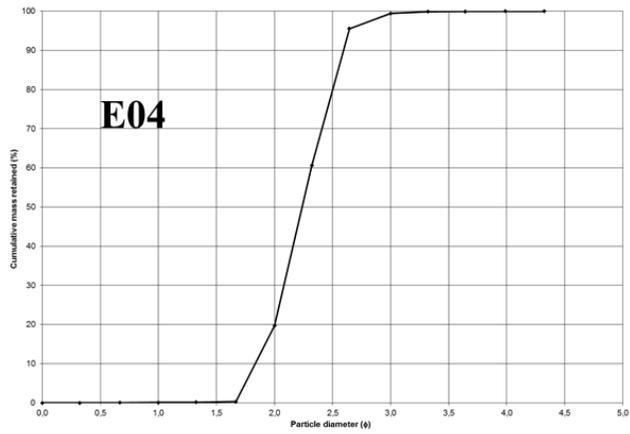
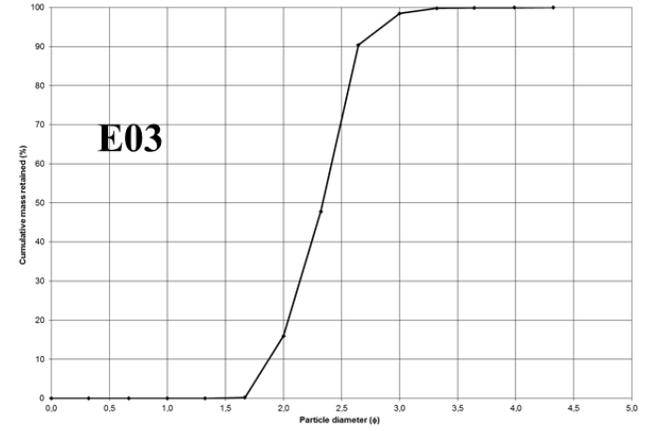
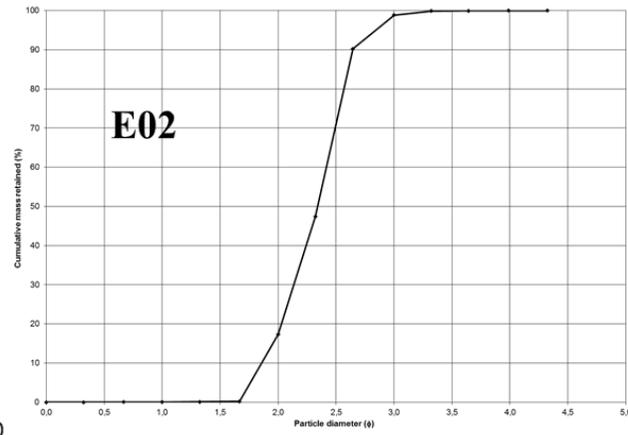
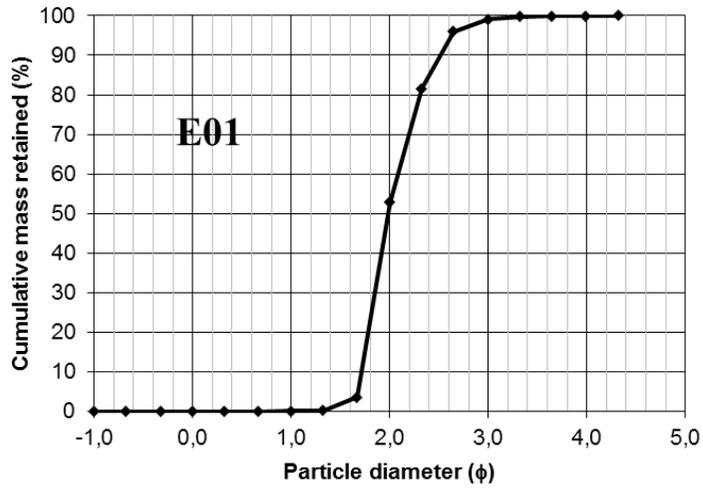
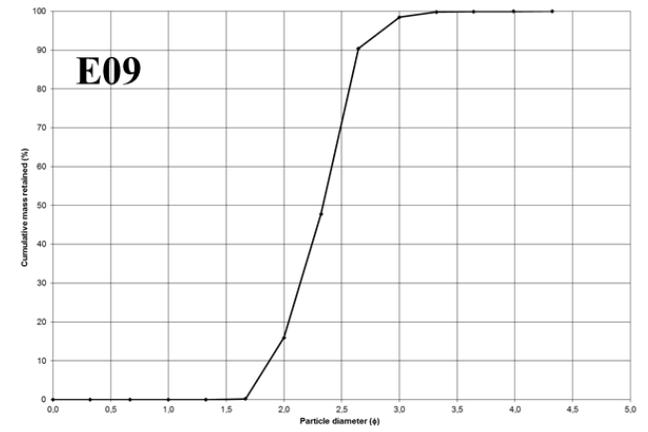
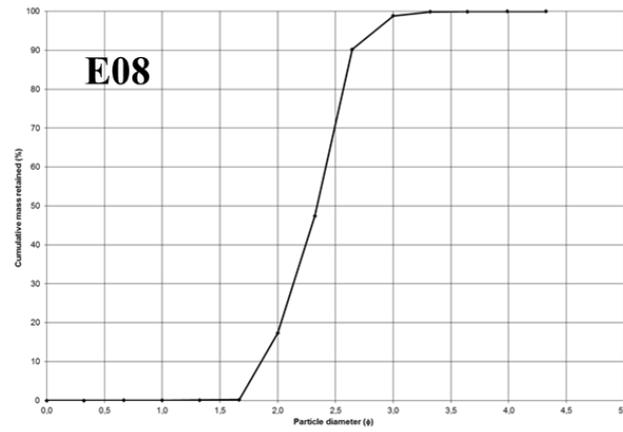
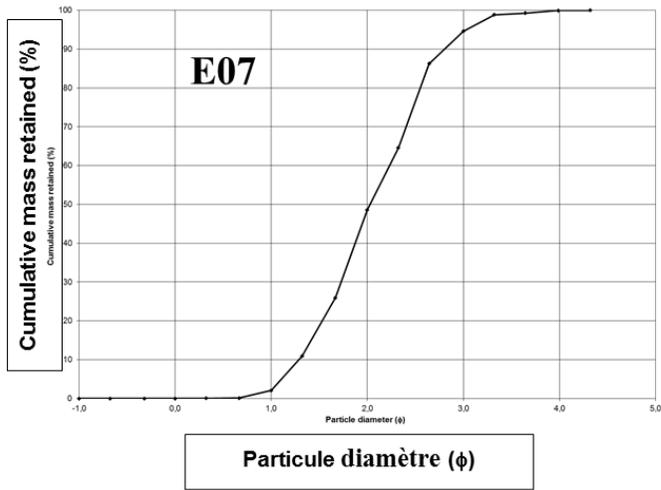


Figure N°A04 : Courbes de Fréquences Cumules en phi (ϕ) de : E01 à E06

Annexes



Particule diamètre (φ)

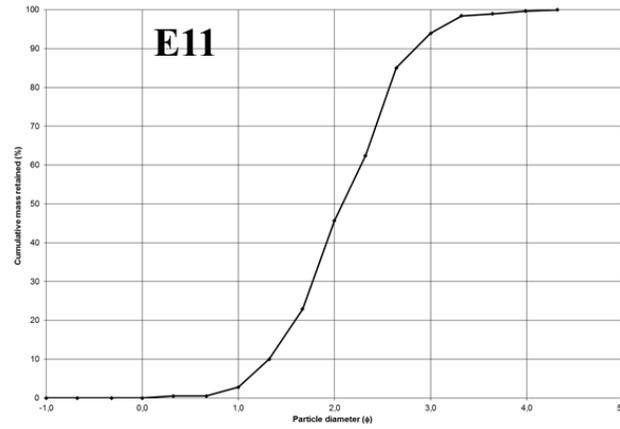
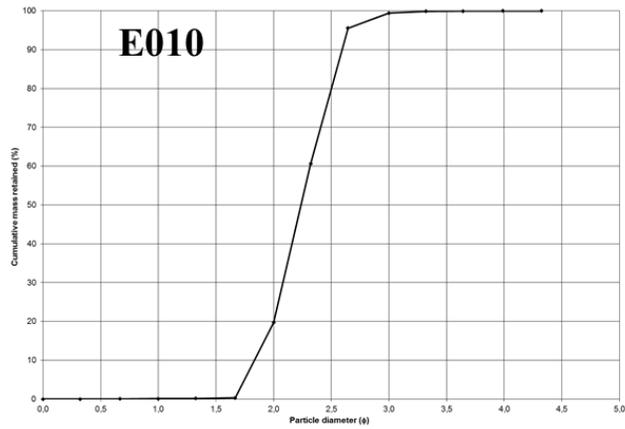


Figure N°A04 : Courbes de Fréquences Cumules en phi (φ) de : E07 à E11

Annexes

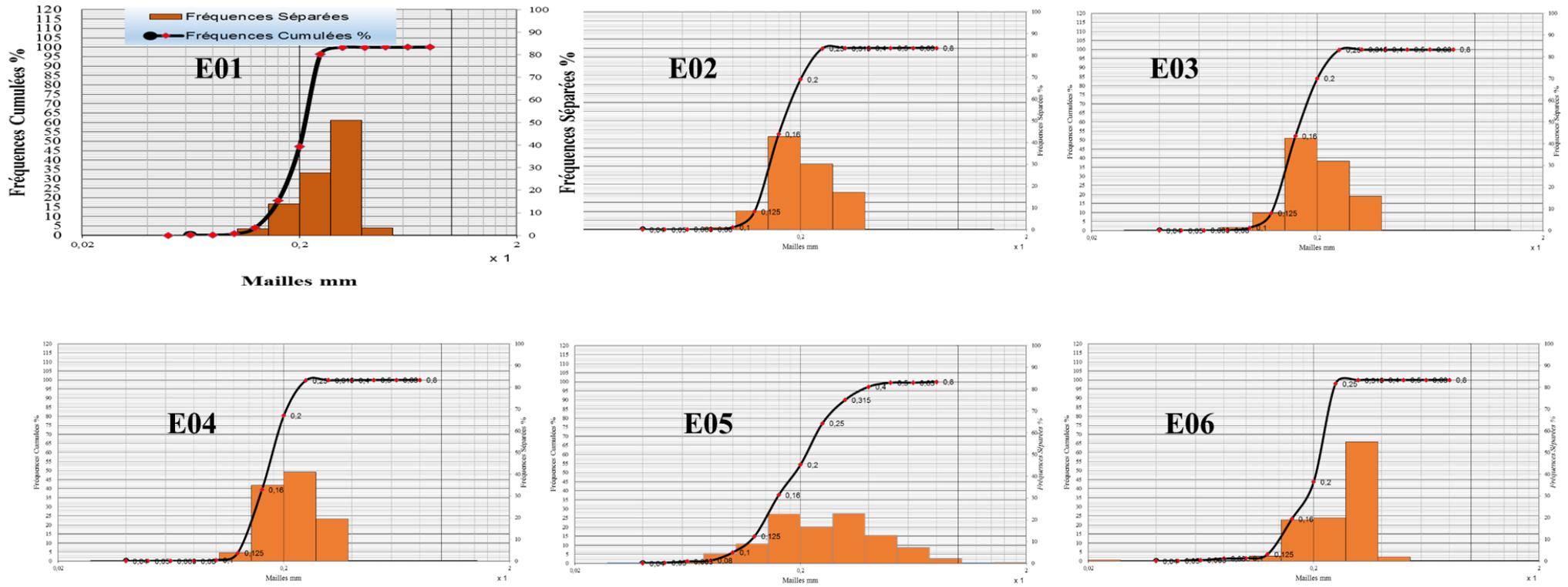


Figure N° A05 : Courbe de Fréquences Cumulées et histogramme de Fréquences Séparées en mm de E01-E06

Annexes

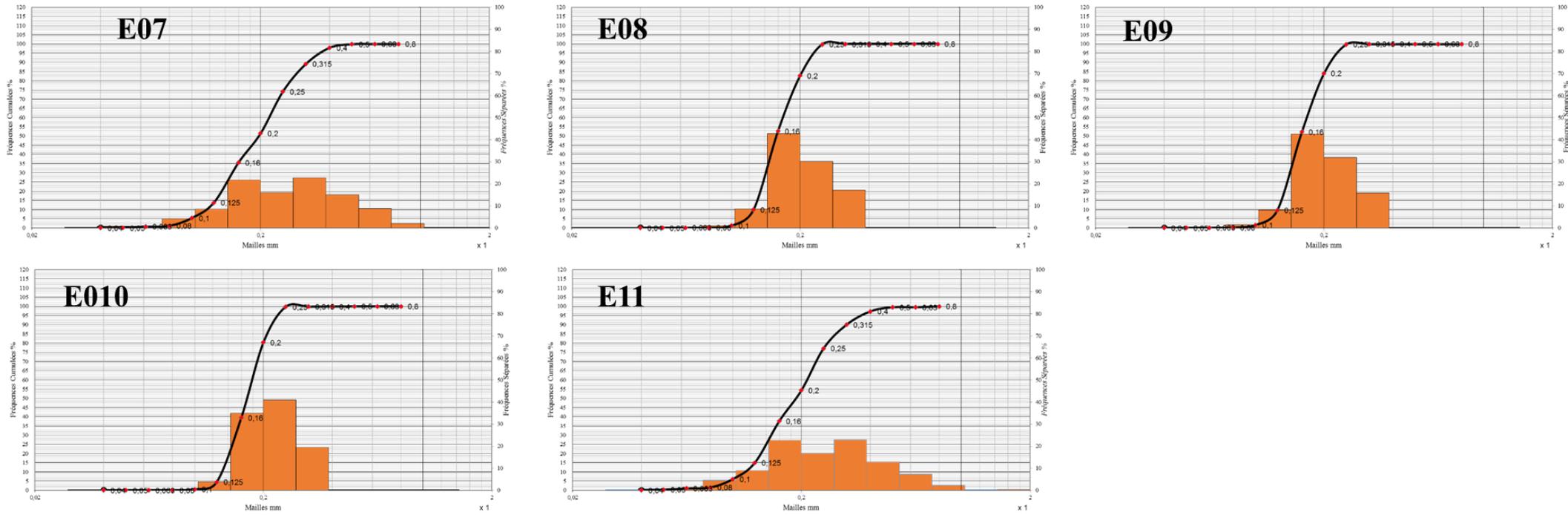


Figure N° A06 : Courbe de Fréquences Cumulées et histogramme de Fréquences Séparées en mm de E06-E07



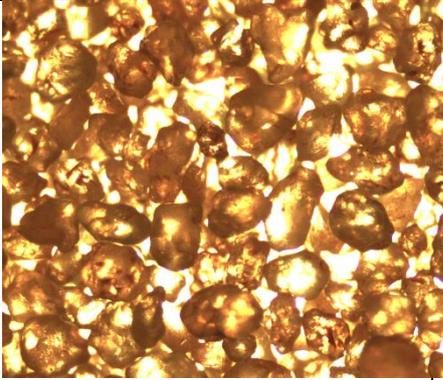
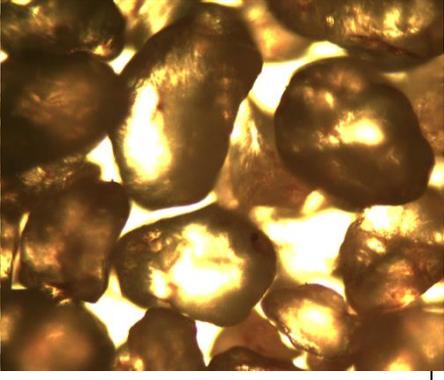
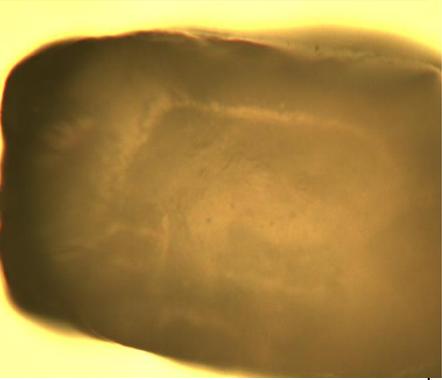
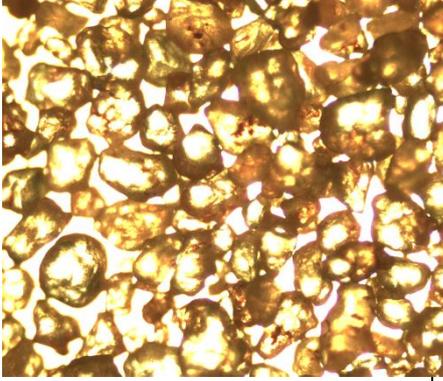
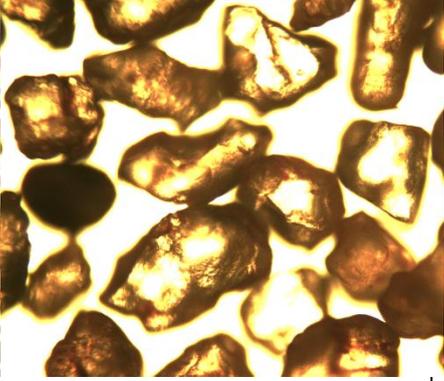
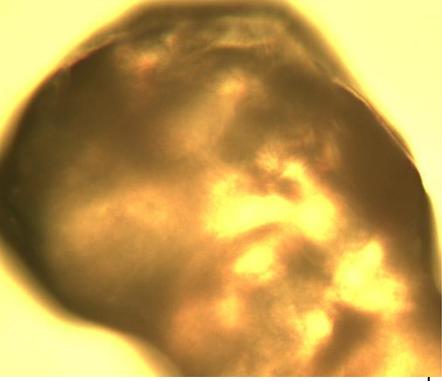
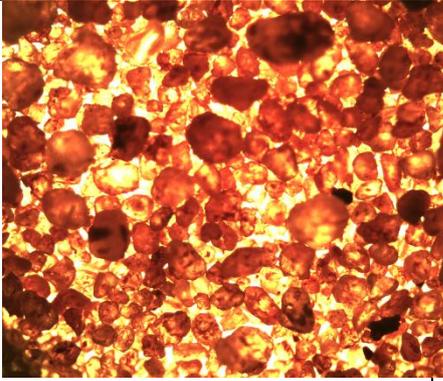
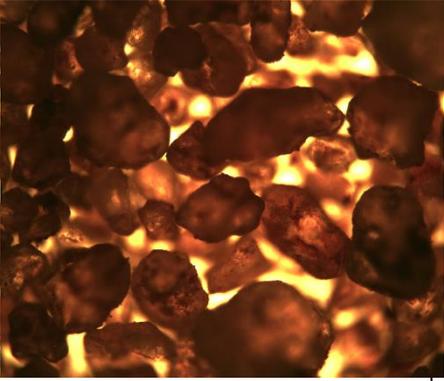
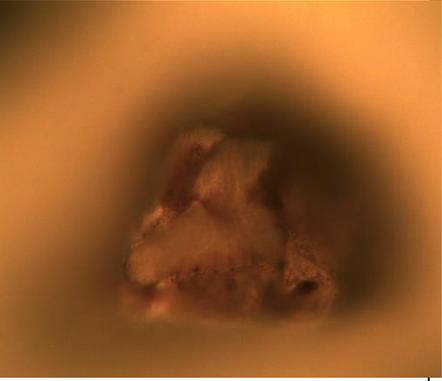
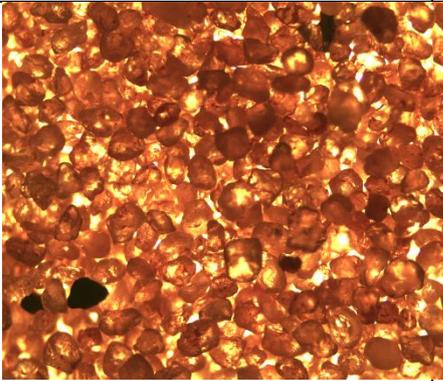
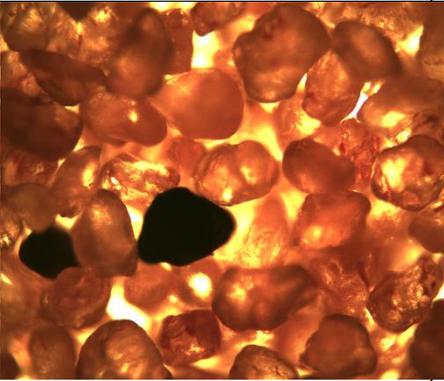
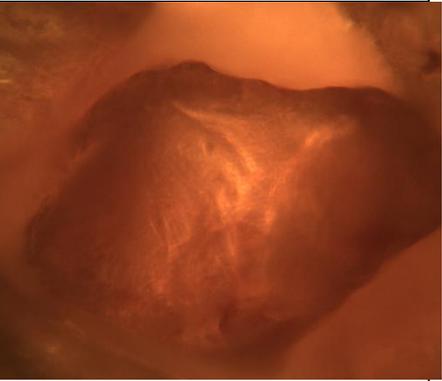
Photos : Différents types d'analyses de laboratoire à l'Institut des zones arides de Tunisie

Annexes

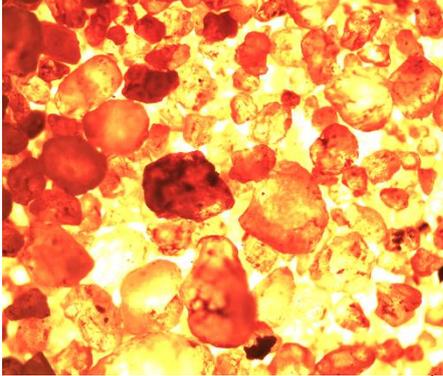
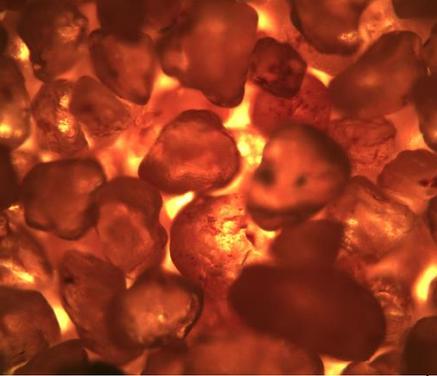
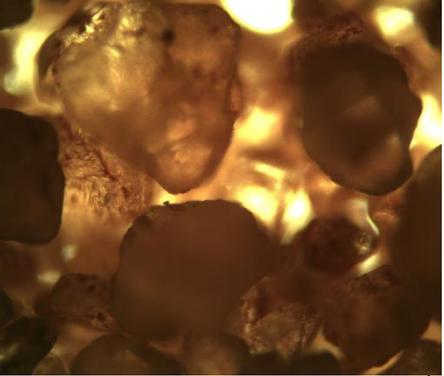
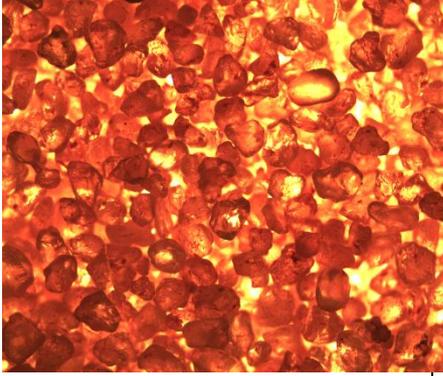
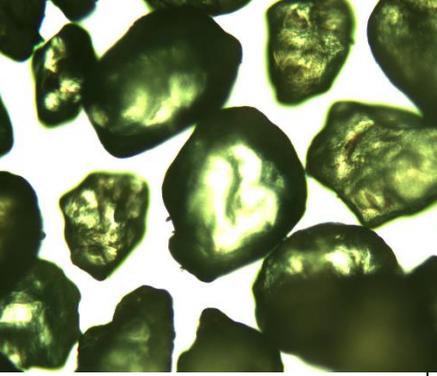
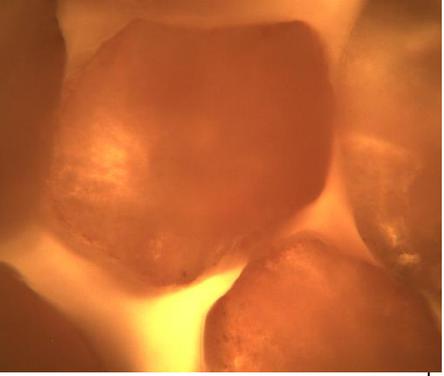
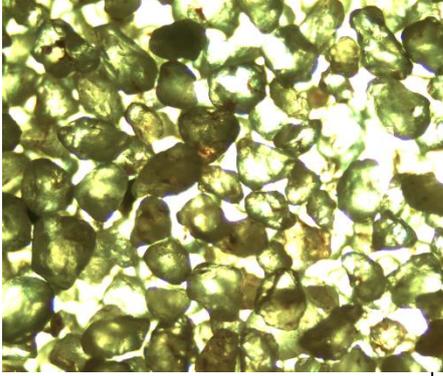
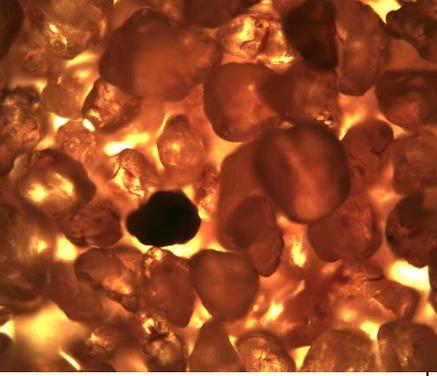
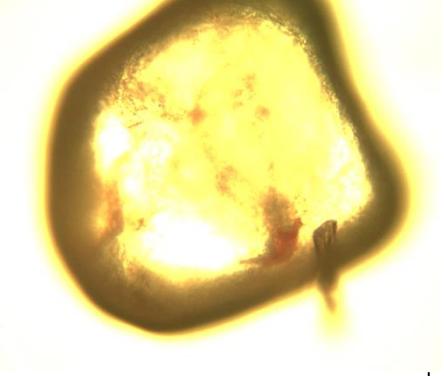
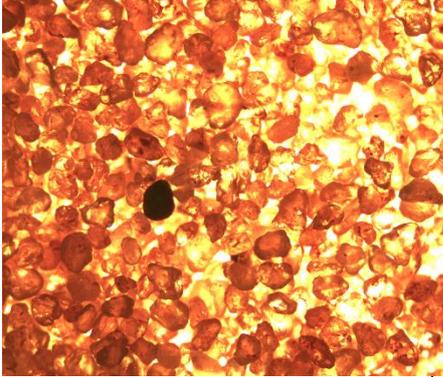
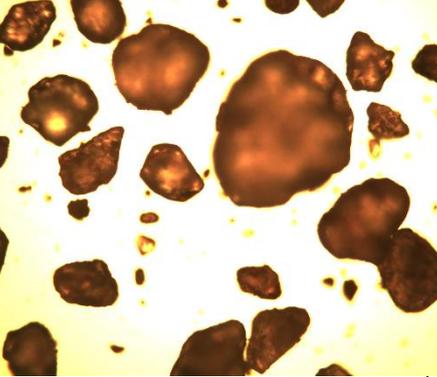


Photos : Différents types d'analyses de laboratoire à l'Institut des zones arides de Tunisie

Annexes

Echantillon	X4	X10	X40
E 01 RM			
E02 EL			
E03 RM			
E04 RM			

Annexes

E05 RM			
E06 RM			
E07 RM			
E08 NU			

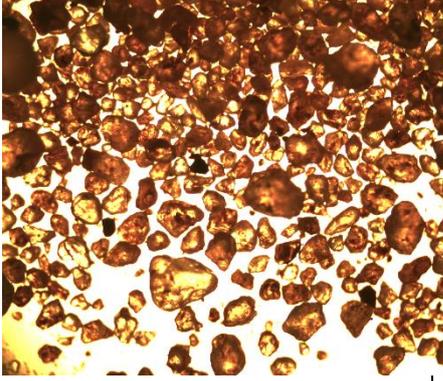
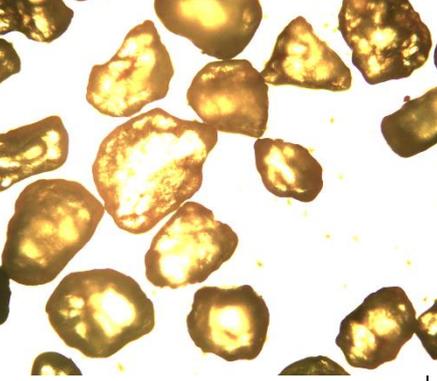
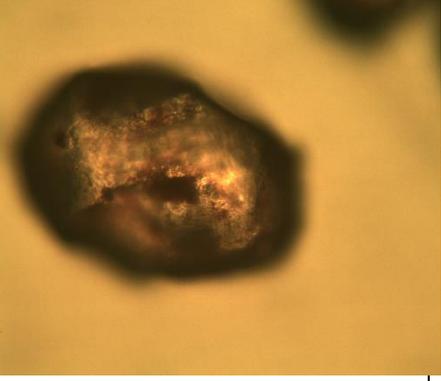
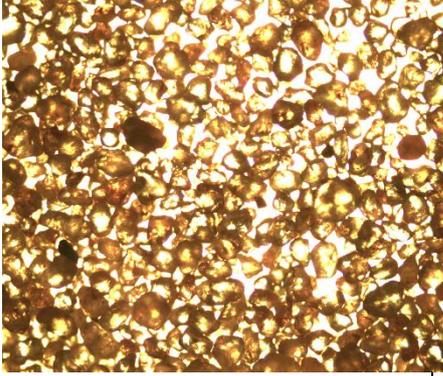
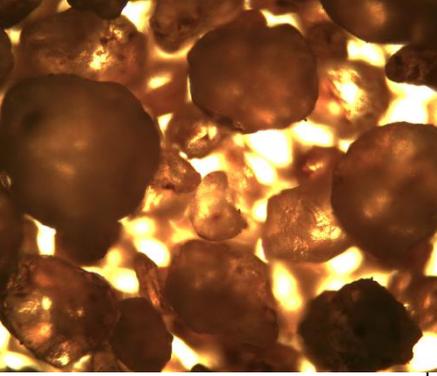
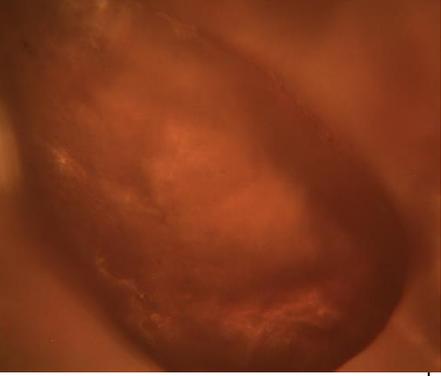
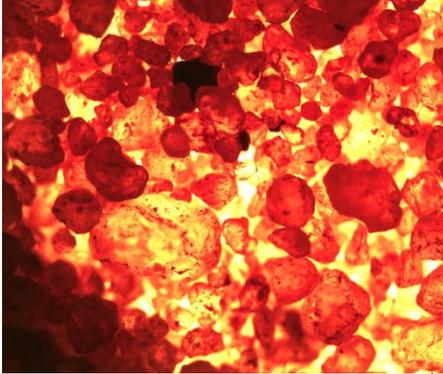
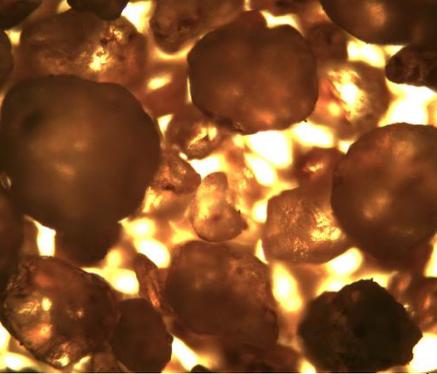
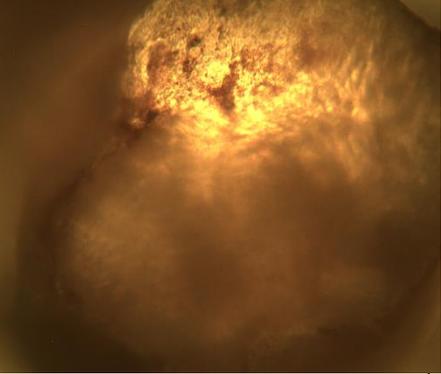
<p>E09 EL</p>			
<p>E10 RM</p>			
<p>E11 RM</p>			

Tableau N° A06 : L'analyse morphoscopiques des échantillons

O.N.M.

STATION : AÏN-SEFRA MOIS : Janvier 2007

FREQUENCES MENSUELLES DE VENT

Nombre d'observations : 248 Nombre de "vents calmes" : 153

dd	36	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	N _i	N _i xV _i
21																				
20																				
19																				
18																				
17																				
16																				
15																				
14																				
13																				
12																				
11																				
10																				
09																				
08																				
07																			6	42
06																			4	24
05																			7	35
04																			14	56
03																			23	69
02																			30	60
01																			11	11
N _j	2	15	21	7	1	0	0	1	3	6	9	9	4	3	0	3	2	9	95	
e _j	4	58	74	16	2	0	0	5	10	15	21	23	8	8	0	9	5	39		297
	36	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34		

imp. O.N.M.

Fig A07 : relevé du vent mensuel Brut stations météorologique Ain Sefra 2007.

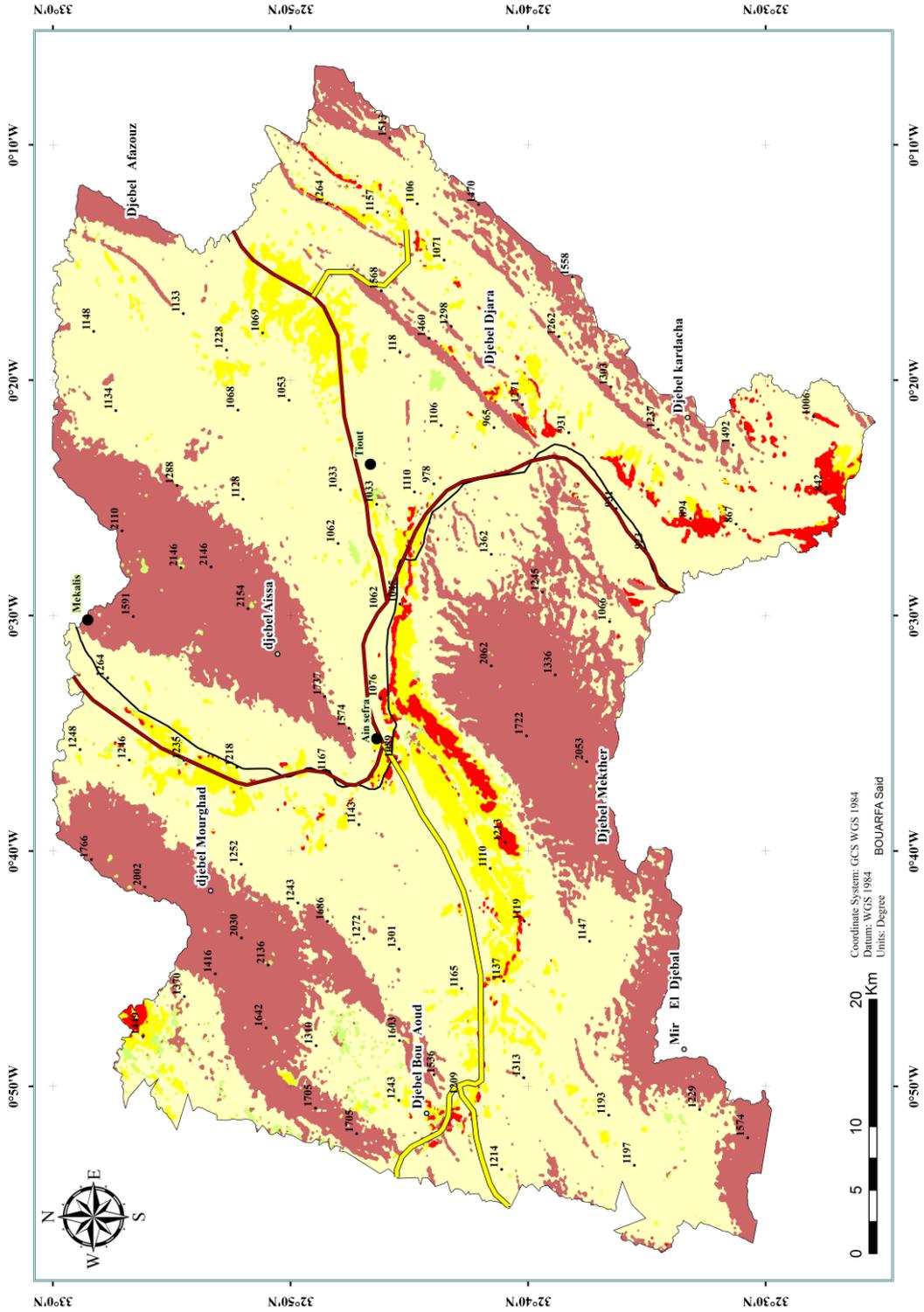


Fig A08-1 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra de : 1975

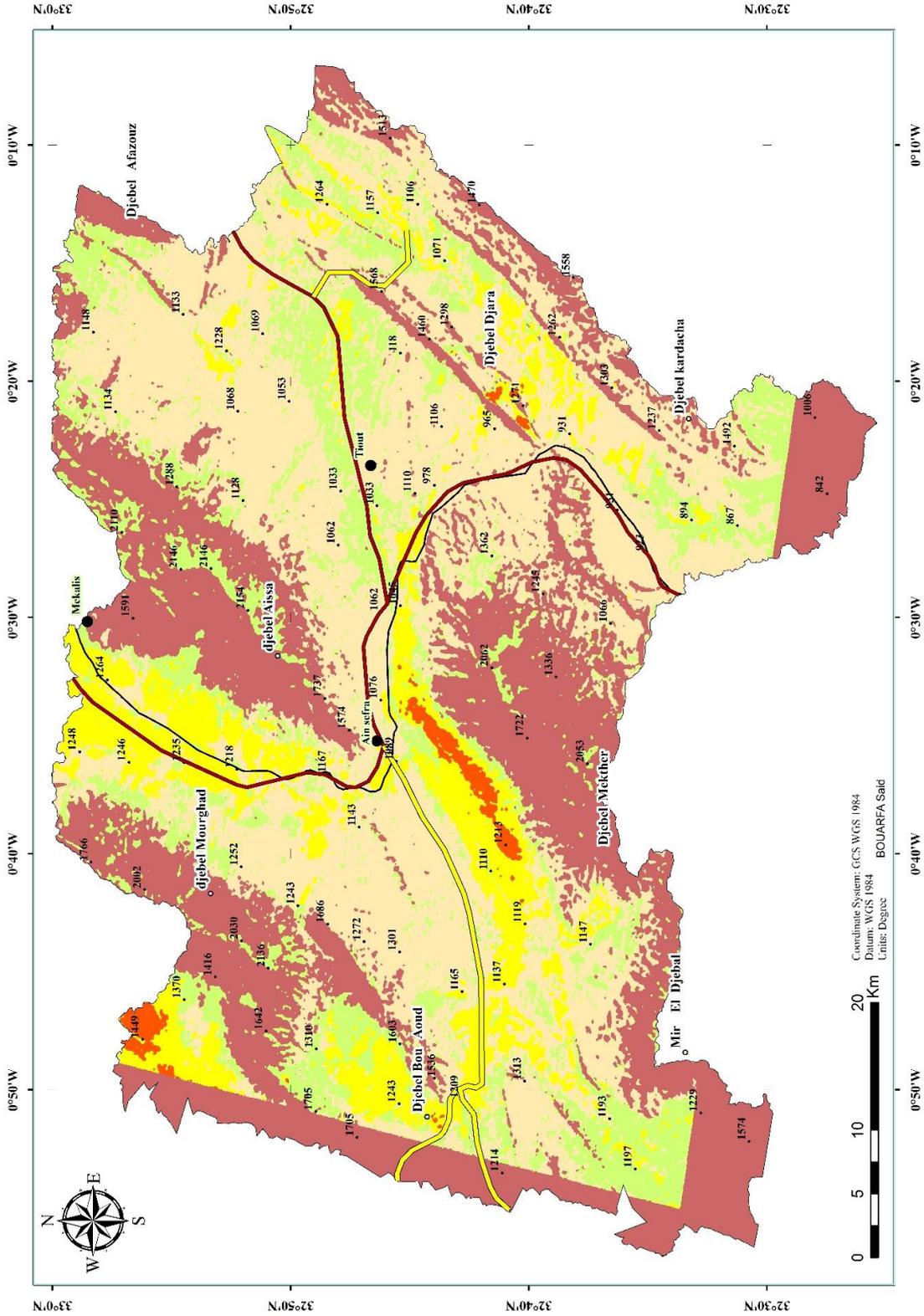


Fig A08-2 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra de : 1985

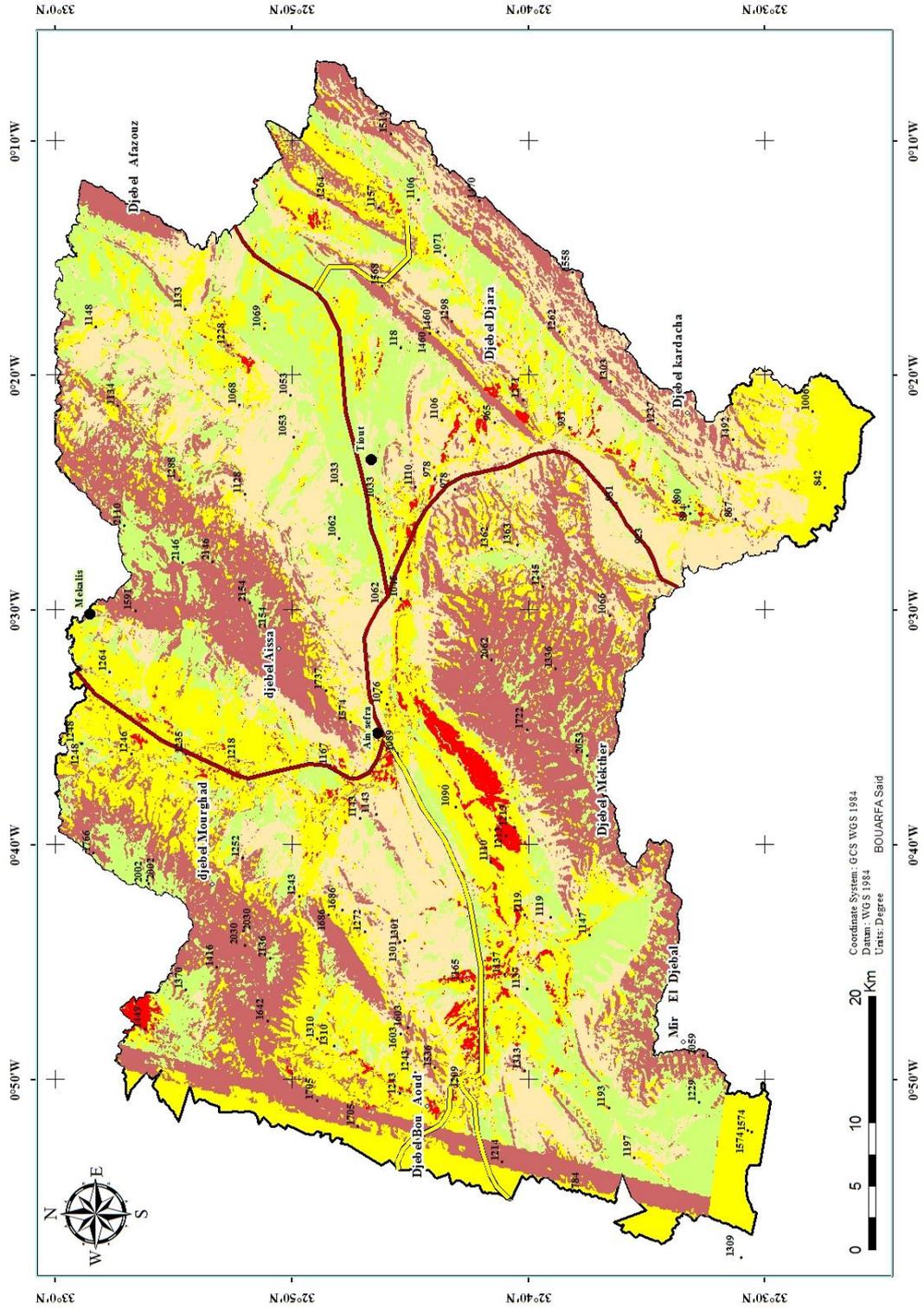


Fig A08-3 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Aïn Sefra de : 1998

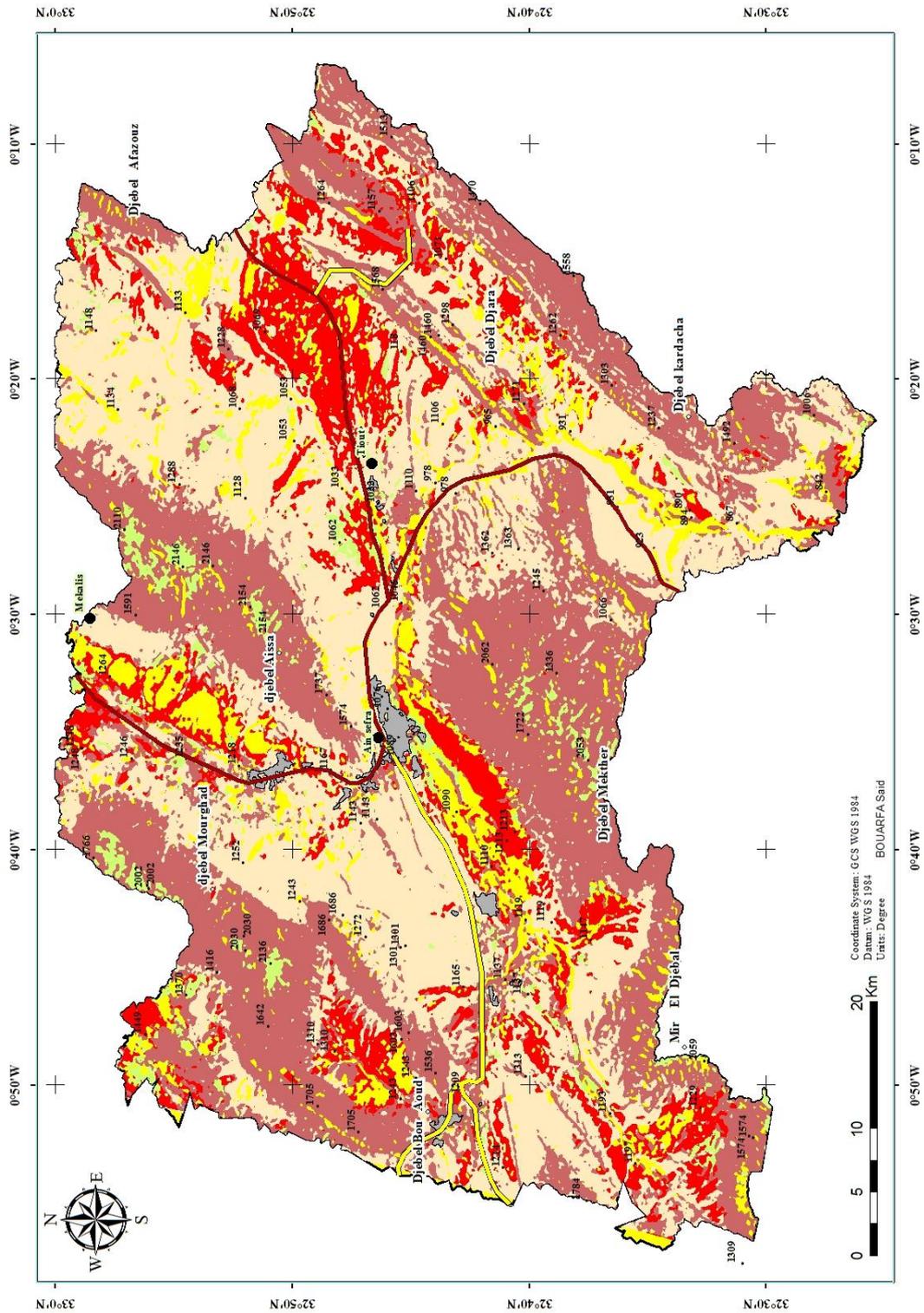


Fig A08-5 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra de : 2015

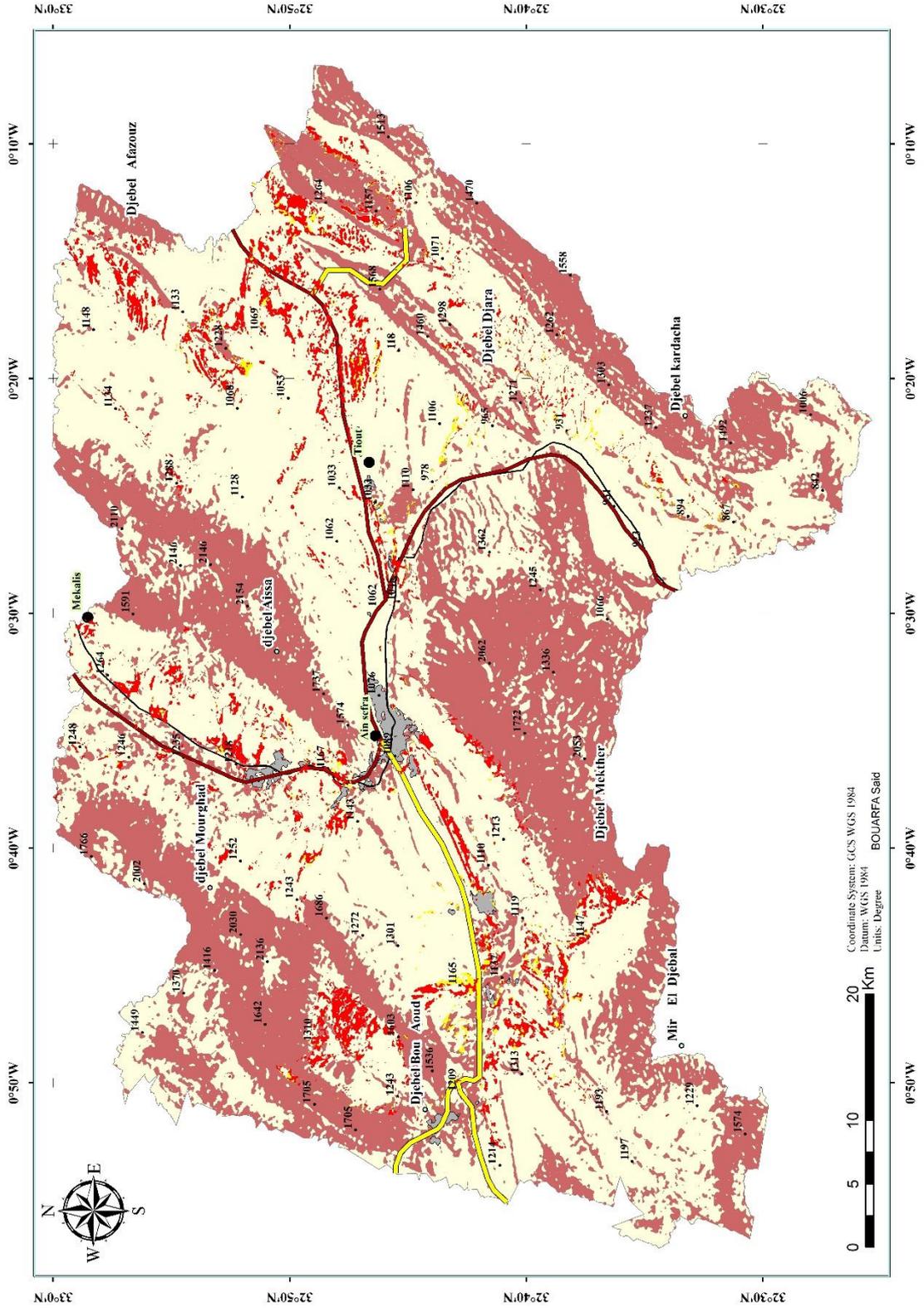


Fig A09-1 : Carte de différence de surface de sable de 1985 à 1998

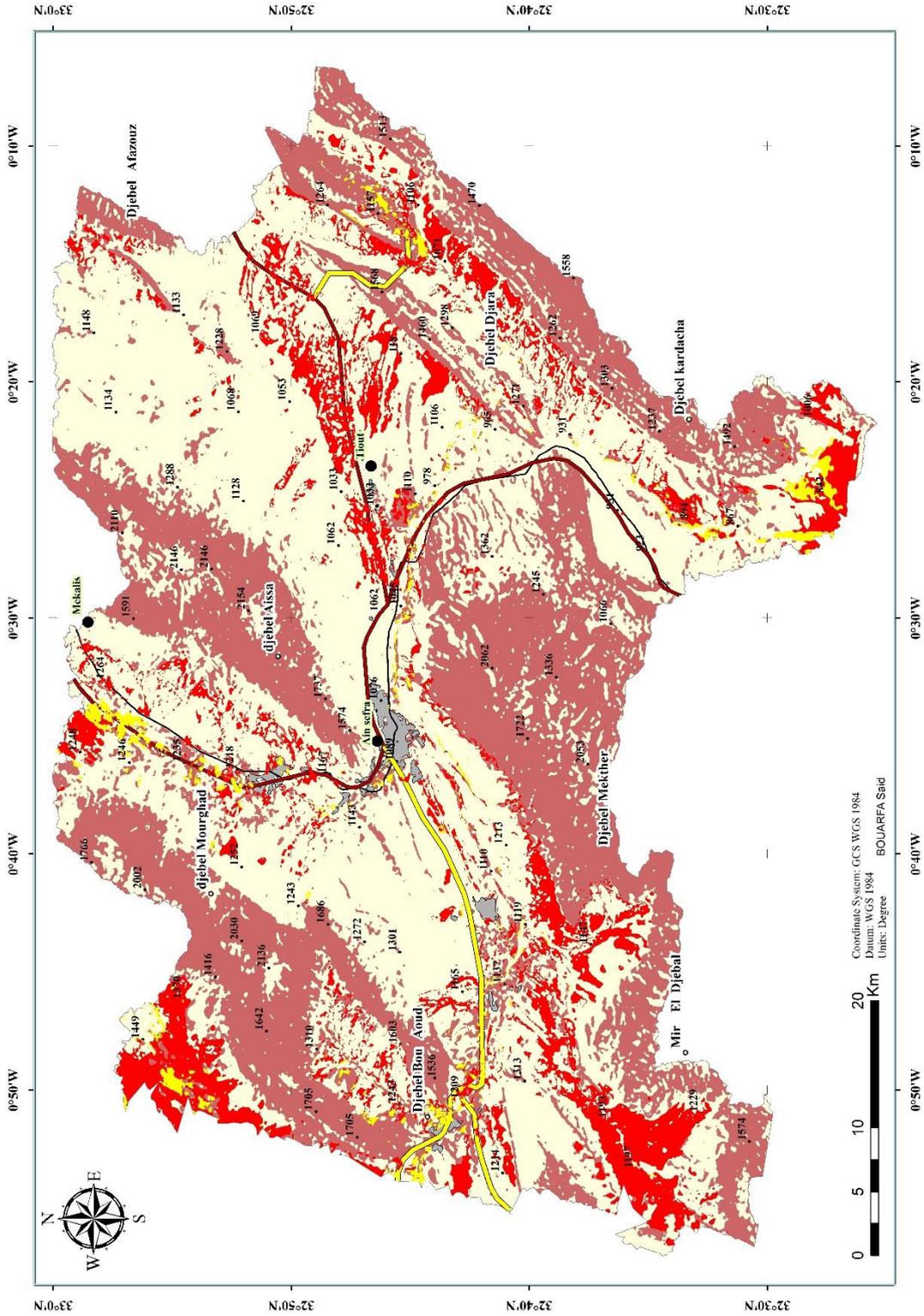


Fig A09-1 : Carte de différence de surface de sable de 1998 à 2005

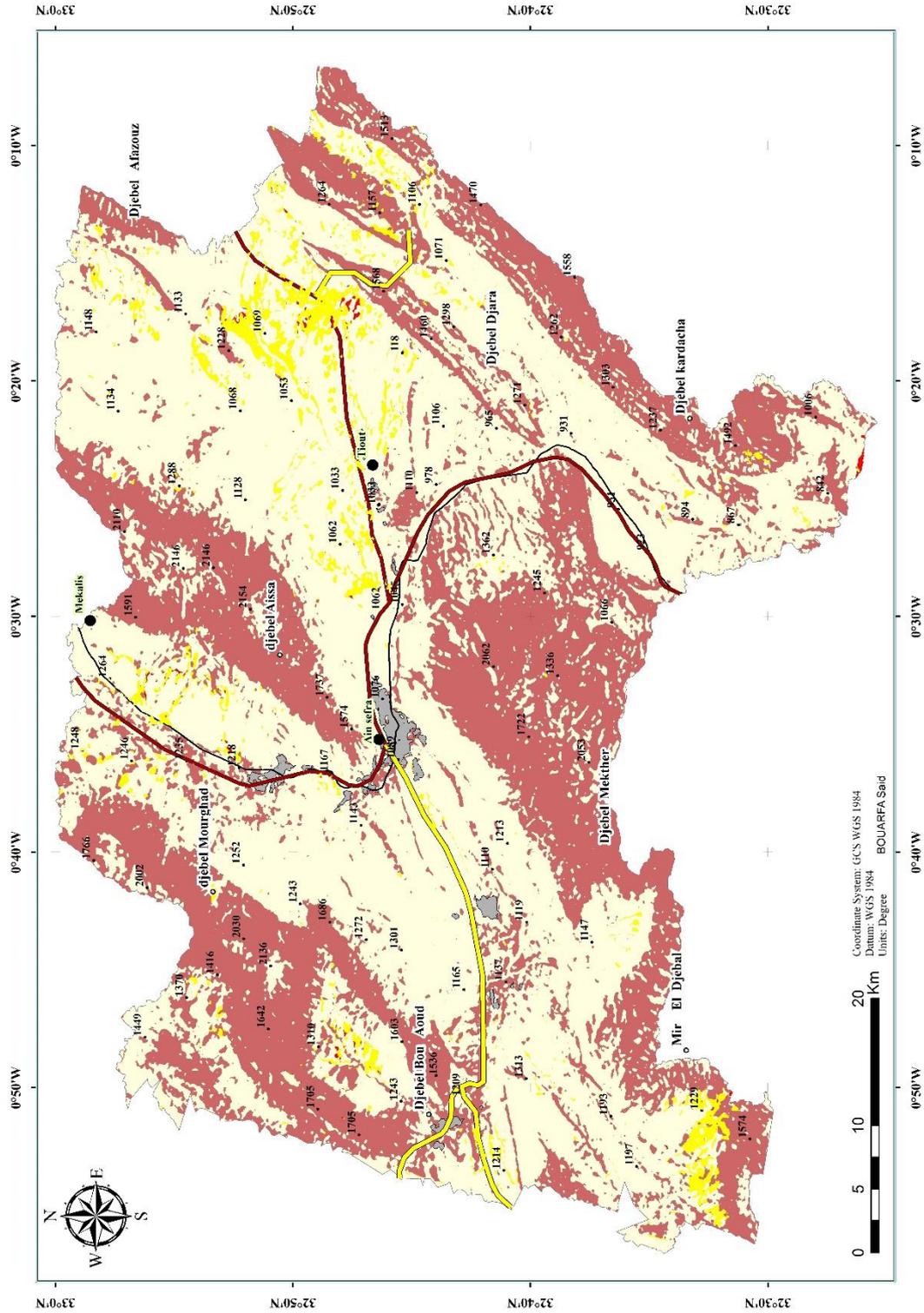


Fig A09-3: Carte de différence de surface de sable de 2005 à 2015

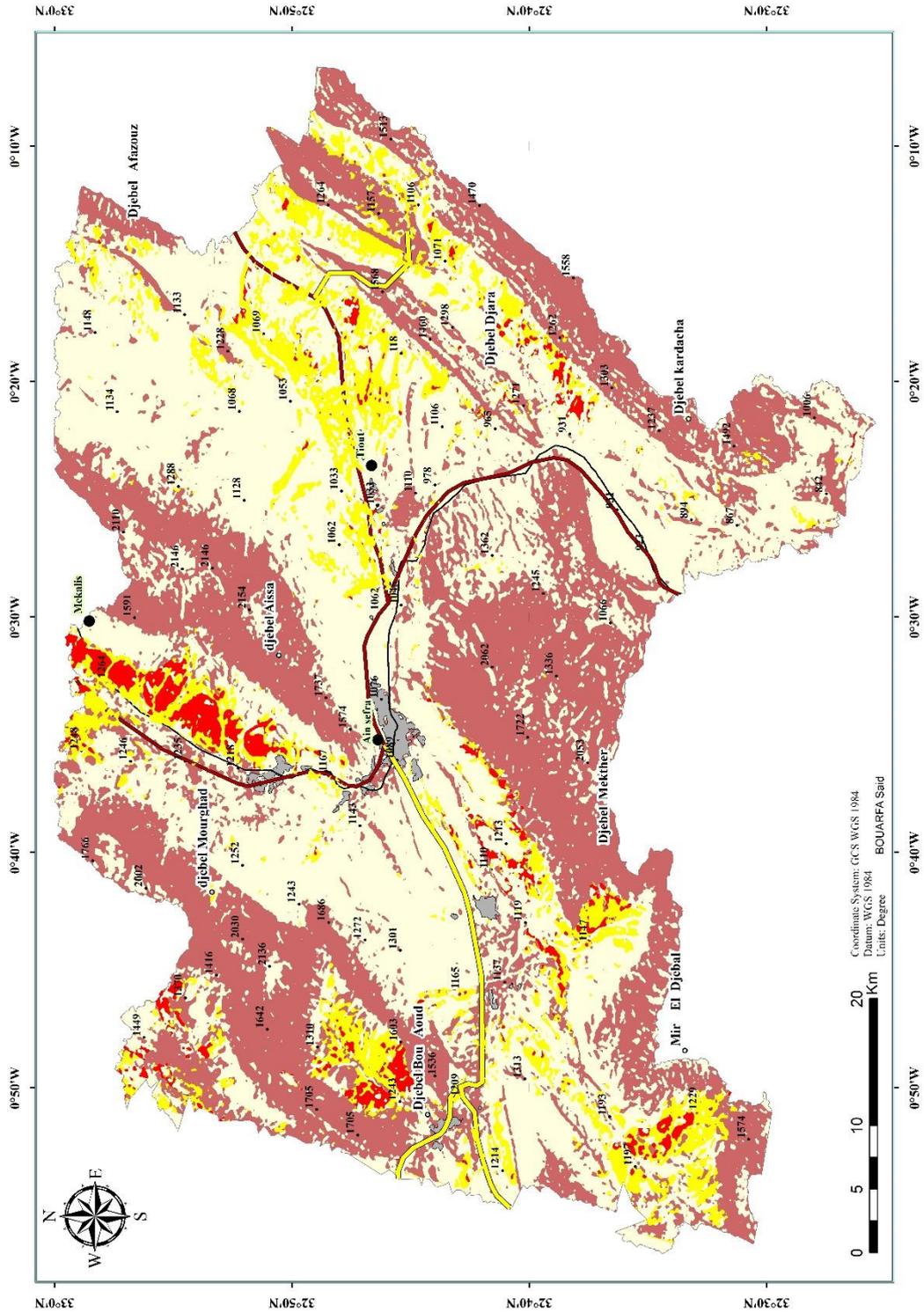


Fig A09-4 : Carte de différence de surface de sable de 1975 à 2015

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	I
Resumé	II
Introduction générale :	1
PARTIE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA ET LE CADRE D'ETUDE	
Introduction :	13
I. Situation et présentation du bassin versant de l'oued ain Sefra :	18
1. Le caractère topographique perceptible :	22
1.1 Les chainons montagneux :	22
1.2 Les dépressions à fond plat de l'ordre métrique à kilométrique :	23
2. Les altitudes relativement élevées :	24
3. L'apport des sédiments causé par les pentes et les piégeages de sédiments détachés :	27
4. Dessèchement différencié des sols causé par l'exposition du versant en période de sécheresse : ..	30
5. Un réseau hydrographique endoréique développé par la nature topographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :	33
5.1 Caractéristiques de forme du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :	34
5.1.1 Caractéristiques morphométriques :	34
5.1.2 Le réseau hydrographique :	36
5.2 Interprétation et discussion des résultats :	37
5.3 Méthode de la réalisation de la carte de réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :	44
6. La géologie et lithologie - les sources potentielles du stock sableux :	46
7. La pauvreté et la fragilité des sols :	50
8. La végétation naturelle de type steppique du domaine pastoral :	51
9. Aridité climatique et sécheresse récurrente durant ces dernières décennies :	56
9.1 L'irrégularité des précipitations et l'accentuation d'un déficit pluviométrique causé par la sécheresse :	59
9.2 L'oscillation des températures accompagnées d'un grand écart thermique :	61
9.3 La fréquence et la puissance des vents efficaces :	64
10. Hydrogéologie et le transfert des eaux des grès et des systèmes dunaires :	65
II. L'augmentation de la population pastorale et celle des troupeaux – causes de la dégradation naturelle de la steppe dans le bassin versant :	67
1. Évolution de la population :	67
2. Répartition spatiale de la population et densité :	71
3. Sédentarisation et regroupement de la population :	76
3.1 L'agropastoralisme et utilisation de l'espace :	78

Conclusion de la première partie :	82
PARTIE II : ETUDE DIACHRONIQUE ET DETECTION DU CHANGEMENT DE L'ENSABLEMENT DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA(LES MONTS DES KSOUR)	
Introduction deuxième partie :	84
I. Methodes et matériels :	86
1. Présentation générale des satellites Landsat et ses caractéristiques :	86
2. Logiciels et outils utilisés :	89
3. Les différentes phases d'analyse d'image satellite–Landsat :	89
3.1 La composition colorée :	90
4. Prétraitement :	91
4.1 Correction géométrique :	91
4.2 Calibrage radiométrique :	91
4.3 Corrections atmosphériques (Réflectance atmosphérique) :	91
4.4 Analyse des composants principaux PCA :	92
5. L'indice du voile sableux (Abdellaoui 1997) :	92
6. Classification supervisée :	93
6.1 Classes de signature spectrale (ROI) :	94
6.2 Classification maximale de la vraisemblance (Maximum Likelihood MLC) :	95
6.3 Évaluation de la précision de la carte (coefficient KAPPA) :	96
6.4 Traitement de la classification des postes :	99
7. Détection du changement :	100
II. Interpretation et discussion des resultats :	102
1. Classification maximale de la vraisemblance (Maximum Likelihood) et Post-classification :	102
2. La détection du changement	115
Conclusion de la deuxième partie :	119

PARTIE III : DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE ET QUANTIFICATION DE L'ÉROSION EOLIENNE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA.

Introduction de la troisième partie :	121
I. Morphogenèse éolienne et causes :	122
1. Les exigences climatiques :	122
1.1 Caractérisations de l'aridité :	125
1.1.1 Indice d'aridité annuelle et mensuelle d'Emmanuel de Martonne :	125
1.1.1.1 Indice d'aridité annuelle et mensuelle d'Emmanuel de Martonne à Ain Sefra de 1985 à 2015 :	126
1.1.2 Le quotient pluviométrique d'Emberger :	128
1.1.2.1 Le quotient pluviométrique d'Emberger à Ain Sefra de 1985 à 2015 :	129
1.1.3 Indice xérothermique de Gaussen :	130
1.1.3.1 Indice xérothermique de Gaussen à Ain Sefra de 1985 à 2015 :	130
1.2 Caractérisations de la sécheresse et les indices de météorologiques utilisées :	132
1.2.1 Indice de l'écart à la moyenne (Em) :	132
1.2.1.1 Indice de l'écart à la moyenne à Ain Sefra de 1985 à 2015 :	133
1.2.2 L'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) (Standardized Precipitation Index) :	134
1.2.2.1 Méthode de calcul SPI :	136
1.2.2.2 L'indice standardisé de précipitation (SPI) à Ain Sefra de 1985 à 2015 :	137
1.2.2.3 Comparaison entre EM et SPI à Ain Sefra de 1985 à 2015 :	139
1.2.3 Indice de pluviosité (Ip) :	140
1.2.3.1 Indice de pluviosité (Ipm) à Ain Sefra de 1985 à 2015 :	140
1.2.4 Analyse fréquentielle :	141
1.2.4.1 Interprétation des résultats d'Analyse fréquentielle à Ain Sefra de 1985 à 2015 :	142
1.2.5 Indice du nombre d'écarts type :	145
1.2.5.1 Indice du nombre d'écarts type à Ain Sefra de 1985 à 2015 :	145
1.2.6 Persistance de la sécheresse à Ain Sefra de 1985 à 2015 :	146
1.3 L'évapotranspiration potentielle (ETP) à Ain Sefra :	147
1.4 Le vent :	149
2. Les affleurements et lithologie géologiques :	151
2.1 Sources mères de sable - lithologie et structure :	152
2.1.1 Sources pourvoyeuses de sable :	158
3. Le facteur morphologique :	159
4. La formation végétale :	160
5. Le réseau hydrographie endoréique :	160
6. Le comportement de l'homme :	160
II. Étude de sédimentologie :	163

1.	Matériels et méthodes :	163
1.1	Échantillonnage et méthodes d'analyse :	164
1.2	Granulométrie :	165
1.2.1	Courbes granulométriques :	166
1.2.2	Paramètres statistiques :	166
1.2.3	Paramètres de position :	166
1.2.4	Paramètres de forme :	168
1.3	Calcimétrie :	170
1.3.1	Méthodologie :	171
1.4	Teneur en matière organique :	171
1.4.1	Méthodologie :	171
1.5	Morphoscopie :	172
2.	Interprétation des résultats et discussions :	173
2.1	La granulométrie des échantillons des grains de sable du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :	173
2.1.1	Courbes ou histogrammes de fréquence :	173
2.1.2	Courbes cumulatives :	174
2.1.3	Courbes de fréquence séparée :	176
2.1.4	Courbes de fréquences cumulatives :	176
2.1.5	Indices numériques :	176
2.1.6	Processus de Transport :	181
2.1.7	Caractéristiques granulométriques des sables :	182
2.2	La Calcimétrie des échantillons des grains de sables du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :	186
2.2.1	Calcul des résultats :	186
2.2.2	Discussion :	187
2.3	Teneur en matière organique des échantillons des grains de sables du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :	187
2.3.1	Calcul des résultats :	188
2.4	La morphoscopie des échantillons des grains de sables du bassin versant de l'Oued Ain Sefra :	190
2.4.1	Types de grains et variations morphoscopiques :	190
III.	Le déplacement potentiel des sables et quantification dans le bassin versant de l'oued ain Sefra de 1985 à 2015 :	193
1.	Matériels et méthodes :	194
1.1	Régime des vents :	194
1.1.1	Régime des vents efficaces (AIN SEFRA 1985-2015) :	195

1.2	Les déplacements potentiels de sable :	195
1.2.1	Calcul théorique de cette vitesse :.....	196
1.2.2	Présentation du logiciel :	197
2.	Interprétation des résultats et discussion (station métrologique Ain Sefra) :	201
2.1	Traitement du régime des calmes au bassin versant de l'Oued Ain Sefra:.....	201
2.2	Le régime des vents efficaces de 1985 à 2015 :.....	201
2.2.1	Le régime saisonnier des vents efficaces entre 1985 et 2015 :.....	206
2.3	Les déplacements potentiels de sable au bassin versant de l'Oued Ain Sefra (station métrologique Ain Sefra) :.....	208
2.3.1	Les résultats obtenus :.....	208
2.3.1.1	La capacité de transport (DP) :	209
2.3.1.2	Le module de la résultante (RDP) :.....	209
2.3.1.3	Le coefficient de migration (RDP/DP) :	209
2.3.1.4	La direction de la résultante (RDD) :	209
2.3.1.5	La rose de migration de sable :	209
3.	La sensibilité du bassin versant de l'Oued Ain Sefra au risque d'ensablement :	216
Conclusion de la troisième partie :		224

**PARTIE V : LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DU BASSIN
VERSANT DE L'OUED AIN SEFRA DES MONTS DES KSOUR**

Introduction de quatrième partie :		226
I.	Lutte contre l'ensablement et aménagement :	228
1.	L'impact et les conséquences de l'ensablement :	228
1.1	L'ensablement des parcours steppiques dégradés :.....	229
1.2	Les accumulations dunaires sur les berges des Oueds :.....	231
1.3	Les conséquences socio-économiques :.....	234
1.4	Les impacts sur les voies de communication et les infrastructures :	238
2.	Les différents programmes d'aménagement de lutte contre l'ensablement approuvés par l'État	240
2.1	Aménagement à travers le Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT) : ...	240
2.2	Le Schéma d'Aménagement de l'Espace de Programmation Territoriale de Hauts Plateaux Ouest à l'horizon du 2030 :	242
2.3	Le Plan d'Aménagement de Wilaya de Naâma (PAW) :.....	243
2.4	Les Aménagements des Programmes HCDS de la wilaya de Naâma :	244
2.5	Aménagement des exploitations agricoles par le biais du fonds national de régulation de développement agricole (FNRDA) :.....	245
2.6	Les programmes mise en valeur par la Générale des Concessions (GCA) :.....	247
2.7	Les interventions de Conservation des forêts :	248

II. Les différentes méthodes de lutte contre l'ensablement adapté au bassin versant de l'Oued Ain Sefra :.....	251
1. Les moyens de lutte mécaniques :	251
1.1 Les palissades ou les « Afrags » :	251
1.2 La méthode de clayonnage :	253
1.3 La technique de quadrillage :.....	254
1.4 La technique de trou de transport et d'hydrodynamique :.....	254
1.5 La technique des Drâas :.....	255
1.6 La technique du reprofilage :.....	257
1.7 La fixation par technique de « mulching » :	257
2. Lutte avec des moyens biologiques :	258
3. Les moyens de lutte contre de l'ensablement proposés dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra :.....	259
3.1 Les moyens de lutte curative :	261
3.1.1 Les interventions pour la protection des routes et des agglomérations contre l'ensablement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra :.....	261
3.2 L'aménagement les berges des oueds contre l'ensablement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra :	265
3.3 Aménagement des parcours ensablés et très dégradés dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra : 270	
Conclusion :	272
Conclusion générale :	273
Bibliographie.....	280
Annexe.....	III
Table des matières.....	XX
Liste des figures.....	XXVII
Liste des tableaux.....	XXX
Liste des photos.....	XXXIII

Liste des Figures

Figure N°01 : Visualisation d'une surface raster MNT du bassin versant de l'Oued Ain Sefra (Bouarfa, 2017).....	15
Figure N°02 : démarche méthodologique générale de travail.....	16
Figure N°03 : localisation du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	19
Figure N°04 : localisation du bassin versant de l'Oued Ain Sefra dans la Wilaya de Naâma.....	20
L'extraction de la carte d'altitude (Hypsométrie) est faite à partir du modèle MNT de la zone d'étude sous l'option d'ArcGIS.	26
Figure N°05 : Les altitudes (hypsométriques) du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.	26
Figure N°06 : Les pentes du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.	29
Figure N°07 : Les expositions dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.	32
Figure N°08 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	40
Figure N°09 :	43
Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.	43
Figure N°10 : Diagramme de modélisation des informations hydrologiques	45
Figure N°11 : Lithologie du bassin versant d'Oued Ain Sefra. D'après la carte géologique d'Ain Sefra 1/100000.	49
Figure N°12 : type des sols du bassin versant d'Oued Ain Sefra.....	51
Figure N°13 : L'occupation du sol du bassin versant d'Oued Ain Sefra en Mars 2018.....	53
Figure N°14 : représentative des étages bioclimatiques dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Les étages et sous étages bioclimatiques rattachés aux variantes thermiques en hiver.....	58
Figure N°15: Hydrogéologique d'Ain Sefra (Mansour H, 2007).	66
Figure N°16 : Evolution de la population aux différents recensements dans la période 1966-2016.....	68
Figure N°17 : Répartition spatiale de la population de la Naâma par apport au bassin versant en 2016....	73
Figure N°18 : Répartition spatiale de la densité de population de la wilaya de Naâma par apport au bassin versant en 2016.	75
Figure N°19 : Répartition des cheptels dans la wilaya de Naâma par communes en 2016.	80
Figure N°20 : Chronologie des satellites Landsat de 1970 à 2015.	88
Figure N°21 : Combinaisons de bande commune Landsat.	90
Figure N°22 : Indice du sableux (IVS) sur image Landsat ETM+ du 2005 (le rouge est le sable).	93
Figure N°23 : L'indice de Kappa et Matrix de confusions de la classification de 2015.	97
Figure N°24: Système de détection de changement et poste -classification.	99
Figure N°25 : Les différentes phases d'analyse d'une image –Landsat.....	101
Figure N°26 : Répartition de l'occupation du sol de la Zone obtenue par la classification en pourcentage dans la période 1975-2015.	103
Figure N°27 : Cartes d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra de : 1975- 1985-1998- 2005-2015.	105
Figure N°28 : La différence entre les classes en pourcentage.....	107
dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra de la période 1975-2015	107

Figure N°29 : Le pourcentage de surface du sable (sable+ dune \geq 2 m) dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra de la période 1985-2015.....	110
Figure N° 30 : la différence des surfaces sableuses dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra (augmentation et diminution) dans la période 1975-2015.	111
Figure N°31 : La différence entre les classes du sable en pourcentage dans la période 1985-2015.....	112
Figure N°32 : Cartes de différences de surface de sable de 1975 à 2015.....	113
Figure N°33 : la détection du changement des classes de l'occupation du sol de 1975 à 2015 du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.	116
Figure N°34 : Le quotient pluviométrique d'Emberger indiqué à la station d'Ain Sefra et les années étudiées	129
Figure N° 35 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson	132
Station d'Ain Sefra (1985-2015).....	132
Figure N°36: Ecart par rapport à la moyenne de la station d'Ain Sefra.....	133
dans la période 1985-2015.	133
Figure N°37: Délimitation des phases sèches et phases humides (Triki, 2009).....	134
Figure N°38 : Valeurs annuelles moyennes de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI)	137
de la période 1985-2015 à Ain Sefra.	137
FigureN°39 : Valeurs annuelles moyennes de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) de station d'Ain Sefra de 1985 à 2015.....	139
Figure N°40 : Une proportionnalité entre IM et SPI de station d'Ain Sefra de 1985 à 2015	140
Figure N°41 : L'indice de pluviosité de 1985 à 2015 à Ain Sefra.	141
Figure N°42 : Histogramme l'analyse fréquentielle à la série pluviométrique	142
de la station d'Ain Sefra de 1985 à 2015.....	142
Figure N°43 : Courbe de l'analyse fréquentielle à la série pluviométrique	143
de la station d'Ain Sefra de 1985 à 2015.....	143
Figure N°44 : Variation des pluies annuelles par comparaison à la moyenne et à la moyenne moins un ou deux écarts-types de la station d'Ain Sefra entre 1985 et 2015.	146
Figure N°45 : Pluviométrie moyenne annuelle dans la haute plaine du Sud Oranais	148
Figure N°46 : les affleurements et des aires sources pourvoyeuses de sable allochtone et le type des sols selon la classification mondiale de FAO, 1964.	154
Figure N°47 : La morphologie du bassin versant de l'Oued Ain Sefra 1/100000.....	159
Figure N°48 : Carte des positions relatives des échantillons prélevés dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra 2015.....	165
Figure N°49 : Courbe de Fréquences Cumulées et histogramme de Fréquences Séparées en mm pour l'échantillon 01 (E01 : bas de la dune – le dos droite).....	174
Figure N°50 : Courbe de fréquences cumulées en phi (ϕ)	175
pour l'échantillon 01 (E01 : bas de la dune – le dos droite).	175
Figure N°51 : Courbe de fréquences séparées en phi (ϕ)	175
pour l'échantillon 01 (E01 : bas de la dune – le dos droite).	175
Figure N°52 : Classes de sable des échantillons du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.	178

Figure N°53 : Diagramme de Hjulstrom. Relation entre la taille du grain, la vitesse de flux et le type de mouvement sédimentaire (densité du sédiment : 2.65 g/cm ⁻⁵).....	182
Figure N°54 : Diamètres moyens en μm et médiane des sables prélevés.	183
Figure N°55 : Les principales processus de la dynamique éolienne (source : Ghannouchi 1996).	185
Figure N°56 : Pourcentage de carbonates CaCO ₃ dans les échantillons.	187
Figure N°57 : La composition du matériel sableux des échantillons.	189
Figure N°58 : Rose du régime annuel des vents dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra – station météorologique Ain Sefra (1985 – 2015).....	202
Figure N° 59 : Rose du régime des vents mensuelle à Ain Sefra de 1985 à 2015 pour chaque 12 mois..	205
Figure N°60: Rose du régime des vents saisonnière à Ain Sefra de 1985 à 2015 pendant les saisons.....	207
Figure N°61 : Roses de sable saisonnières et annuelles de D.P.S pour les deux vitesses d'arrachement 5m/s en vert et 6m/s en rouge, dans la région d'Ain Sefra au cours de la période 1985-2015.	211
Figure N° 62 : Rose de sables annuel moyens et le module de la résultante (RDP) de station Ain Sefra pendant la période 1985-2015.	213
Figure N° 63 : Roses de sable mensuelles moyennes et les modules de la résultante (RDP) de station Ain Sefra pendant la période 1985-2015.	214
Figure N° 64 : Roses de sable saisonniers moyennes et les module de la résultante (RDP) de station Ain Sefra pendant la période 1985-2015.	215
Figure N°65 : la sensibilité du bassin versant de l'Oued Ain Sefra au risque d'ensablement.	218
Figure N°66 : La vulnérabilité du sol dans la wilaya de Naama.....	238
Figure N°67 : Les caractéristiques d'une palissade	252
Figure N°6 8: Conception et disposition des Drâas (Sebaa CRSTRA).....	256
Figure N° 69: Carte de sensibilité à l'inondation de la ville d'Ain Sefra.....	266
Figure N°70 : Protection de berges. Protection par l'endiguement et l'enrochement.	269
Figure N°71 : Aménagement de remplacement des parcours ensablés par des constructions à Ain Sefra (2004-2016).....	270

Liste des Tableaux

Tableau N°01 : les classes des pentes (surface et pourcentage) du bassin versant d'Oued Ain Sefra	27
Tableau N°02 : Répartition des expositions en pourcentage et en hectare du bassin versant de L'Oued Ain Sefra.....	31
Tableau N°03 : Valeurs caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Ain Sefra	37
Tableau N°04 : Zones altimétriques, Surface partielle et Dénivellation du bassin versant d'Oued Ain Sefra.....	38
Tableau N°05 : Les caractéristiques des cours d'eau du bassin versant de L'Oued Ain Sefra	41
Tableau N°06 : Les classifications d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra en2018 ...	55
Tableau N°07 : Précipitations moyennes mensuelles à station météorologique d'AIN SEFRA (1985–2016).Source CRSTRA.....	60
Tableau N° 08 : Températures mensuelles moyennes (les maximas et les minimas) de la station météorologique d'Ain Sefra dans la période 1985-2016. (Source : O.N.M).....	62
Tableau N°09 : Températures annuelles moyennes (les maximas et les minimas) météorologique d'Ain Sefra dans la période 1985-2016.....	63
Tableau N°10 : Station d'Ain Sefra, Direction des vents selon leurs fréquences en % dans la période 1985-2015	64
Tableau N°11 : Les recensements de la Population par communes de wilaya de Naama dans la période 1977- 2016.	69
Tableau N°12 : Accroissement annuel moyen de la Population par communes à wilaya de Naama dans la période 1977- 2016.	70
Tableau N°13 : La densité de la population de la wilaya de Naâma par commune, enregistrée en 2016...	72
Tableau N°14 : Taux de migration de population de 1996- 2016.....	74
(Monographie de la wilaya de Naâma actualisée au 31/12/2016).....	74
Tableau N°15 : La répartition de la population de la wilaya de Naâma par commune, enregistrée en 2016.	77
Tableau N°16 : Nombre de têtes des troupeaux dans la wilaya de Naâma par communes en 2016.....	79
Tableau N°17 : Principales caractéristiques des satellites Landsat.....	87
Tableau N°18 : Bandes spectrales des capteurs LANDSAT 5/7 TM / ETM + dans le spectre solaire.	88
Tableau N°19 : Les bandes spectrales de l'instrument OLI.....	89
Tableau N°20 : Matrice de confusion de la classification de l'image LANDSAT (exemple1985).....	98
Tableau N° 21 : La précision et le coefficient Kappa de toutes les classifications (1975-2015).....	98
Tableau N°22 : Répartition de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra obtenue par la classification en hectare et en pourcentage dans la période 1975-2015.....	103
Tableau N°23 : La différence entre les classes - en pourcentage et en hectare.....	107
dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra la période 1975-2015.....	107
Tableau N°24 : Le changement de la surface du sable entre 1975-2015 dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	109
Tableau N°25 : Le pourcentage de la surface du sable (sable+ dune \geq 2 m)	109
dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra la période 1975-2015.....	109

Tableau N°26 : La différence entre les classes du sable en pourcentage 112	112
dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra de la période 1985-2015. 112	112
Tableau N°27 : La détection des changements dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra de 1975 à 2015. Gain et perte de classes de changement « sable et dune » 117	117
Tableau N°28 : La détection du changement des classes de l'occupation du sol de 1975 à 2015 au niveau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra. 118	118
Tableau N°29 : Indice d'aridité annuelle et mensuelle d'Emmanuel de Martonne. 126	126
Tableau N°30 : l'indice d'aridité annuelle d'Emmanuel de Martonne à Ain Sefra dans la période 1985-2015. 127	127
Tableau N° 31 : L'indice d'aridité mensuelle d'Emmanuel de Martonne 127	127
à Ain Sefra dans la période 1985-2015. 127	127
Tableau N°32 : Le seuil de démarcation entre un mois sec et un mois humide à Ain Sefra de 1985-2015 (P=2T). 131	131
Tableau N°33 : Valeurs et significations de l'indice SPI. 136	136
Tableau N°34 : Fréquences (en % de station d'Ain Sefra de 1985 à 2015) des classes de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) dans la période 1985-2015. 138	138
Tableau N°35 : Classes de sécheresse en fonction des fréquences (F) 142	142
(Bergaoui, 2002) 142	142
Tableau N°36 : L'analyse fréquentielle à la série pluviométrique de la station d'Ain Sefra dans la période 1985-2015 et SPI. 144	144
Tableau N°37: Sévérité de la sécheresse (Bergaoui, 2002) 145	145
Tableau N°38 : Variation des pluies annuelles par comparaison à la moyenne et à la moyenne 145	145
Tableau N°39 : Persistance de la sécheresse de la station d'Ain Sefra de 1985 à 2015. 147	147
Tableau N°40 : L'évapotranspiration (ETP) durant 1999 – 2015 à Ain Sefra. 148	148
Tableau N°41 : Répartition des airs source de sables par apport au bassin versant de l'Oued Ain Sefra. 155	155
Tableau N°42 : La répartition des échantillonnages dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra. 164	164
Tableau N°43 : Les valeurs de référence pour Q de la taille moyenne Mc. 167	167
Tableau N°44 : Les valeurs de « EC » et les caractéristiques. 168	168
Tableau N°45 : Le coefficient d'acuité et les caractéristiques. 169	169
Tableau N°46 : Les valeurs de K et leurs significations. 170	170
Tableau N°47 : Les valeurs taux de CaCO3 et qualification du sol. 170	170
Tableau N°48 : Répartition classes de sable en pourcentage. 177	177
Tableau N°49 a : les résultats globaux de la granulométrie des échantillons du bassin versant de l'oued Ain Sefra. 179	179
Tableau N°49b : les résultats globaux de la granulométrie des échantillons du bassin versant de l'oued Ain Sefra. 180	180
Tableau N°50 : Résultats de teneur en calcaire dans les échantillons. 186	186
Tableau N°51 : Teneur en matière organique dans les échantillons du bassin versant. 188	188
Tableau N°52 : Exemple de Fryberger (1979) pour démontrer le calcul des facteurs de pondération. (Al-Awadhi, Al-Helal et Al-Enezi 2005). 199	199

Tableau N°53 : Taux mensuel des vents efficaces dans la période 1985-2015 à Ain Sefra.	202
Tableau N°54 : Taux des vents efficaces de période selon les 16 directions dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra – station météorologique Ain Sefra (1985-2015).	203
Tableau N°55 : Fréquence mensuelle (en pourcentage) des classes de vent et vitesse moyenne mensuelle du vent à la station d'Ain Sefra pour la période 1985-2015.	204
Tableau N°56 : Les résultats obtenus d'après la rémunération par logiciel de B.choppy « sable » des relevés des vents à Ain Sefra, de 1985-2015.	208
Tableau N°57 : Répartition directionnelle du déplacement potentiel saisonnière.	210
Tableau N° 58 : Le déplacement potentiel mensuel, la capacité de transport (DP) résultante, le module de la résultante (RDP), le coefficient de migration (RDP/DP), et la direction de la résultante (RDD) du vent, pour la station d'Ain Sefra (1985 - 2015).	213
Tableau N°59 : la sensibilité du bassin versant de l'Oued Ain Sefra au risque d'ensablement.	222
Tableau N°60 : Pâturages naturels et pâturages actuels entre 1980 et 2008	235
Tableau N°61 : La vulnérabilité du sol dans la wilaya de Naama (DSA, 2012).	238
Tableau N°62 : Répartition de la mise en valeur des terres agricoles dans le cadre de l'accession à la propriété foncière agricole (APFA), par commune au 31/12/2016.	246
Table N°63 : Répartition des terres agricoles (Hectare) par commune- wilaya de Naama. (Monographie, 2016).	247
Table N°64 : Répartition de la superficie forestière et Alfatière (Ha) par commune 2016	250
Tableau N°65 : Répartition de traitement des bassins versants et protection des eaux et des sols (depuis la création de la wilaya) par commune (31/12/2016).	269

Liste des photos

Photo N°01 : Quelques aspects du phénomène d’ensablement. (BOUARFA, 2017)	4
Photo N°02 : le phénomène d’ensablement, la route Communal Haraza	4
Photo N°03 : Variations morphoscopiques de E01.....	191
(Voir Annexe Tableau A06 pour les autres échantillons).....	191
Photo n° 04 et 05 : logiciel de sable modifié par choppy et utilisé par Yann callot.....	201
Photo N°06 : L’ensablement des parcours stipeques du bassin versant de l’Oued Ain Sefra (Bouarfa S, 18/02/2018).	229
Photo N°07 : vue aérienne (Hélicoptère), l’ensablement sur les berges d’oued Ain sefra	231
Photo N°08 : Inondation de l’Oued Ain Sefra en 2008 (Bensalem M 2003).	232
Photo N°09 : La crue de l’Oued Ain Sefra en 2000 (Protection Civil, 2000).	232
Photo N°10 : La voie ferrée et la route nationale à Ain après l’inondation en 2008.	233
(Bensalem M, 2008).....	233
Photo N°11 : La dégradation d’un parcours à Haraza entre 2005 et 2014 (Hsds).....	236
Photo N°12 : L’ensablement des agglomérations à Ain Sefra (Bouarfa S, 2017).....	236
Photo n°13 : Journée venteuse aux vents de sable à Ain Sefra (Hdji b, 2017).....	237
Photo N°14 : L’ensablement de la route nationale RN°06 Naâma-Ain Sefra.....	239
Photo N°15 : Vue entre le parcours libre et la mise en défens (Asla- Haraza).....	244
Photo N°16 : Initiative de boisement et de reboisement de la Conservation des forêts 2017-2018.	249
Photo N°17 : Plantation d’Alfa par un Agriculteur Naoum Ben Ali, El-Eche 2017 (Bouarfa S, 2017)...	251
Photo N°18 : L’utilisation réussie des palissades dans le bassin versant –Ain Sefra.....	253
Photo N°19 : Initiative collective pour la construction des palissades –Adrar (internat).	253
Photo N°20 : Fixation des dunes par la technique de quadrillage en Chine.....	254
Photo N°21 : Drâas installés sur le site expérimentale Timimoune par CRSTRA – DTP ADRAR (Sebaa.A, 2016).....	256
Photo N°22 : Drâas installés sur le site expérimentale Timimoune par CRSTRA – DTP ADRAR (Sebaa. A, 2016).	257
Photo N°23-24 : Lutte biologique contre l’ensablement en Chine. (Youb.o, 2010)	259
Photo N°25 : La voie ferrée et la route touchées par l’envahissement de sable (BOUARFA S,.....	261
Photo N° 26: Technique de barrière de sable pour protéger la voie ferrée contre l’avancement du sable	262
Photo N° 27: Technique chinoise de lutte contre l’ensablement des routes	263
(Youb. o,2010).	263
Photo N°28 : L’invasion de la route par le sable cause des accidents et surtout des victimes (Hakoum m, 2018).....	264
Photo N°29 : Les résultats de l’utilisation de la technique chinoise de la lutte contre l’ensablement des routes.....	265
Photo N°30 : L’ensablement des berges de l’Oued Mouilah –bassin versant de l’Oued Ain Sefra (BOUARFA S, 2016).....	267

Photo N°31 : L'aménagement de l'Oued Tiout après l'invasion du sable.	268
Photo N°32 : Le remplacement des parcours ensablés par des constructions à Ain Sefra (2004-2016) (BOUARFA S).....	271