

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université d'Oran

Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et d'Aménagement du Territoire

Laboratoire espace Géographique et Aménagement du Territoire

Thèse

Présentée pour l'obtention du grade de Doctorat en Géographie et Aménagement du territoire.

Option : Aménagement de l'Espace

ENSABLEMENT ET AMENAGEMENT DANS LES MILIEUX ARIDES ET SEMI-ARIDES

SUR LES MARGES NORD-OUEST DE L'ATLAS SAHARIEN ALGERIEN.

Par

BELMAHI Mohammed Nadir

Membres de Jury :

MANSOUR Hamidi

BENCHEHIDA Driss

MEDERBEL Khalladi

FIZAZI Hadria

REMINI Faouzia

BOUGHRARA Ahmed

Professeur à l'université d'Oran

MCA à l'université d'Oran

Professeur à l'université de Tiaret

MCA à l'USTO-MB

MCA à l'université d'Oran

M.C.A à l'université de Constantine

Président

Rapporteur

Examineur

Examinatrice

Examinatrice

Examineur

SOMMAIRE

Sommaire.....	1
Avant propos.....	3
Introduction générale.....	4

Première partie :

<u>Le Contexte générale des Hautes plaines Sud Oranaises.....</u>	10
I - LES CARACTERISTIQUES TOPOGRAPHIQUES.....	11
II - LE CONTEXTE STRUCTURAL.....	15
III - UN CLIMAT A SECHERESSES RECURRENTES	25
IV - UN RESEAU HYDROGRAPHIQUE ENDOREIQUE	47
V - LE RECU DU COUVERT VEGETAL STEPPIQUE	49
VI - LE POIDS DE L'HOMME	60
CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE.....	70

Deuxième partie :

<u>Etat des lieux de l'ensablement et traitement d'images satellitaire.....</u>	71
I - INTRODUCTION ET METHODOLOGIE.....	72
II - ETAT DES LIEUX	77
III - L'EXTENSION ACTUELLE DE L'ENSABLEMENT	89
IV- LA REPARTITION DES DIFFERENTES ACCUMULATIONS EOLIENNES DANS LES HAUTES PLAINES SUD ORANAISES	92
V- LE TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES.....	104
CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE.....	140

Troisième partie :

<u>Le stock de sable existe.....</u>	142
---	------------

I- UN DOMAINE ENDOREIQUE FAVORISANT LA RECEPTION DES SEDIMENTS D'OUED ET EOLIEN.....	143
II- DES FORMATIONS SUSCEPTIBLES DE PRODUIRE DU SABLE.....	144
III- LES APPORTS DES OUEDS ET DES EPANDAGES.....	144
IV- LA MOBILITE DES SABLES ET DYNAMIQUE EOLIENNE.....	171
V- CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES DES SABLES MOBILISES.....	180
CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE.....	208

Quatrième partie :

<u>La problématique en aménagement dans une zone en voie de désertification avancée.....</u>	210
---	------------

I- LA PART DE L'ANTHROPISATION ET DE LA DYNAMIQUE NATURELLE.....	211
II - ETUDE DE QUELQUES CAS D'ENSABLEMENT.....	228
CONCLUSION DE LA QUATRIEME PARTIE.....	256

CONCLUSION GENERALE.....	258
---------------------------------	------------

BIBLIOGRAPHIE.....	264
---------------------------	------------

ANNEXES.....	269
---------------------	------------

TABLE DES MATIERES.....	290
--------------------------------	------------

AVANT PROPOS.

Étudier un espace steppique qui connaît de grandes mutations et où se conjuguent des problèmes d'origines différentes (éolienne, hydrique et anthropique) n'était pas aussi simple, sans le soutien et les orientations objectives de Mr CALLOT Yann de l'université de Lyon Lumière II, ainsi que Mr BENCHEHIDA Dris qui accepter de reconduire ce travail.

J'exprime ma gratitude à tous les membres de Jury, à Mr MANSOUR Hamidi en sa qualité de président, à Mr MEDERBEL Khalladi Professeur à l'université de Tiaret, à Mme FIZAZI Hadria de l'USTO et à Mr BOUGHARA Ahmed de l'université de Constantine qui ont accepté d'examiner mon travail.

Je voudrais remercier tous les services de la wilaya de Naama sans exception et en particulier la conservation des forêts avec toute l'équipe des jeunes et à leur tête Mr BENAÏSSA et Mr BADAOUÏ.

Mes remerciements s'adressent aussi à tout les collègues de la faculté des sciences de la terre, de géographie et d'aménagement du territoire pour leur soutien morale.

Je ne manquerais à l'heureuse occasion, qui consiste à remercier tous ceux qui m'ont apporté aide et soutien pour achever ce modeste travail de recherche. En particulier mes très chers parents que Dieu les garde pour moi ainsi que ma femme et mes enfants Yasmine et Fawzi mes frères, ma sœur et tout les membres de ma famille.

En définitif je dédie ce travail à mon défunt frère Lakhdar Fawzi que Dieu garde dans son vaste paradis.

INTRODUCTION

INTRODUCTION.

Depuis plusieurs années les problèmes de la désertification ont soulevé un intérêt et une prise de conscience dans le monde et en particulier au Maghreb (Conférence des Nations Unies sur la désertification à Nairobi en 1977, Programme des Nations Unies pour l'Environnement 1980. Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement CNUED. Rio de Janeiro, juin 1992 : Conférence sur l'impact climatique et le développement durable des régions arides à Fortaleza au Brésil en février 1992, conférence de la désertification à Paris 1994. Symposium d'Almería 1994. Congrès des zones arides à Medenine en Tunisie 1994, ainsi que le congrès de Berlin, avril 1995, sur le climat et les changements climatiques).

Ce vif intérêt actuel pour les problèmes de désertification et les conséquences qui s'en suivent (ensablement) est justifié d'autre part, par le fait que les terres arides ou semi arides couvrent le tiers de la surface du globe, et qu'elles sont menacées un peu partout dans le monde, par une extension du désert (F. Ramade, 1991). Le programme des Nations Unies pour l'environnement estimait au cours des années 80 que la désertification menaçait environ un tiers de la surface totale des continents soit 48 millions de km², et affectait les conditions de vie de 850 millions d'hommes (H.N Le Houérou, 1987).

Les auteurs sont unanimes sur les causes de la désertification : la récurrence périodique d'années sèches et l'explosion démographique.

F. Ramade (1991) : « Terme ultime de la dégradation des écosystèmes terrestres sous l'effet de la déforestation, du surpâturage et de la dégradation des sols par une mise en culture abusive, la désertification constitue une des plus graves catastrophes écologiques résultant de l'action de l'homme sur les milieux naturels ».

P. Rognon (1994) : « La désertification est un problème très complexe où interviennent les facteurs physiques, les modes de mise en valeur, la démographie, les progrès scientifiques mais aussi les héritages socio-économiques et le contexte international...chaque région du Globe qui présente des risques de désertification à des caractères spécifiques...».

M. Mainguet (1995) : « La désertification, révélée par la sécheresse, est due aux activités humaines lorsque la capacité de charges des terres est dépassée ; elle procède des mécanismes naturels exacerbés ou induits par l'homme : elle se manifeste par une détérioration de la végétation et des sols et aboutit, à l'échelle humaine de temps, à une diminution ou à une

destruction irréversible du potentiel biologique des terres ou de leur capacité à supporter les populations qui y vivent ».

En effet les activités de plus en plus déséquilibrantes de l'homme sur le milieu, en raison de l'augmentation de la population et grâce à des moyens techniques accrus utilisés sans discernement, sont certainement les causes principales des progrès de la désertification.

« C'est l'homme qui crée le désert, le climat n'est qu'une circonstance favorable »
(Le Houérou, 1968).

Le phénomène de désertification pourrait être dû principalement à l'action de l'homme associé aux effets conjugués de facteurs naturels, climatiques et à la récurrence de périodes de sécheresse pendant lesquelles la nature puise sur ses propres réserves, et l'équilibre longtemps conservé pendant les périodes humides, se trouve rompu ou amplifié par des modes et systèmes inappropriés d'exploitation des ressources naturelles.

Les Hautes Plaines Sud Oranaises, souffrent d'une progression récente des accumulations sableuses. Ce sont les marges nord de l'Atlas Saharien qui sont menacées ou connaissent des processus de désertification et tout particulièrement la partie Sud des Plaines Oranaises.

Des travaux ont montré l'extension de ceux-ci (cf. cartes écologiques de l'équipe de Djebaili datant de 1980 – travaux de Aïdoud et al. – magisters de Boukholkhal kh., de Kious shahrazed etc...). Il ne s'agit là que de quelques manifestations visibles de la désertification, qui s'étend de plus en plus sous l'effet de l'aridité du climat, de la pression croissante de la population et de ses troupeaux sur un milieu naturel fragile.

Par le présent travail nous nous proposons de contribuer à la compréhension du phénomène d'ensablement dans les Hautes Plaines Sud Oranaises, et d'élucider certaines hypothèses concernant l'ampleur de l'ensablement et donc les risques qu'ils engendrent ainsi que le déplacement des sables dans cette zone et leurs trajectoires de transport.

- Quelles sont les conditions naturelles de ces milieux arides qui les prédisposent aux phénomènes d'ensablement et de désertification ? (caractéristiques géomorphologie, géologiques, du couvert végétal, du climat, etc.).

- Quelles sont les conditions anthropiques et les politiques de développement adoptées qui accentuent ces processus d'ensablement ?

- Quelles est l'impact et l'envergure de l'ensablement sur les aménagements dans cette partie des Hautes Plaines ?

- Comment ce phénomène d'ensablement est une contrainte pour le développement économique ?

C'est dans ce cadre que se situe le présent travail, qui a été présenté en quatre parties :

- Dans la première partie, il a été mis l'accent sur les conditions « naturelles », afin de montrer la fragilité du milieu plus précisément. Autrement dit, nous devons déterminer la part des paramètres comme la morphologie, la lithologie et le climat en tant que facteurs fragilisant les Hautes Plaines Sud Oranaises. Dans le même sens, nous avons donné un bref aperçu sur le poids de l'homme de ce milieu steppique.

- Dans la deuxième partie il a été établi en premier lieu, un état des lieux des aires d'accumulation sableuses, ensuite une évolution de ces dernières sur la base d'un traitement d'images satellitaires prises à différentes dates. Ensuite, une typologie des accumulations sableuses a été faite avec leur répartition précise dans l'espace étudié. Cet état des lieux a été fait grâce en grande partie au traitement d'images et aux relevés de terrain.

- La troisième partie a pour objectif d'aborder quelques éléments explicatifs du phénomène ensablement. Nous allons mettre l'accent sur le stock de sable existant et les principaux agents de transport. Ces derniers sont responsables de l'abondance des formations sableuses dans un domaine endoréique favorisant la réception des sédiments de tout genre. De ce fait, nous avons procédé à une estimation du stock de sédiments potentiel déposé par les cours d'eau et à faire un diagnostic de la dynamique éolienne et de la mobilité éolienne. Enfin, il est utile de connaître les caractéristiques granulométriques (des matériaux mobilisés) que ce soit par les vents ou bien par les cours d'eau.

- Dans la quatrième partie, on a fait ressortir une problématique en aménagement dans une zone en voie de désertification avancée, dans laquelle nous avons donné un bref historique sur les politiques adoptées dans le passé (coloniale et révolution agraire), de cette région. Ensuite, il a été mis l'accent sur les grands projets de développement (dans le domaine agricole, de l'urbanisme et des travaux publics, du transport etc...) et leur situation par rapport au phénomène d'ensablement. Il s'agit de l'action de l'homme sur la nature et la réaction de la nature sur l'homme.

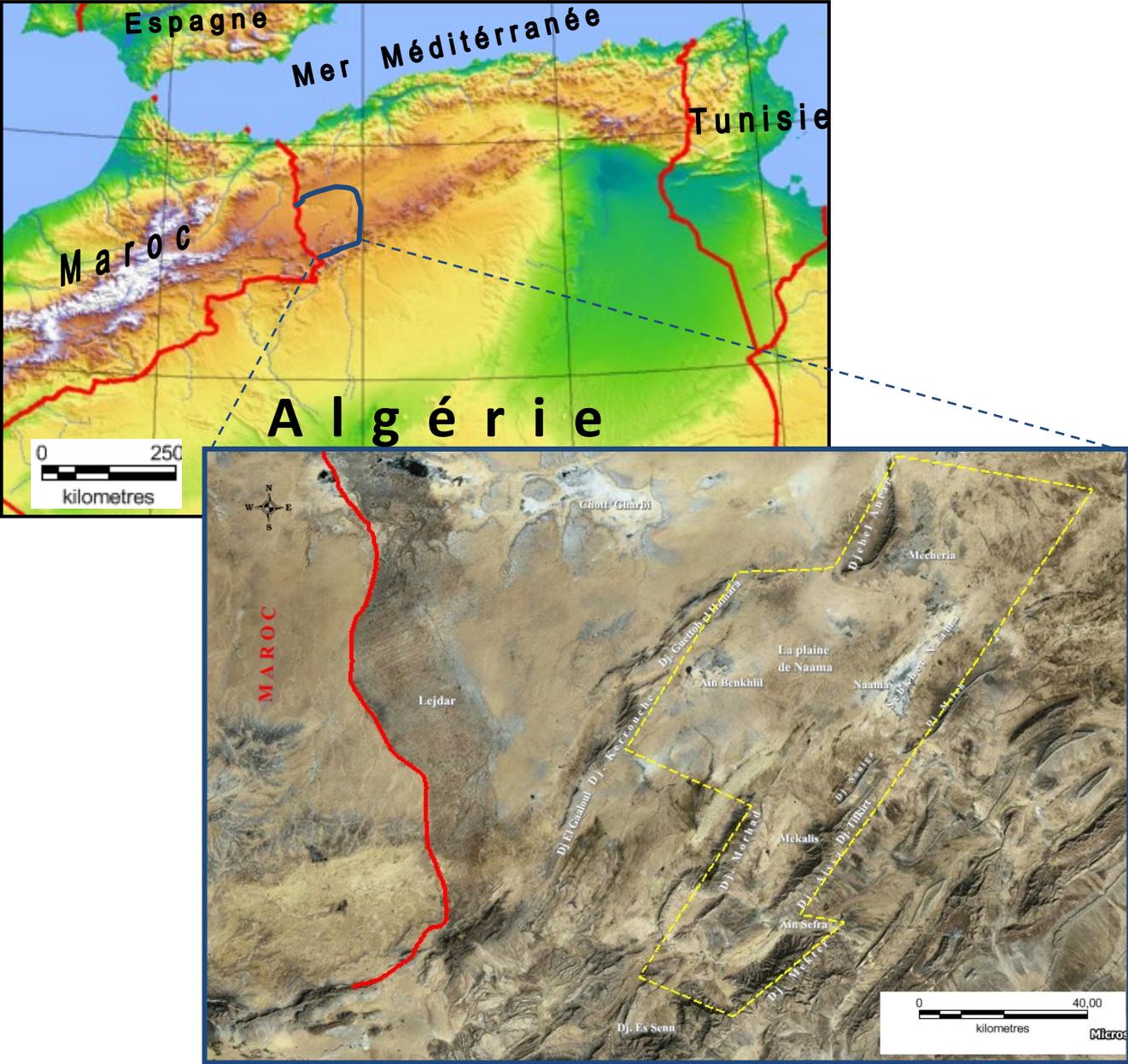
Les résultats présentés dans ce travail peuvent servir de réflexion aux projets de développements et permettront aux services compétents (wilaya, service des forêts, DSA etc...) d'agir sur cette zone fragile et de limiter les conséquences des phénomènes

d'ensablement et d'érosion observés, en empêchant les formes insidieuses de ces phénomènes, de se transformer en formes majeures.

Les Hautes Plaines Sud Oranaises font partie de l'Algérie occidentale (Oranie) et dans le SW, entre les Monts de Tlemcen au Nord et les Monts des Ksour (Atlas saharien) au Sud. Administrativement, elle correspond à la wilaya de Naama, elle s'étend de la frontière algéromarocaine à l'ouest jusqu'au djebel El Melah à l'Est et de Labiod au Nord à Aïn Sefra au Sud. Elle se décompose en deux grandes zones : une zone steppique au Nord et une Zone présaharienne au Sud.

Les Hautes Plaines Sud Oranaises se trouvent entre 34°15' et 32°15' de latitude Nord et entre 1°45W et 0°15'E de longitude. Les cotes d'altitudes s'échelonnent entre 980 m et 1200 m en zone de plaine et de 1800 m à 2200 m en zone de montagne. Vu l'immensité de la zone des Hautes Plaines Sud Oranaises, nous nous sommes intéressé qu'à sa partie sud, c'est-à-dire la zone située entre la zone des Chotts au nord et les piémonts Nord de l'Atlas Saharien occidental (ou Monts des Ksour) au sud. C'est plus précisément la plaine de Naama et les couloirs orographiques situés au sud de Naama, il s'agit du couloir orographique de Mékalis et celui d'Ain Sefra. C'est en quelque sorte les zones où les activités humaines sont plus importantes (cf. Fig. 1).

Fig. 1 : Localisation de la partie sud des Hautes Plaines Sud Oranaises.



Zone concernée par l'étude. Ligne de frontière.

PREMIERE PARTIE.

Le contexte général des Hautes Plaines

Sud Oranaises

INTRODUCTION.

Dans ce chapitre, nous allons nous baser sur les principales orientations topographiques : obstacles en relief ou en creux, surfaces planes et réseau hydrographique, qui peuvent s'opposer ou au contraire faciliter ou même accentuer les effets de la dynamique éolienne. Pour ce qui est du vent principal agent de cette dynamique, nous lui consacrerons plus loin une étude à part.

I – LES CARACTERISTIQUES TOPOGRAPHIQUES.

Située sur les marges NW de l'Atlas Saharien, une partie des Hautes Plaines Sud Oranaises est accidentée par les chainons avancés de l'Atlas Saharien.

Le relief des Hautes Plaines Sud Oranaises est constitué dans sa partie sud, par une vaste plaine à écoulement endoréique enclavée par des chainons d'orientation presque identique SW/NE et de tracé parfois arqué. Et par une série de couloirs orographiques dans la partie sud de la zone étudiée.

1 - La plaine de Naama : Elle est large de 50 à 60 km d'Ouest en Est et d'environ 40 km du Nord au Sud. Elle présente des altitudes variant entre 1099 m au niveau nord et 1283 m au sud. En général, cette zone est caractérisée par une inclinaison Sud-Nord, limitée à l'ouest par les chainons occidentaux, ce sont du sud vers le nord : le Dj. Gaaloul, le Dj. Araar, le Dj. Karrouche, le Dj. Bouamoud, le Dj. Guetob El Hamara et le Dj. Hafid. Ils culminent respectivement à 1567 m, 1467 m, 1671 m, 1534 m, 1535 m et 1204 m. Et à l'Est par les chainons orientaux, ce sont le Dj. Souiga et le Dj. Melah. Ces deux derniers décalés, laissant un « col » d'environ 10 km de large. La limite sud de la plaine de Naama est matérialisée par les chainons centraux, il s'agit de Dj. Morhad et de Hadjrate Toulal. Au nord le Dj. Antar « ferme » partiellement la plaine, laissant deux « ouvertures », une à l'ouest et l'autre à l'Est. La plaine de Naama, en fait ne forme pas un ensemble homogène : un relief résiduel en forme de croupe (Rokbate el Harchaïa), de même orientation que les autres chainons, la subdivise en deux et joue le rôle d'interfluve. A l'Ouest la plaine est plus large, sa surface est accidentée de multiples petites dayas et son centre reçoit les apports d'oued. A l'Est Sebkheth en Naama se situe entre Rokbate el Harchaïa à l'Ouest et le Dj. Melah à l'Est. Il s'agit d'une dépression fermée très salées, avec une topographie plane, orientée SW/NE.

2 – Les chainons :

Les chainons avancés des Monts des Ksour, se présentent sous formes de trois tracés parallèles étirés SW/NE sur 74 km à l'ouest, 52 km au centre et 100 km à l'est. Ils sont fermés au sud par des chainons plus grands comme le Dj. Mekter ou plus petit comme le Dj Senn et Mir el le Djebel (au sud des chainons centraux et orientaux). Nous pouvons observer :

- Les chainons occidentaux :

Ils englobent du sud vers le nord : le Dj. Gaaloul, le Dj. Araar, le Dj. Karrouche, le Dj. Bouamoud, le Dj Guetob El Hamara et le Dj. Hafid. Ils culminent respectivement à 1567 m, 1467 m, 1671 m, 1534 m, 1535 m et 1204 m. Ces chainons constituent une barrière longue de 70 km. Avec une largeur à la base qui varie de 10 km à Dj. Bouamoud à 3 km à Dj. Hafid. L'ensemble des djebels se caractérise par un réseau hydrographique dense sur des versants à pentes fortes.

- Les chainons centraux :

Ils sont les moins étendues, ils sont constitués par le Dj. El Hairech au sud, par le Dj. Morhad au centre et par Hadjrate Toual au nord. Ils culminent respectivement à 1816 m, à 2038 m et à 1417 m. Ils sont très disséqués surtout à leur base par le réseau hydrographique. Ils sont caractérisés par des versants courts et à pente forte. La largeur à la base de ces chainons peut atteindre 8 km au niveau de Dj. Morhad, elle set de 3 km à Dj. El Hairech et de 1,1 km à Hadjrate Toual.

- Les chainons orientaux :

Nous avons du nord au sud : le Dj. Melah, le Dj. Souiga, le Dj. Tifkirt, le Dj. Aïssa et le Dj. Mekter. Les djebels du nord sont important et plus simple que ceux du sud. Ces derniers sont plus importants, ce sont des masses montagneuses plus larges et plus hautes. La largeur à leur base varie entre 7 km à djebel Aïssa et 11 km à djebel Mekter.

Le Djebel Aïssa avec une altitude de 2236 m, a une orientation SW/NE. Ayant une topographie plus régulière et une symétrie de versants plus apparente et des pentes fortes.

Le Djebel Mekter est situé au sud immédiat de la ville d'Aïn Sefra. Il culmine à une altitude de 2055 m. Avec une orientation WSW / ENE, il présente une topographie moins régulière où les versants sont à pente moyenne à forte. Son versant sud est moins régulier avec une topographie accidentée donnant lieu à des pentes plus fortes.

3- Les couloirs orographiques : Ces couloirs vont jouer un rôle primordial dans la mobilité des sables. Au sud de la plaine de Naama, les chainons avancés des monts des ksour mettent en évidence deux couloirs orographiques :

- Le couloir occidental correspond à la plaine d'El Gaaloul, il est délimité à l'ouest, par le Dj. Gaaloul, le Dj. Oust et le Dj. Douche, qui laissent un « col », celui de Fortassa Rharbia. Et à l'Est, par le Dj. Morhad, le Dj. Ras Touil, le Dj. Bou Amoud et le Dj. El Djehat.

La plaine d'El Gaaloul, est large de 30 km, elle est caractérisée par la présence d'un interfluve situé entre le Dj. Gaaloul, et le Dj. Bou Amoud qui la subdivise en deux. Au Nord l'écoulement s'effectue vers Haoud Daïra (Aïn Benkhelil), au Sud, il s'effectue vers l'oued Sfissifa.

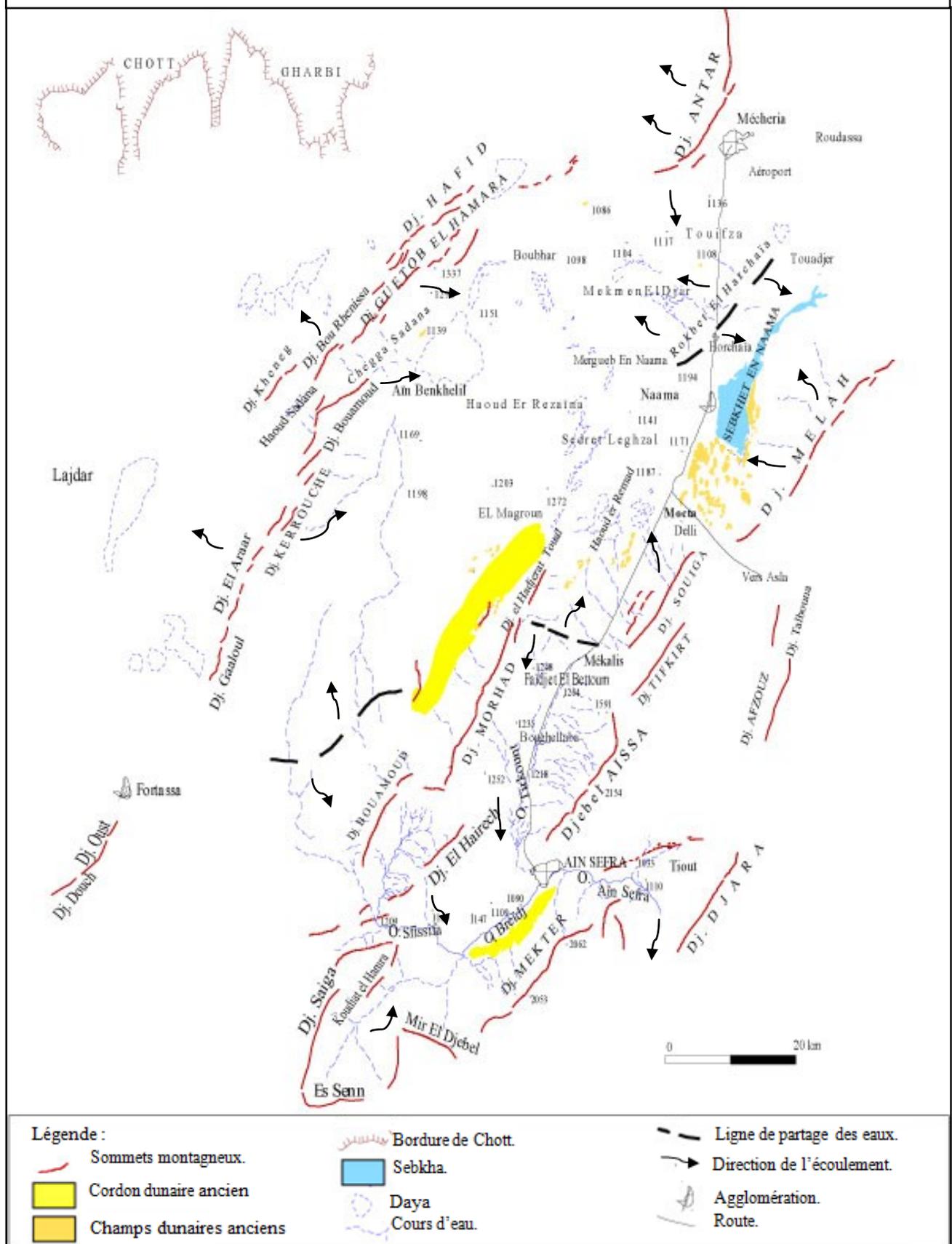
- Le couloir orographique oriental, il est plus étroit, limité à l'Ouest par le Dj. Morhad et Hadjrate Toual. Et à l'Est par le Dj. Aïssa, le Dj. Tifkirt et le Dj. Souïga. Il est large de 11 km et orientée SW/NE, il est séparé de la plaine de Naama au Nord par un interfluve au niveau de Mekalis.

La limite sud de notre zone d'investigation est un couloir fermé au sud par le Dj. Mekter, le Dj. Mir el Djebel, le Dj. Es Senn et le Dj. Saïga disposés en arc de cercle et au nord par le Dj. Aïssa. Ce dernier avec le Dj. Mekter sont espacés et constituent la vallée de l'oued Aïn Sefa. Celle-ci est orientée WSW/ENE, sa largeur varie entre 7 et 12 km par endroit.

Conclusion.

Cette disposition des djebels donne à la plaine de Naama et aux couloirs orographiques, un certain cloisonnement, ce dernier va jouer un rôle important dans le piégeage des sables éoliens, d'autant plus qu'il y a endoréisme. A plusieurs endroits, les oueds découpent les Monts des Ksour en créant des ouvertures qui représentent autant de voies de passage naturelles.

Fig. 2 : Croquis de présentation de la partie des Hautes Plaines Sud Oranaises étudiées.



II - LE CONTEXTE STRUCTURAL.

Les chainons avancés dans la partie sud des Hautes Plaines Sud Oranaise, se rattachent à la chaîne montagneuse de l'Atlas Saharien. Du point de vue structure, ils représentent une série de plis larges généralement coffrés, faillés, parfois déversés et de direction générale SW/NE.

1 - Caractéristiques structurales :

La partie étudiée dans les Hautes Plaines Sud Oranaises est caractérisée par une série de plis parallèles de direction générale SW/NE, avec des anticlinaux étroits et de larges synclinaux à fond plat. Les anticlinaux représentés par les djebels, qui sont en général très « érodés » et les synclinaux représentés par les dépressions (Fig. 3 et 4).

Au nord, la plaine de Naama est constituée de deux grands synclinaux entre trois anticlinaux ce sont :

- A l'est, l'anticlinal de Dj. Souiga-Aouinet Khaled-Tifkirt et celui de Dj. Melah, tout les deux constitués par une formation argilo-gréseuse avec des intercalations de calcaire et de dolomie.
- Au centre l'anticlinal Rokbet El Harchai au nord presque complètement érodé, et l'anticlinal de Hadjrat Toual au sud. Le premier formé essentiellement de grès alors que le second est caractérisé par une série infra Crétacé, c'est-à-dire une intercalation d'argiles, de calcaire et de grès.
- A l'ouest une série de chainons constitue l'anticlinal, il s'agit de Dj. Kerkouche, de Dj. Bouamoud, de Dj. Guettob El Hamara et de dj. Hafid. Il est composé pratiquement de grès du jurassique supérieur avec des intercalations calcaire.

Pour ce qui est des synclinaux, ils sont formés de couches : de calcaire du Jurassique moyen, de grès du Jurassique supérieure, du grès du Crétacé en plus des remplissages de sédiments plio-quadernaires dont le calcaire, de faciès lacustres et fluviales, formés de bas en haut d'argiles sableuses plastiques rougeâtres, couronnés par une dalle calcaire.

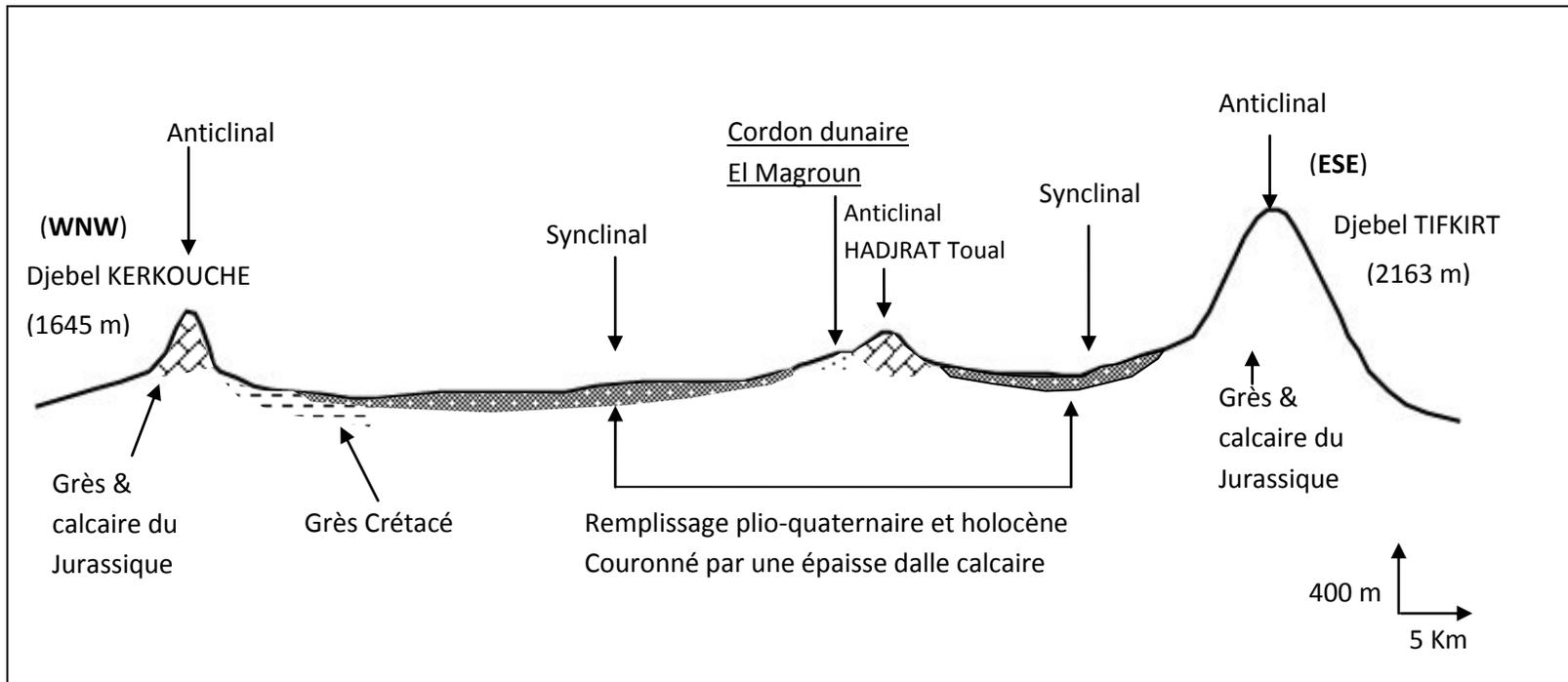
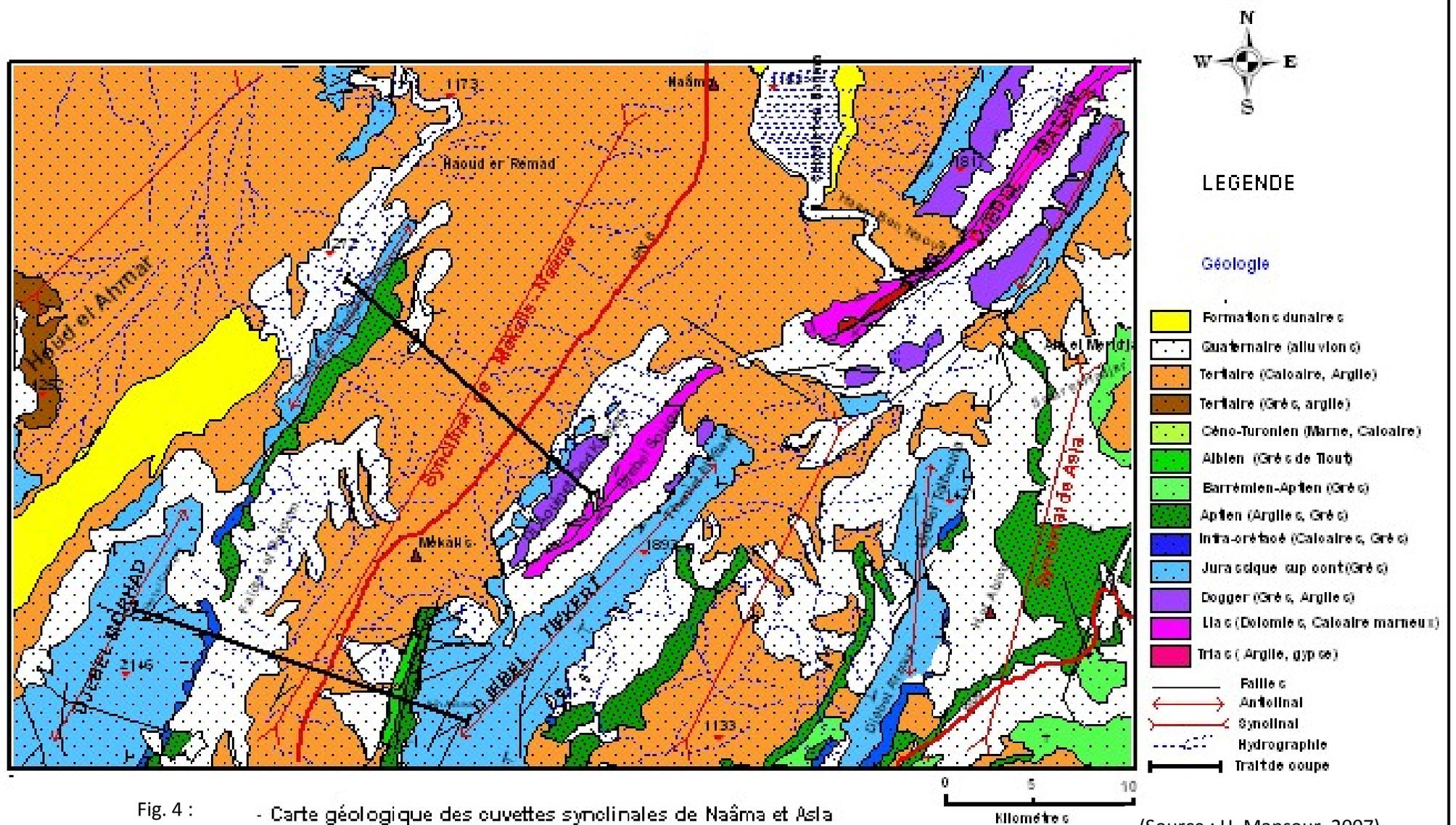


Fig. 3 : Coupe géologique au sud de la plaine de Naama.



Au sud de la plaine de Naama, les anticlinaux dessinent un couloir orographique restreint à l'est, il correspond au synclinal de Tirkount et un autre plus large à l'ouest, il s'agit du synclinal d'El Gaaloul. De l'est vers l'ouest nous avons : l'anticlinal de Dj. Aïssa à l'est, il est constitué de formation gréseuse du Jurassique, au centre l'anticlinal de Dj. Morhad composé d'un ensemble argilo-gréseux. Et à l'ouest l'anticlinal des djebels El Gaaloul-El Araar, composé essentiellement de formation gréseuse.

Le synclinal de Tirkount est composé de grès à dragée du Barrémo-Albo-Aptien.

Vers l'ouest le synclinal d'El Galoul présente les mêmes formations que le synclinal de Naama, c'est-à-dire du calcaire du Jurassique moyen, du grès du Jurassique supérieure, du grès du Crétacé en plus des remplissages, du faciès lacustres et fluviaux constitués d'argiles sableuses plastiques rougeâtres, couonnés par une dalle calcaire (Fig. 5 et 6).

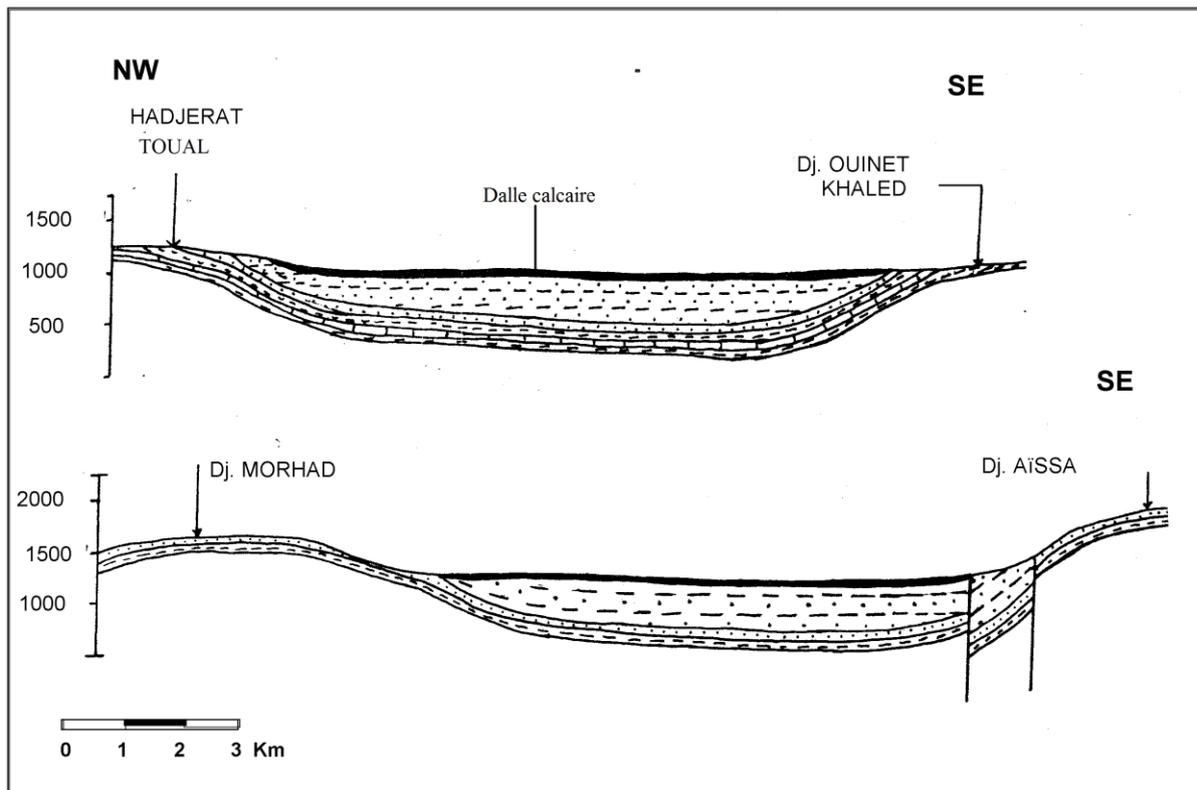


Fig. 5 – Coupes géologiques à travers le synclinal de Mékalis-Naama (H. Mansour, 2007)



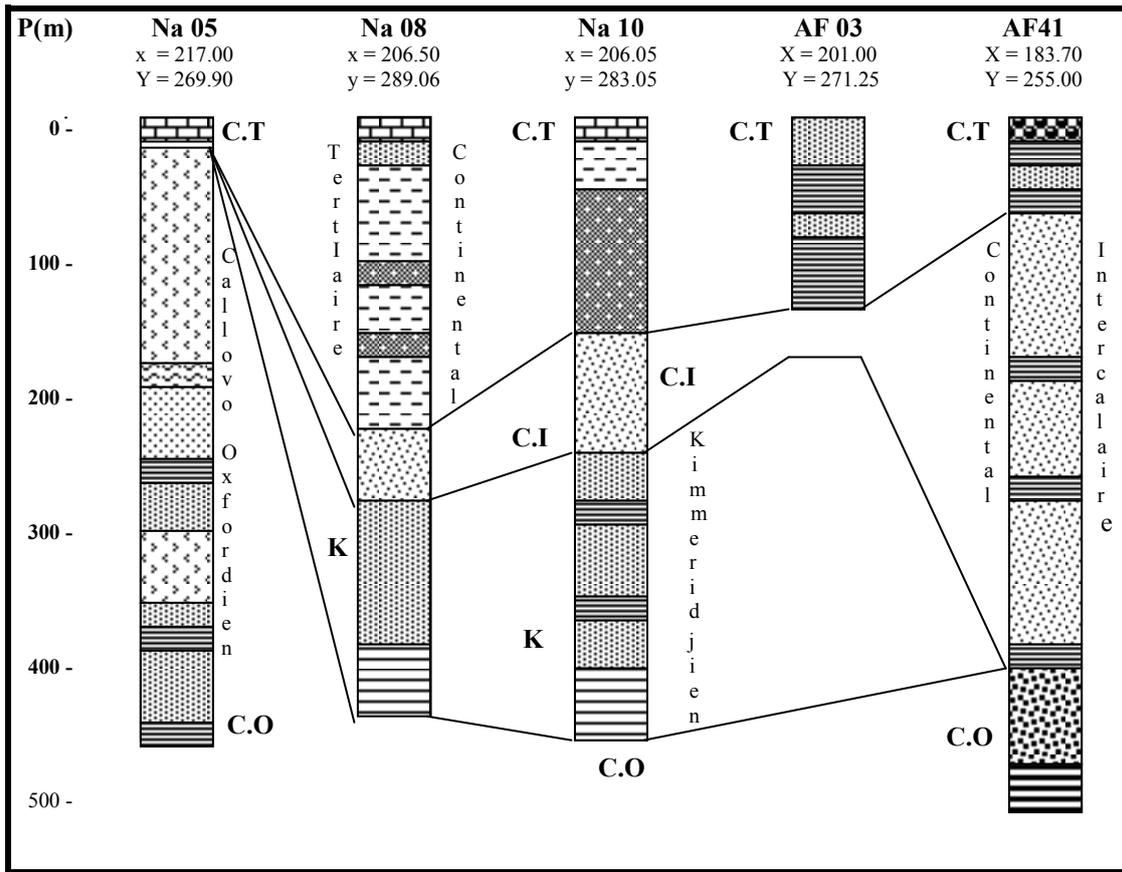
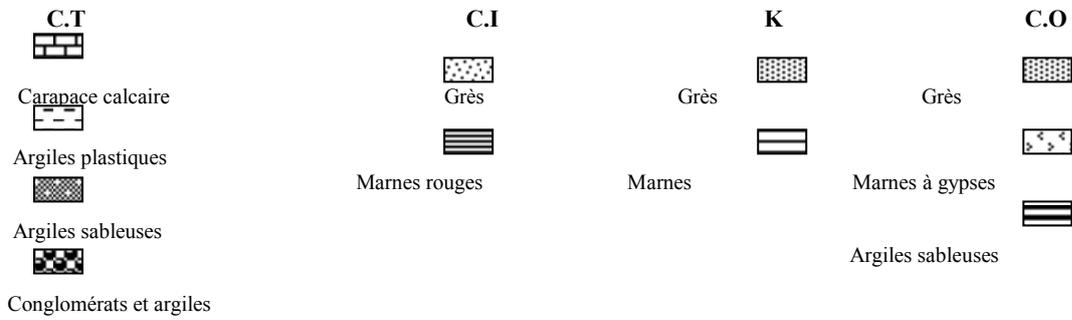


Fig. 6 – Essai de corrélation des coupes de forages du synclinal de Mékalis-Naama (H. Mansour, 2007).



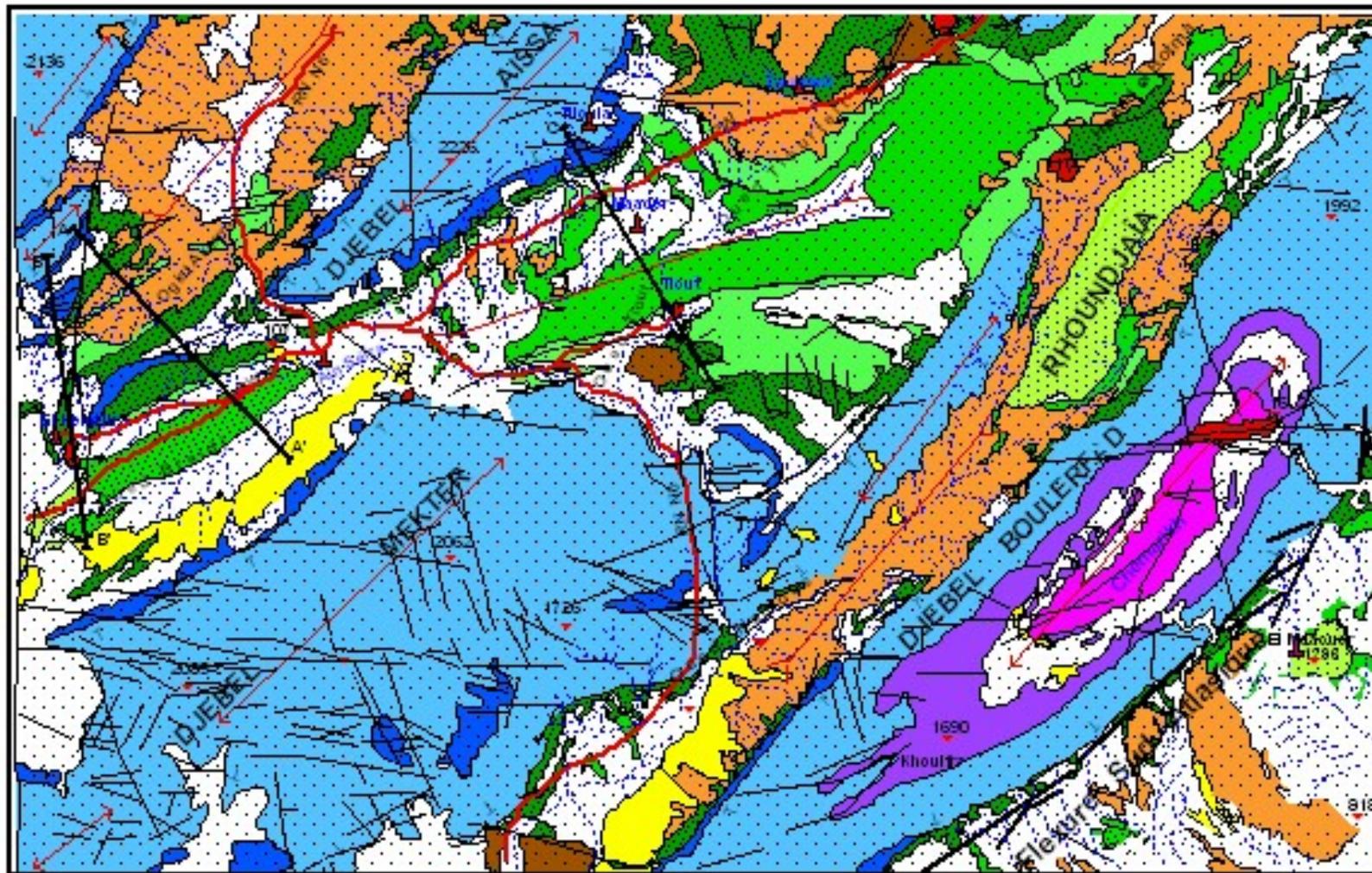
Vers le sud, on distingue le synclinal d'Aïn séfra entre deux anticlinaux, ce sont le Djebel Aïssa au Nord et le Djebel Mekhter au Sud, ils sont composés de formations gréseuse plus ancienne Jurassico-Crétacé. Quand au synclinal, il est représenté par les grès du Crétacé inférieur, attribués au Barrémo-Albo-Aptien (Fig. 7).

Fig. 7 :

che 02 - Carte géologique des gouttières synclinales El Hendjir - Ain Séfra - Tiout

(D. Galm

travail



LEGENDE

Géologie

- Formation c
- Quaternaire
- Tertiaire (C)
- Tertiaire (G)
- Céno-Turon
- Albien (Cré)
- Barrémien-
- Aptien (Arg)
- Intra-crétacé
- Jura coïque
- Dogger (Gr)
- Lias (Dolon)
- Trias (Argill)
- Faille
- Anticl
- Syncl
- Hydro
- Trait d

(Source : H. Mansour, 2007)

0 5 10
Kilomètres

Enfin, nous avons le synclinal Aïn Séfra – Tiout. Il se trouve dans la région de Tiout, plus connue sous le nom de Maâder. C’est un synclinal typique des monts des Ksour, à fond plat, d’âge Albien, encadré par les anticlinaux des Djebels Aïssa et Djara.

Le synclinal est représenté principalement par la formation de Tiout, attribuée au Barrémo-Albo-Aptien, appelée « groupe des grès à dragées » par Douihasni (1976). Représenté par un faciès caractéristique, quoique pas toujours discerné avec les autres étages gréseux ; Ce sont des grès massifs rouges à stratifications obliques, entrecoupés par des niveaux d’argiles rouges (Fig. 8).

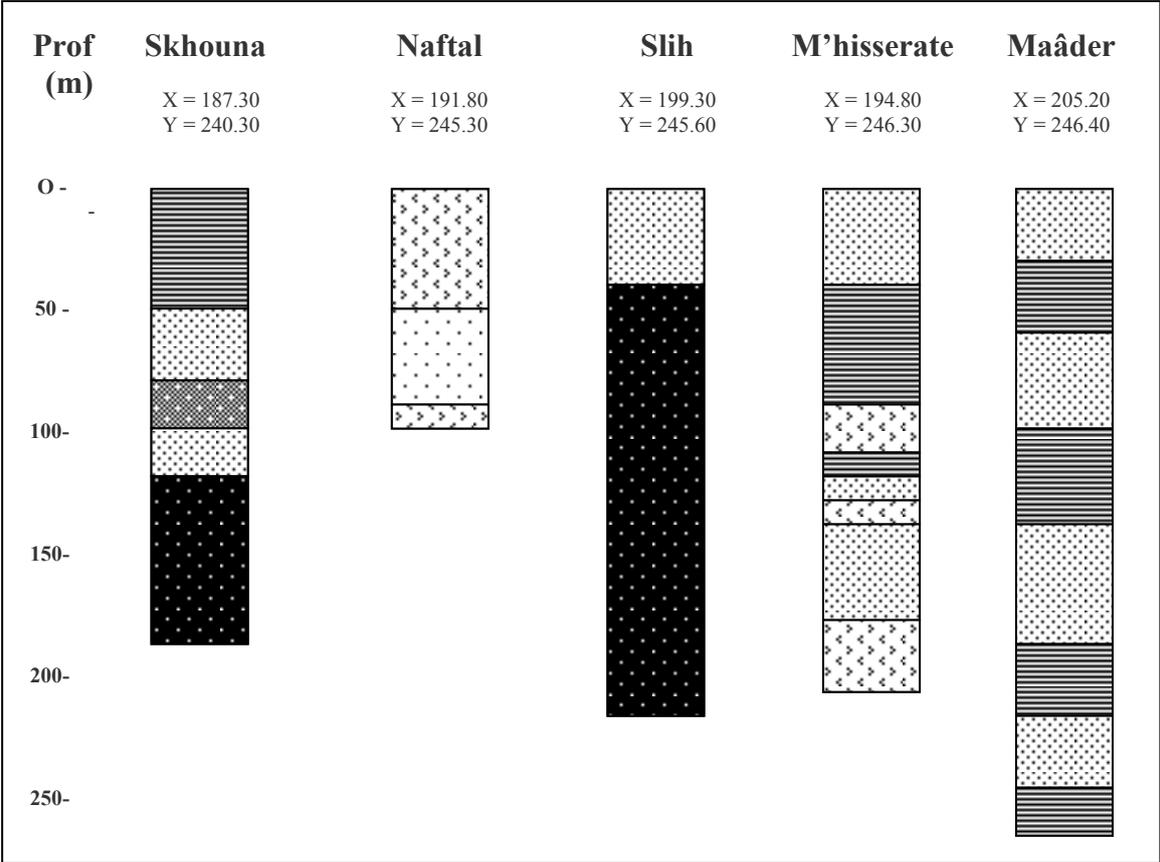


Fig. 8 - Faciès du Crétacé inférieur recoupé par les forages du synclinal de Aïn Séfra (H. Mansour, 2007)

- 
Grès rouges
- 
Argiles rouges
- 
Grès argileux
- 
Sables fins
- 
Marnes gypseuses
- 
Grès très fissurés

2 – Les caractéristiques lithologiques :

L'étude lithologique dans les Hautes Plaines Sud Oranaises, se limitera uniquement à la nature des formations susceptibles de produire des sables. Les autres formations telles que les calcaires ne seront pas pris en considération.

Dans la plaine de Naama la lithologie correspond principalement à des faciès lacustres et fluviatiles, formés de bas en haut d'argiles sableuses, couronnées par une carapace calcaire. (H. Mansour, 2007)

Dans les anticlinaux des Djebels Souiga et Melah. On observe selon H. Mansour, 2007 :

- Une alternance de marnes, de grès et de calcaire bioclastique.
- Une alternance de grès, marnes et de calcaire Bathonien.
- Une alternance de grès et de dolomies Callovo-Oxfordien.

Les dépôts du Quaternaire se traduisent par les comblements de fond des dépressions, par l'existence de croûtes calcaires et des dépôts limoneux dans les daïas.

Les massifs dunaires, se trouvent à l'extrémité SW de la partie orientale du Chott Echergui, vers Labiod au sud de Sebkhet El Fekarine, autour de Sebkhet Naama dont la plus grande partie se trouve au sud et sur les flancs ouest de Djebel Morhad.

Dans les Monts des Ksour, nous observons des affleurements totalement gréseux. Parmi les plus importants, la formation de Aïssa (Bassoulet, 1973), est formée d'une alternance de grès massifs fissurés rosâtres à stratifications obliques et d'argiles pelitiques violettes. On la trouve essentiellement au Djebel Aïssa et au Djebel Mekhter.

A l'ouest d'Aïn Sefra et tout au long de l'oued Breïdj, une formation appartenant à l'Aptien correspond à une alternance d'argile et de grès.

A l'Est d'Aïn Sefra, les grès de Tiout sont très développés, représentés le plus souvent par une barre dans le paysage. Ce sont des « grès à dragées » de couleur rouge.

Dans la plaine de Tiout, on distingue l'affleurement des poudingues, rapportés au Pliocène continental, formés de conglomérats hétérométriques.

La dépression est constituée principalement par les formations du Quaternaire. Ce dernier est représenté par plusieurs types de dépôts. On y trouve :

- des limons anciens, cette formation est une alternance de limons fins et de conglomérats ;
- des tufs et travertins localisés à proximité des sources ;
- des colluvions de piedmonts, correspondent aux dépôts de pente, constitués de cailloutis cimentés par les carbonates ;

- des alluvions anciennes, formations argilo sableuses et conglomératiques, avec parfois des lentilles de grès tendres. Elles sont localisées sur les étendues planes et les dépressions à faible pente ;
- les alluvions récentes sont représentées de sables hétérogènes qui constituent les dépôts de comblement du fond des dépressions ou jalonnent les oueds. Elles peuvent correspondre aux terrasses alluviales au sud-ouest d'Aïn Sefra.

CONCLUSION.

La plus part des affleurements lithologique qui constituent les chainons avancés des Monts des Ksour et ceux des monts des Ksour sont composés de formation gréseuse d'où la forte abondance de sable dans la région.

Ces formations gréseuses sont très abondantes, on les trouve, en alternance avec des marnes et calcaires au niveau des djebels Souiga et El Melah au nord ; ils constituent la majeure partie des formations des chainons avancés des Monts des Ksour.

De ce fait, la sécheresse et plus exactement la dégradation du couvert végétal, fait que le sable, peut être produit sur place, par l'effet de la désagrégation des roches mères.

III - UN CLIMAT A SECHERESSES RECURRENTES.

L'étude consiste en l'analyse de l'évolution temporelle des éléments climatiques afin de mieux cerner les variations et les tendances du climat de la zone étudiée.

Cette étude climatique, est basée sur les données brutes recueillies auprès de l'office national de météorologie (ONM), les données de P. Seltzer, 1946 (1913 – 1938) en particulier pour le paramètre température, ainsi que des sources bibliographiques diverses. Les données concernent cinq stations météorologiques : Saïda, El Kheiter, Mécheria, Naama et Aïn Sefra. Selon la disponibilité des données, le nombre d'années étudiées n'est pas identique pour celles-ci. Nous disposons d'un nombre variable (16 à 30) d'années de précipitation et de température. La série est de 30 ans pour Saïda et Aïn Sefra. Elle est de 29 ans à El Kheiter de 28 ans à Mécheria et de 16 ans à Naama (Fig. 9).

Le choix des stations a été fait de manière à couvrir toute la région étudiée. Ces stations ont une disposition latitudinale, du nord au sud afin de marquer toute transition climatique ; autrement dit, des stations représentatives de chaque étage bioclimatique.

Tab.1 : Localisation et caractéristiques des stations météorologiques.

Stations	Période	Nb d'années	Latitude	Longitude	Elévation (m)
Saïda	1977/78 - 2006/07	30	34°87N	0°15E	770
Kheiter	1978/79 - 2006/07	29	34°15N	0°67E	1000
Mécheria	1980/81 - 2006/07	27	34°93N	0°43W	1149
Naama	1991/92 - 2006/07	16	33°26N	0°30W	1166
Aïn Sefra	1977/78 - 2006/07	30	32°76N	0°60W	1058

L'évolution temporelle des paramètres climatiques est établie selon l'année agricole, de septembre à août. En l'absence de données journalières, l'analyse concernera le découpage annuel et mensuel seulement.

L'étude porte sur les paramètres précipitations et les températures qui seront caractérisés par l'écart-type, le régime pluviométrique saisonnier et le coefficient pluviométrique. Les résultats ont été comparés ou confrontés avec d'autres existants relatifs au Hautes Plaines Sud Oranaises (Cf. Bibliographique). Par ailleurs, nous devons signalés que les précipitations instantanées sont importantes, mais seront vues ultérieurement lors de l'étude des processus d'érosion. Les vents seront traités à part, étant donné leur importance dans l'étude de l'ensablement.

1 – Les précipitations :

La médiane correspond à la valeur des précipitations où 50 % des quantités sont tombées en dessous et 50 % au dessus de cette valeur.

1 - 1 – Une pluviométrie à forte variabilité :

Pour les différentes stations citées ci-dessus, nous avons calculés selon les séries relatives, la moyenne des précipitations, la médiane, l'écart type, le minima, le maxima et le coefficient de variation. Ensuite nous avons résumé les résultats établis par A. Hirche, A. Boughani et M. Salamani (2007) concernant seulement les stations de Saïda et de Mécheria pour des séries plus longues respectivement (1914-2004) et (1907-2004). Et enfin nous avons fait une comparaison entre nos résultats, et ceux de A. Hirche & al., 2007 (Tableau 1b).

Les moyennes que nous avons obtenues, sont de 330,12 mm pour Saïda, 198,76 mm pour Kheiter, 223,46 mm pour Mécheria, 186,18 mm pour Naama et 235 mm pour Aïn Sefra. Pour ce qui est des médianes, seule la station de Saïda enregistre une valeur similaire à la moyenne des précipitations. Pour le reste des stations les médianes sont plus faible que les moyennes, nous avons 187 mm à El Kheiter, 200 mm à Mécheria, 165 à Naama et 181 mm à Aïn Sefra. Cela signifie que la part des années sèches est plus importante que les années humides.

La variabilité pluviométrique est importante pour toutes les stations (Fig. 9). Elle est mesurée par le coefficient de variation (CV) qui est le quotient de l'écart type sur la moyenne, exprimé en pourcentage. Selon P. Rognon, 1996, *les coefficients de variation d'une année à l'autre sont de l'ordre de 25 à 35% en région semi-aride, de 35 à 60% en région aride. Quand aux maxima pluviométriques, ils peuvent atteindre quatre à cinq fois les minima en région semi-aride, de cinq à douze fois en région aride.* Les CV sont sensiblement identiques pour Saïda et Mécheria, avec respectivement 24,60, et 27,86 % et légèrement supérieure à Kheiter avec 36,53 %. On note une valeur plus supérieure pour Ain Séfra avec 54,43 %.

Les rapports des extrêmes (rapport maxima/minima) oscillent entre 2,67 à Mécheria et 8,22 à Aïn Sefra. Ils sont de 2,95 à Saïda, de 4,36 à Kheiter et de 2,90 à Naama. Aïn Sefra présente donc une grande variabilité. Pour ce qui est de Mécheria on constate une nette baisse dans la variabilité pendant les trois dernières décennies.

Tableau 1a : Les séries pluviométriques des cinq stations météorologique.

Stations	Période	Nb d'années	P moy.	Médiane	Ecart Type	Minima	Maxima	CV%
Saïda	1977/78 - 2006/07	30	330,12	330,20	81,22	206,1	612,5	24,60
Kheiter	1978/79 - 2006/07	29	198,76	187	72,61	83,9	366,1	36,53
Mécheria	1980/81 - 2006/07	27	223,46	200,9	62,26	129,3	345,8	27,86
Naama	1991/92 - 2006/07	16	186,18	165,15	61,38	112,2	326,2	32,97
Aïn Sefra	1977/78 - 2006/07	30	235	181	128	66	543	54,43

En comparant nos résultats avec ceux de A. Hirche & al. , 2007, nous constatons que la pluviosité moyenne annuelle calculée pour les trois dernières décennies pour les deux stations

de Saïda et de Mécheria est inférieure à celles calculées pour celles calculées sur une longue période. À Saïda la moyenne est passée de 392,1 mm sur 91 ans à 330,1 mm sur 30 ans. À Mécheria elle est passée de 263 mm sur 98 ans à 223,4 sur 27 ans. Le coefficient de variation est assez faible à Saïda (24,7%) presque similaire à celui calculé pour presque un siècle (26,7%) par A. Hirche et al., 2007. Par contre à Mécheria il a beaucoup baissé, il est passé de 42,2% (1907 – 2004) à 27,86% pour la période de 1980 à 2007. Ceci peut s’expliquer par les grands écarts entre les moyennes enregistrées sur une longue étendue. (Tableau 1a & 1b). Le rapport des extrêmes est passé de 5,39 pour la période (1907 – 2004) à 2,67 pour la période (1980-2007). Cela pourrait s’expliquer par la durée des séries étudiées. Celles étudiées par A. Hirche (2007) sont plus longues que celles que nous avons étudiées.

Tableau 1b : Les séries pluviométriques à Saïda et Mécheria d’après A. Hirche et al., 2007

Stations	Période	Nb d’années	P moy.	Médiane	Ecart Type	Minima	Maxima	CV%
Saïda	1914 - 2004	91	392,1	393,6	104,9	112,8	605,4	26,7
Mécheria	1907 - 2004	98	263	246,7	113,7	107,9	582,2	42,2

La variabilité interannuelle des précipitations devient de plus en plus apparente lorsqu’on se dirige vers le sud. Les écarts de précipitation sont considérables d’une année à une autre sur l’ensemble de la période et pour toutes les stations. Nous avons constaté que les moyennes annuelles des séries sèches, sont systématiquement en dessous de la médiane et de la moyenne de l’ensemble de la période (Fig. 9a & 9b).

Pour la station de Saïda, il s’agit d’une seule série sèche, assez courte comprise entre l’année 1996/97 et l’année 2000/01. A El Kheiter, on enregistre trois séries sèches : une située entre 1983/84 et 1987/88, une seconde plus courte entre 1991/92 et 1993/94 puis une troisième entre 1999/00 et 2001/02. A Mécheria, on enregistre une seule grande série sèche (1981/82 à 1984/85) où les moyennes annuelles des précipitations sont à la fois en dessous de la médiane et celle de la moyenne générale de la série. Une deuxième série sèche est observée entre 1996/97 et 01/02, où les moyennes sont inférieures uniquement à celle des moyennes de la série globale, elles coïncident pour un certain nombre d’année à la médiane. La station de Naama enregistre une seule série sèche, mais plus ou moins longue, elle s’étend de l’année 1997/98 à l’année 2001/02. Pour ce qui est d’Aïn Sefra, la série sèche s’étend de l’année 1977/78 à l’année 1987/88, il s’agit d’une série de dix ans, pendant laquelle les précipitations n’ont pas excédé le seuil de la moyenne de la période.

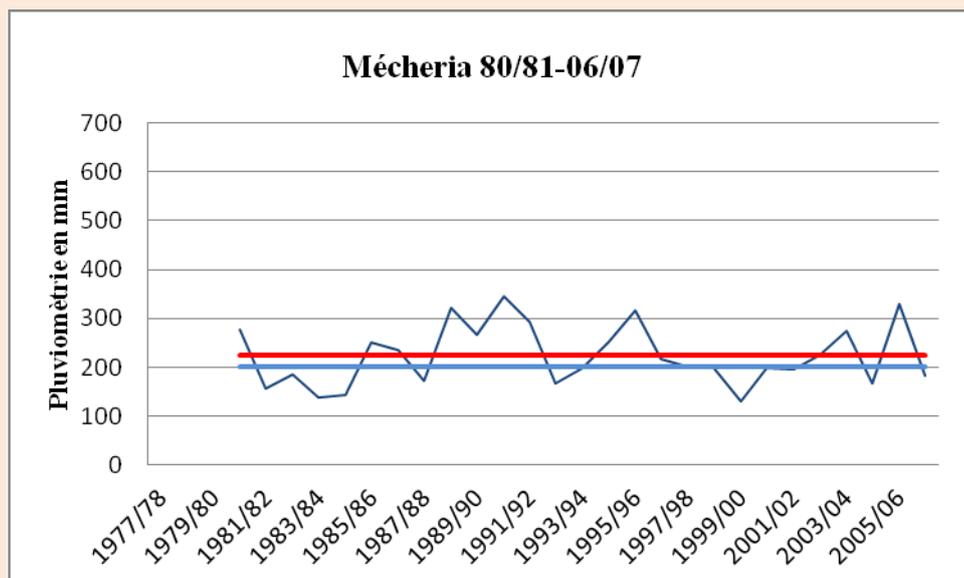
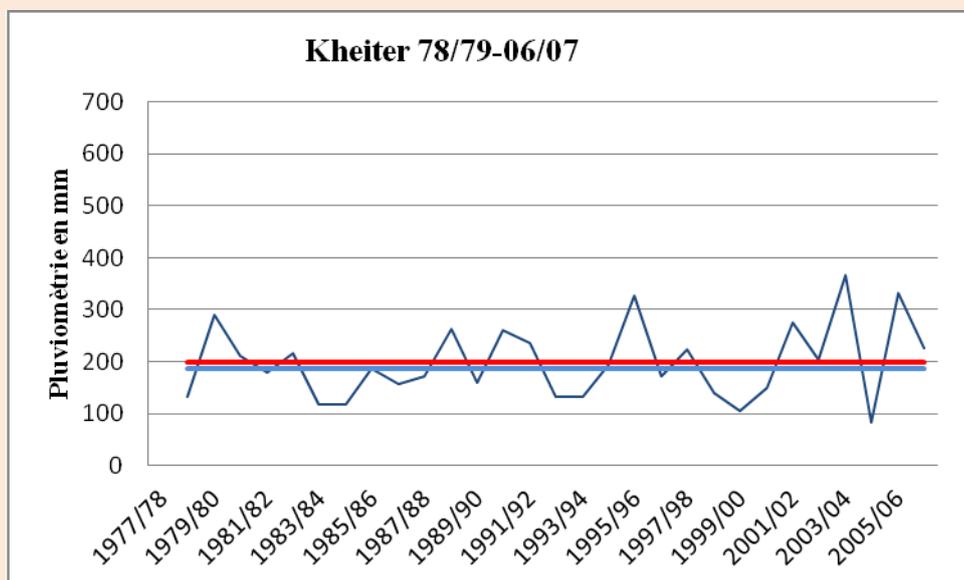
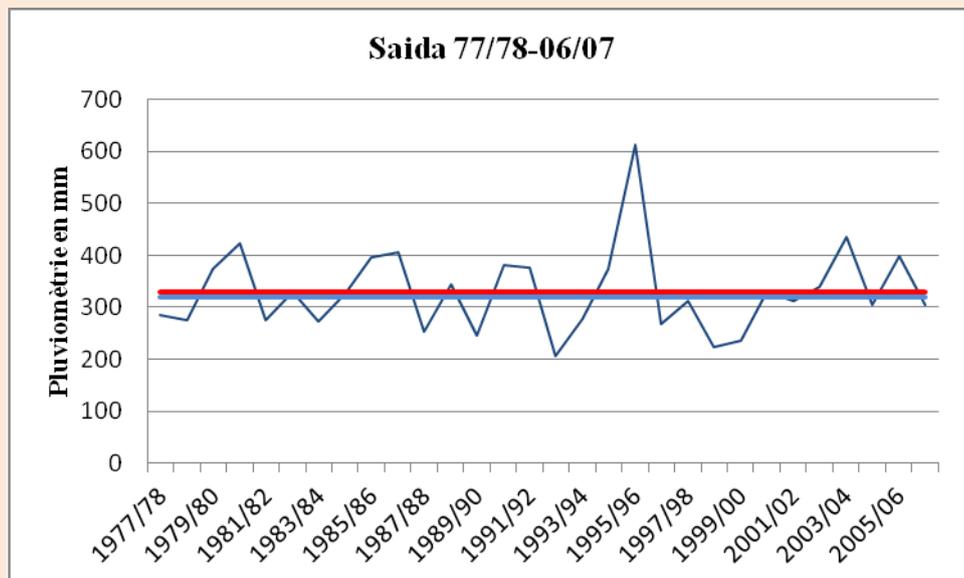


Fig. 9a : Variabilité interannuelle de la pluviométrie par rapport à la moyenne et à la médiane.

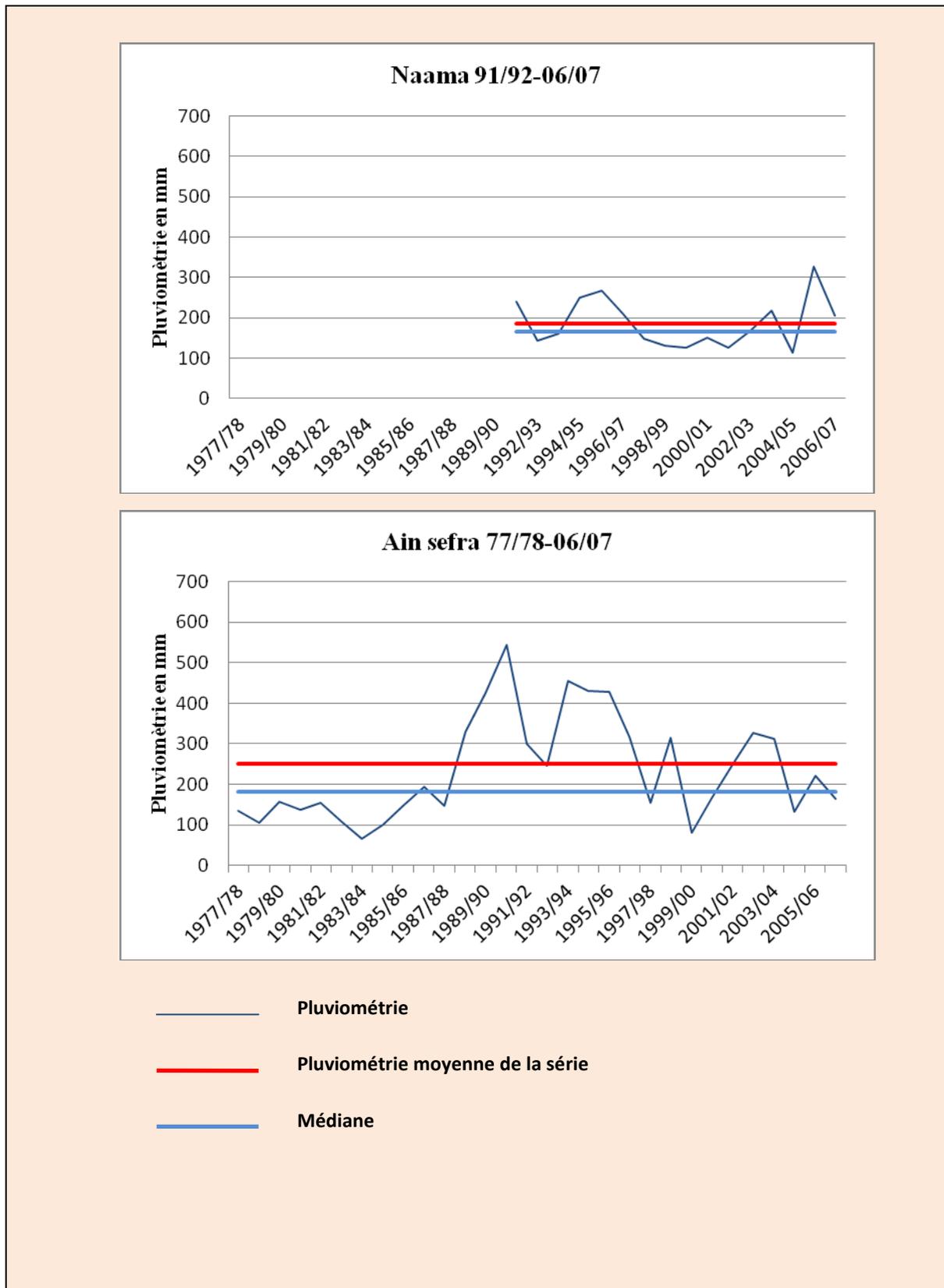


Fig. 9b : Variabilité interannuelle de la pluviométrie par rapport à la moyenne et à la médiane.

1- 2 – Le régime pluviométrique :

Dans cette analyse nous avons calculé les moyennes des précipitations mensuelles des cinq stations, pour celle de la série, celle de l'année la plus pluvieuse dans la série et celle de l'année la plus sèche. Il faut noter que les années les plus pluvieuses et les plus sèches ne sont pas forcément identiques pour les différentes stations.

En gros, l'année compte une saison sèche pendant l'été (de mai à septembre) et une saison plus arrosée pendant l'hiver (Fig. 10a, 10b & 10c).

A l'exception de Saïda où les pluies moyennes mensuelles d'octobre à mars sont relativement élevées et où celles-ci dépassent légèrement les 30 mm, les moyennes mensuelles des autres stations n'excèdent rarement les 30 mm. C'est uniquement pendant l'année la plus humide de chaque station que les moyennes mensuelles des pluies peuvent atteindre des quantités importantes. Par exemple à Kheiter l'année la plus pluvieuse de la série correspond à 1979-80, les mois ayant reçu relativement les plus grandes quantités sont septembre, octobre et novembre avec respectivement 91 mm, 55,5 mm et 28 mm, ensuite viennent les mois de mars et avril avec respectivement 31 mm et 38,5 mm. Pour les stations de Mécheria et Ain Séfra l'année la plus pluvieuse est la même, il s'agit de l'année 1990-91. Le mois le plus arrosé à Mécheria est mars avec 135 mm, en seconde position viennent les mois de janvier, février et mai avec pratiquement la même quantité soit 32 mm. Pour ce qui est d'Ain Séfra les mois les plus arrosés sont février, mars, avril, mai et juin avec respectivement 52 mm, 164 mm, 106 mm, 51 mm et 79 mm. En période moyenne, on remarquera que les trois mois les plus pluvieux suivent directement la saison sèche ; la transition est brutale. On note toujours un pic en octobre ou en novembre principalement à Mécheria. De plus Aïn Sefra et Mécheria présentent un deuxième pic en mars avec respectivement 32 mm et 30 mm. Cependant à Naama, on enregistre un pic en septembre, par contre à Kheiter, son second pic est en Novembre. Les quatre stations présentent des mois sans pluies entre décembre et février. Aïn Sefra, fait l'exception en janvier, où un léger redressement est signalé. Les précipitations reprennent vers mars et avril pour ensuite baisser à partir du mois de mai. L'année la plus sèche pour chaque station est caractérisée par de très faibles moyennes mensuelles des pluies, pratiquement tout le long de l'année. Pour Aïn Sefra par exemple, l'année 1983/84 n'a reçu que 34,3 mm en mai.

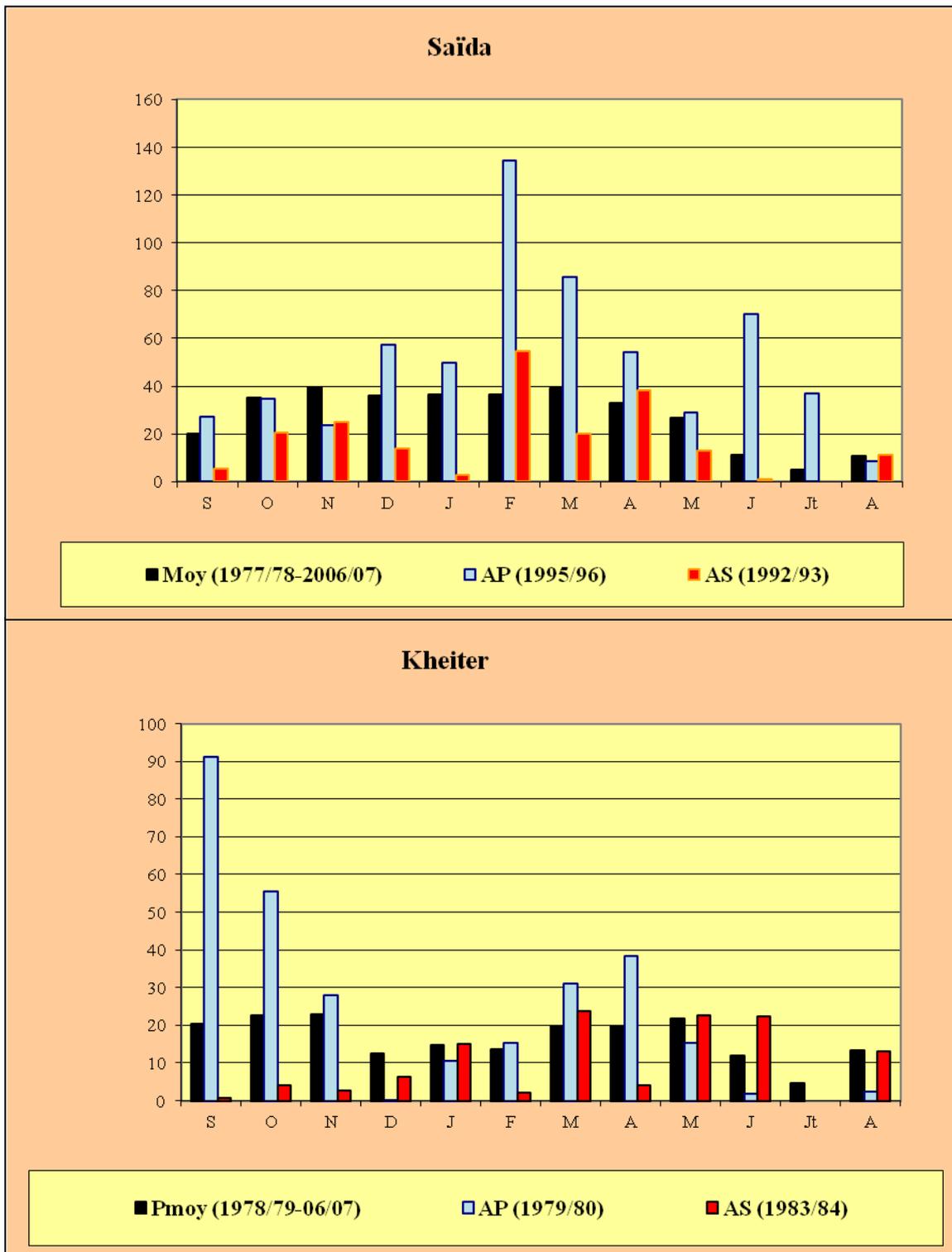


Fig. 10 a : Régime pluviométrique annuelle à Saida et Kheiter par période moyenne, par année pluvieuse la plus et par année la plus sèche de la série. (Moy : période moyenne ; AP : année pluvieuse ; AS : année sèche).

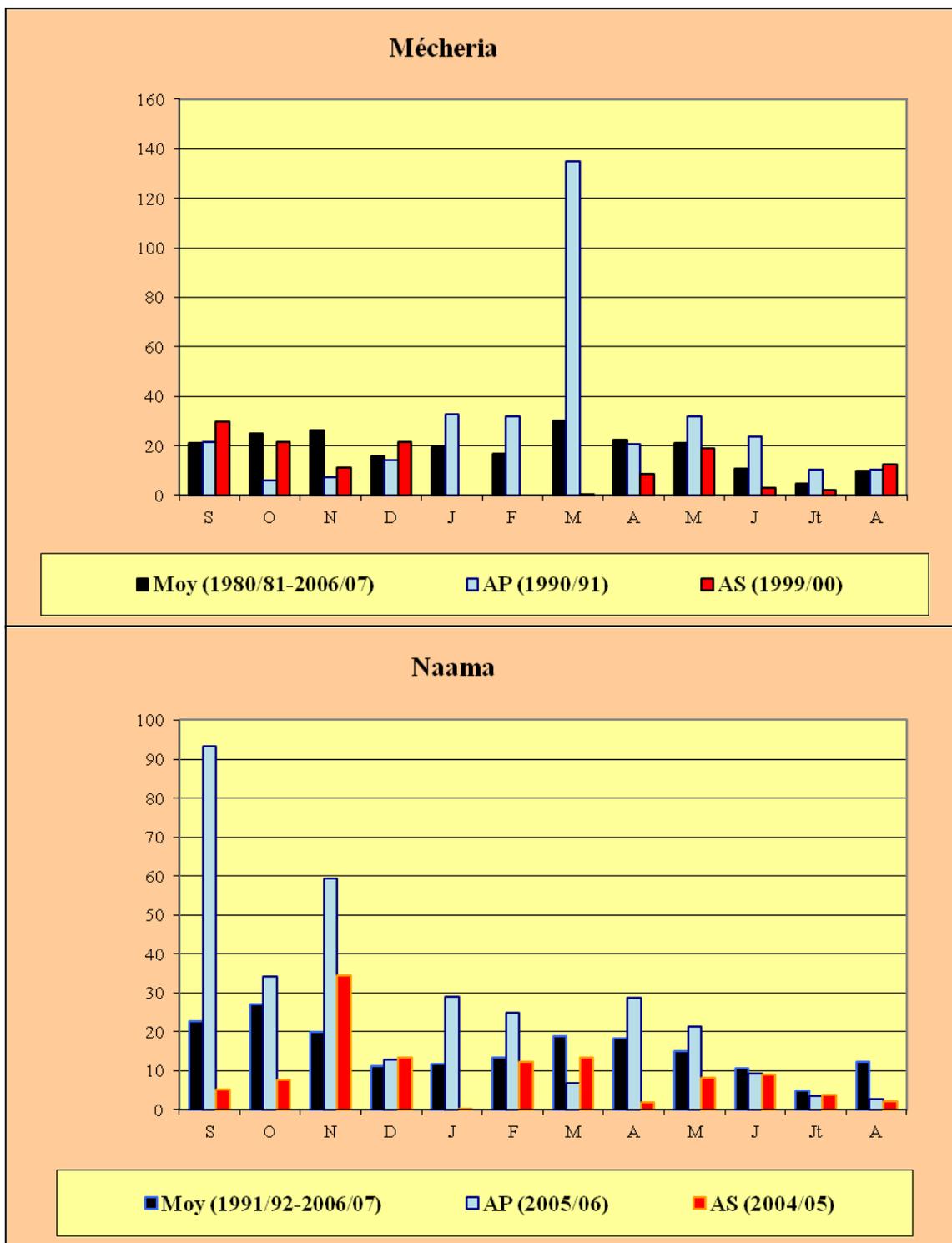


Fig. 10 b : Régime pluviométrique annuelle à Mécheria et Naama par période moyenne, par année la plus pluvieuse et par année sèche la plus sèche de la série. (Moy : période moyenne ; AP : année pluvieuse ; AS : année sèche).

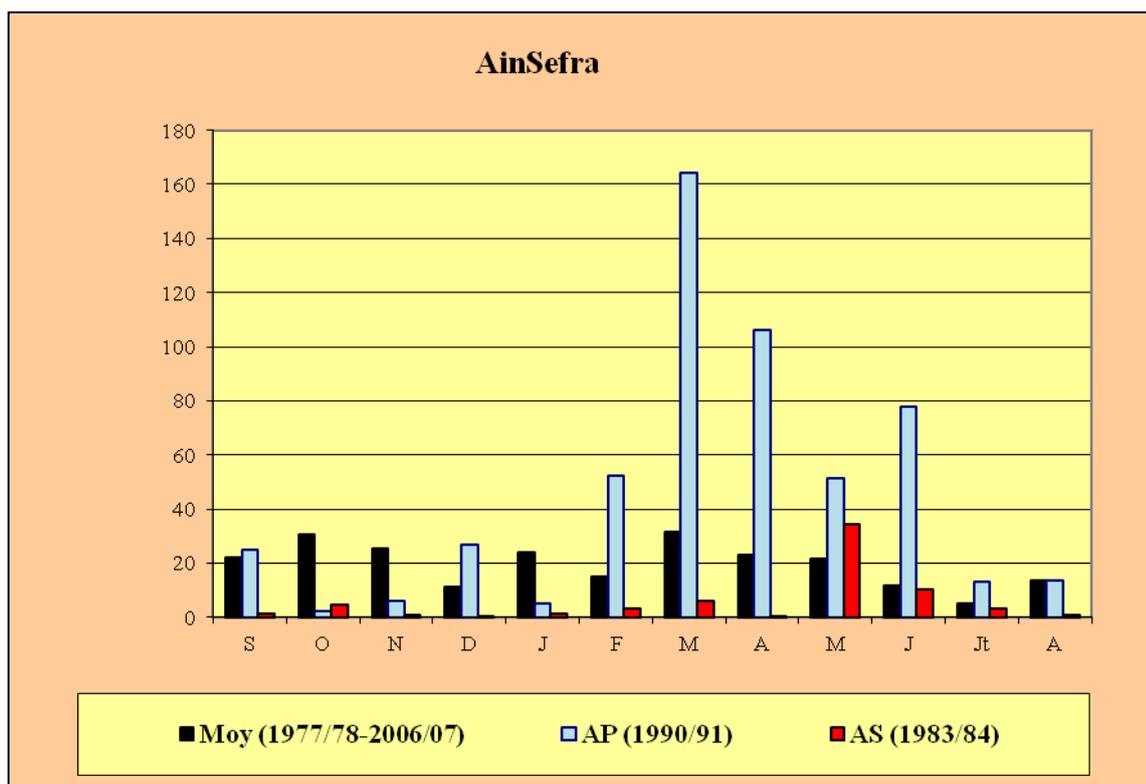


Fig. 10 c : Régime pluviométrique annuelle à Aïn Séfra par période moyenne, par année la plus pluvieuse et par année sèche la plus sèche de la série. (Moy : période moyenne ; AP : année pluvieuse ; AS : année sèche).

2 – Le paramètre température :

Pour les températures, nous avons préféré travailler seulement avec les deux stations de Mécheria et de Aïn Sefra qui présentent des données anciennes de P. Seltzer, 1946 (1913 – 1938) et des données récentes (1977 -2007) pour la station d’AïnSefra et (1980 – 2007) pour la station de Mécheria. Nous avons donc comparé les anciennes données avec ceux récents.

Ce que nous avons observé, c’est qu’il y a une « légère hausse » des températures pendant la période actuelle, que ce soit à Mécheria ou à Aïn Sefra (Fig. 11).

Néanmoins, les mois les plus chauds sont juillet et août. Mais globalement le mois de janvier reste le plus froid pour les deux périodes et juillet le mois le plus chaud. La comparaison entre les températures aux précipitations, se fera ultérieurement dans l’étude des sécheresses saisonnières.

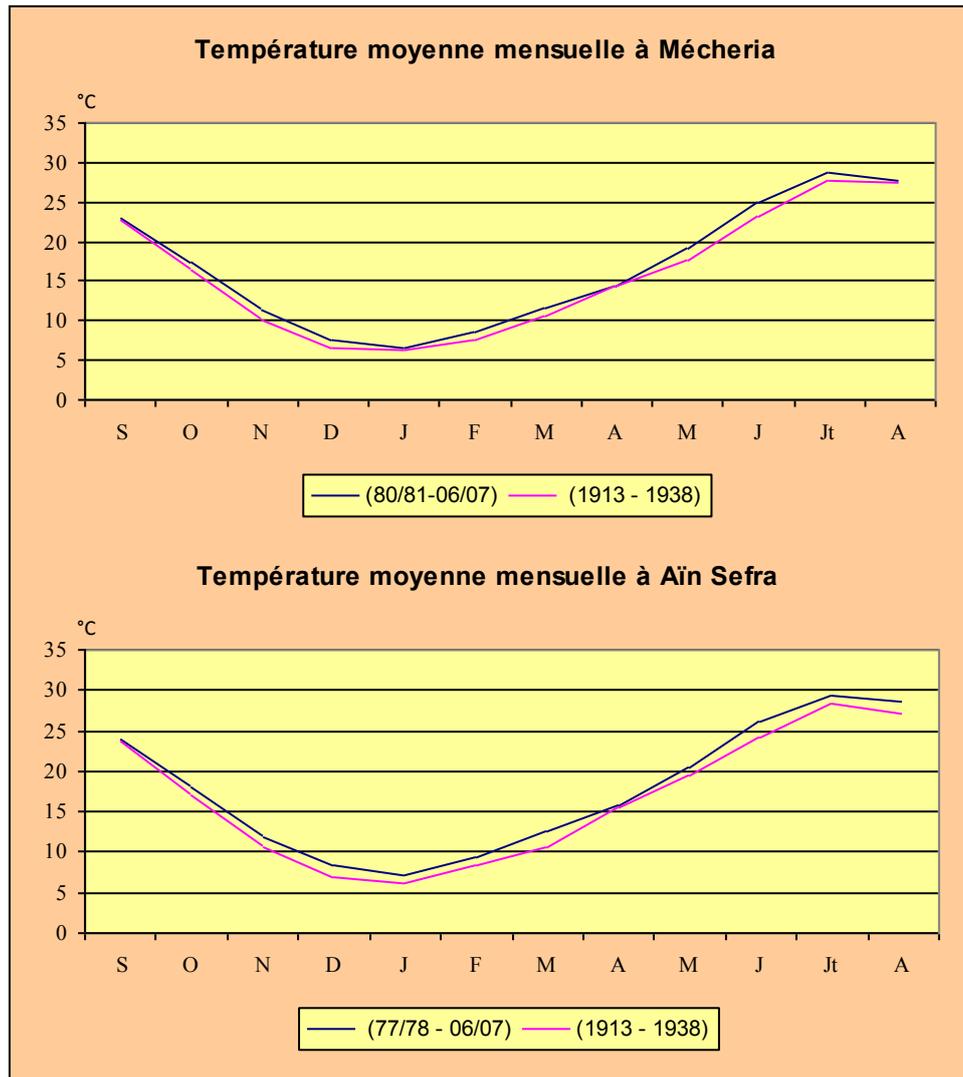


Fig. 11 : Le régime thermique à Mécheria et Aïn sefra.

3 – La sécheresse :

Le climat peut être une cause directe de la dégradation des milieux, plusieurs auteurs mettent l'accent sur deux facteurs climatiques, la pénurie d'eau (aridité) ou ses fluctuations dans le temps (sécheresse), affectent tout particulièrement les équilibres biologiques puisque l'eau est une condition primordiale de l'existence des êtres vivants. D'autant plus que l'aridité représente un risque permanent de salinisation des sols irrigués (évaporation intense) et d'érosion éolienne. D'après P. Rognon, 1996, *la sécheresse persistante est un risque limité dans le temps mais qui agit directement sur l'ensemble du milieu puisque son impact se transmet de la pluie (sécheresse climatique) au sol (sécheresse édaphique), aux produits de la terre (sécheresse agricole) et aux nappes aquifères (sécheresse hydrologique).*

3 – 1 Sécheresse saisonnière :

« Pour une station disposant d'une longue série de données pluviométriques, une année sèche se situe au dessous de la moyenne (ou de la médiane) de l'ensemble des valeurs de la série » (P. Rognon, 1996).

Nous avons pu déterminer les saisons sèches selon deux approches :

- A l'aide des diagrammes ombrothermiques.
- A l'aide du bilan hydrique.

Dans la première approche, nous avons utilisé les diagrammes ombrothermiques de Bagnoulds et Gaussen. Ces diagrammes permettent la distinction des saisons sèches, des saisons à pluie.

Nous avons réalisé des diagrammes ombrothermiques pour les différentes stations et selon la période moyenne, l'année la plus arrosée et l'année la plus sèche pour chaque station séparément (Fig. 12).

Le calcul fait pour l'ensemble de la série, nous permet d'avoir une saison sèche de 5 mois à Saïda (de mai à septembre), de 8 mois à El Kheiter et Naama (de mars à octobre) et de 7 mois à Mécheria et Aïn Sefra (d'avril à octobre).

Pour ce qui est de l'année la plus pluvieuse de chaque station. Il n'y a que Saïda qui enregistre une bonne répartition de la pluie et la saison sèche est réduite à 3 mois seulement, de juillet à septembre. Le reste des stations ont vu leurs pluies concentrées sur quelque mois. A Kheiter, on note une saison sèche de 4 mois de mai à août de plus du mois de décembre qui est sec. Mécheria, enregistre une saison sèche de 6 mois de juin à novembre. La même durée est enregistrée à Naama, mais décalée de mars à août. A Aïn Sefra, la saison sèche est de 5 mois, elle s'étend de juillet à novembre.

Concernant l'année la moins arrosée pour chacune des stations étudiées, Saïda, connaît la saison sèche la plus courte de 6 mois, elle s'étend de mai à octobre. Pour les autres stations la saison sèche dure pratiquement toute l'année, à l'exception des mois de janvier et de mars pour El Kheiter, du mois de décembre pour Mécheria, des mois de novembre et de décembre pour Naama et du mois de mai pour Aïn Sefra.

En conclusion, à l'exception des années les plus humides des différentes stations, les saisons sèches sont plus longues et s'étendent au-delà de « la saison d'été », elles peuvent atteindre 8 à 10 mois selon les années.

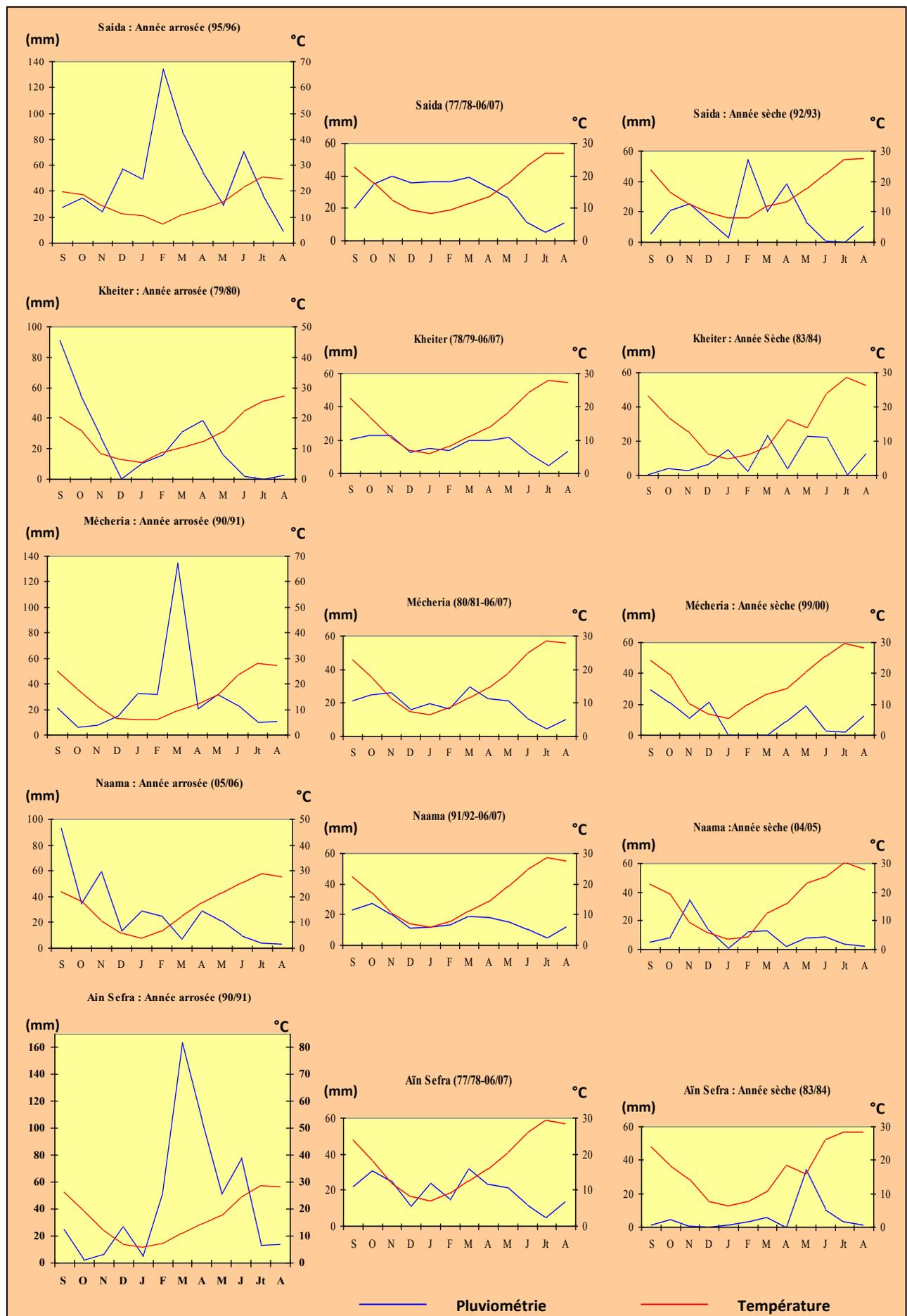
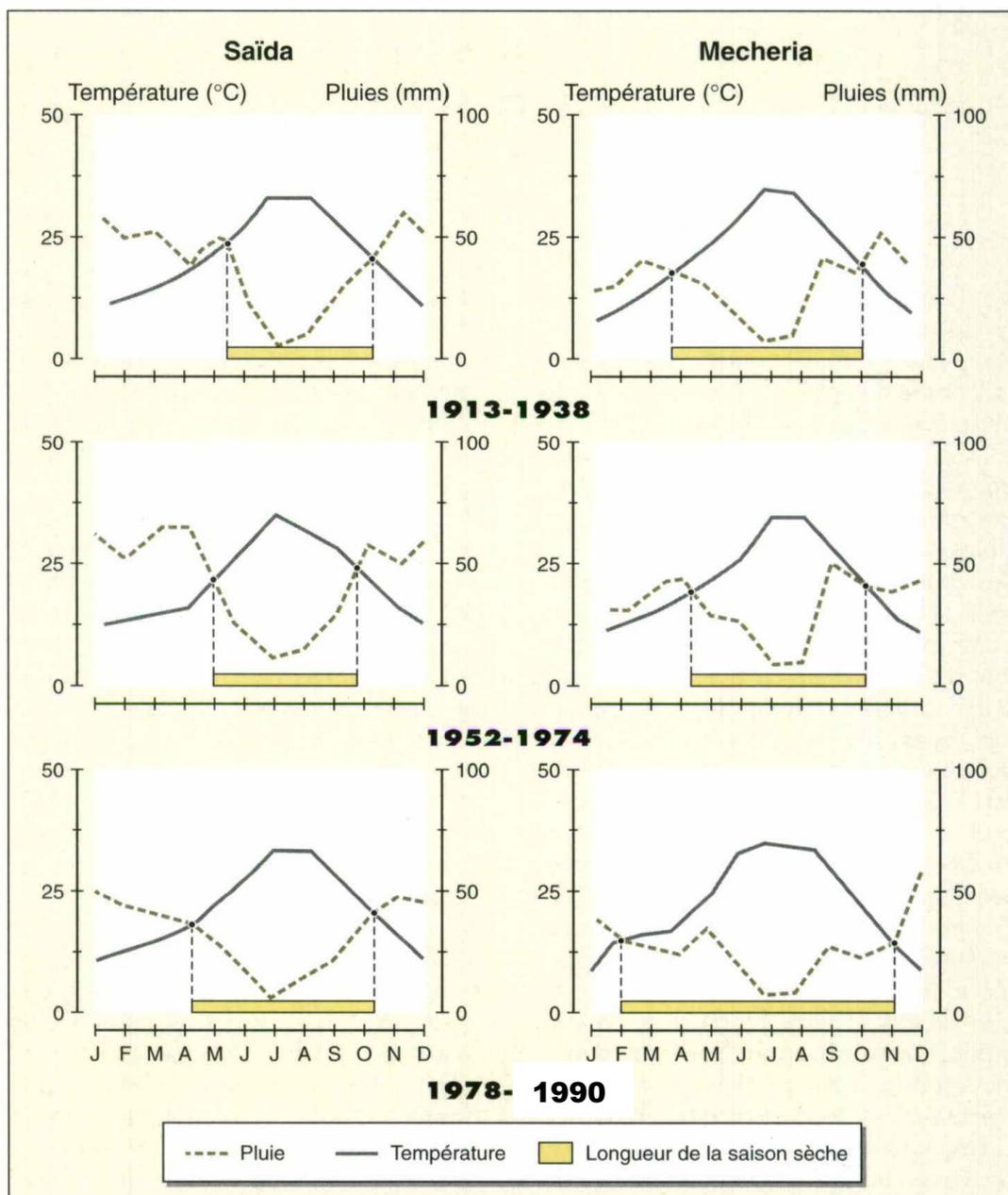


Fig. 12 : Diagrammes ombrothermiques mensuels dans les différentes stations étudiées, selon l'année la plus arrosée, la moyenne de la période et l'année la plus sèche.

D'après les diagrammes établis pour les deux stations de Saïda et Mécheria, par Y. Djellouli et P. Daget (1993), la durée de la saison sèche aurait augmenté de deux mois à Saïda et de trois mois à Mécheria, entre 1978 – 1990 par rapport aux périodes allant de 1913 à 1938 et de 1952 à 1974. Cette dernière période allant de 1978 à 1990, enregistre une saison sèche de huit mois à Saïda et de 10 mois à Mécheria. Et afin de faire une comparaison avec les diagrammes établit par Y. Djellouli et P. Daget, nous avons dressé deux autres diagrammes pour la période 1978 - 2007 pour Saïda et 1980 - 2007 pour Mécheria (Fig. 13), et on peut constater que la durée de la saison sèche est plus longue pour la série que nous avons étudiée par rapport à celles des autres séries (1913 - 1938 et 1952 - 1974), alors qu'elle a légèrement reculé de deux mois par rapport à la période allant de 1978 à 1990 et cela s'est produit uniquement à Mécheria, où la saison sèche s'étale sur environ huit mois d'avril à la mi-octobre.

Nous devons remarquer que la période que nous avons étudiées s'étale à l'année 2007 soit 17 ans de plus par rapport à l'année 1990. Ce qui peut facilement nuancer la comparaison entre les résultats des deux périodes (1978 - 1990 et 1980 - 2007).

- A



- B

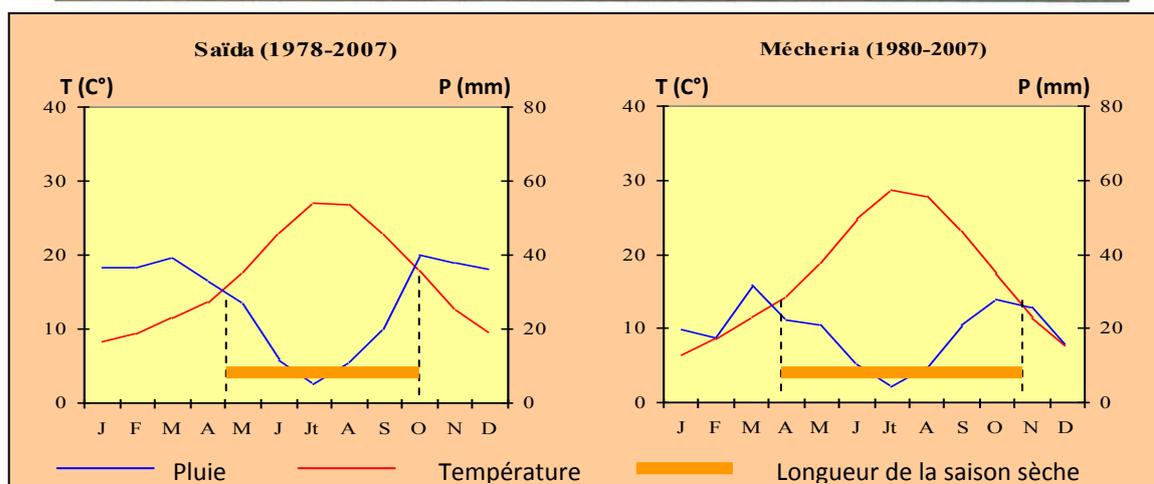


Fig. 13 : Modification de la durée de la saison sèche dans les steppes oranaises : - A : entre les périodes 1913-1938, 1952-1974 et 1978-1990 en utilisant les diagrammes ombrothermiques (d'après Djellouli et Daget, 1993) - B : entre 1978-2007 pour Saïda et 1980-2007 pour Mécheria.

Dans la deuxième approche, nous avons utilisé la méthode de Thornthwaite, afin de calculer l'évapotranspiration potentielle ainsi que les valeurs moyennes de l'évapotranspiration réelle, du déficit agricole, de l'excédent et de l'écoulement.

Nous, nous sommes basés sur les données de précipitations et des températures des cinq stations citées plus haut.

Pour le calcul de l'ETP, il faut utiliser les paramètres suivants :

T : température moyenne mensuelle en degré Celsius.

i : indice mensuel (d'après les tables).

ETP : évapotranspiration potentielle brute en mm.

c : facteur de correction.

ETP1: évapotranspiration corrigée en mm.

P : Précipitations.

Une fois l'ETP brute calculée. Nous avons établi des tableaux sur le bilan de l'eau d'après Thornthwaite en tenant compte de la correction de P au cours de l'année. Ainsi, exceptionnellement $P = E$, toute la pluie est donc reprise par l'évapotranspiration, le bilan de l'eau du sol n'est pas modifié donc $ETP = P = ETR$.

Quand, $P > ETP$ l'évapotranspiration va se réaliser normalement $ETP = ETR$, mais la réserve utile (RU) étant saturée, $P - ETR = P + RU$. Quand P est inférieure à ETP, et les réserves utiles (RU) épuisées, l'évapotranspiration ne pourra se réaliser que sur la pluie dans ce cas $ETP = P$, il y aura un déficit du bilan de l'eau égal à $ETP - ETR$ ou $ETR - E$.

Le calcul du bilan hydrique sur une période moyenne pour chaque série des différentes stations, nous permet de mettre l'accent sur la part de l'écoulement et le déficit moyen.

Les résultats portés sur les diagrammes (Fig. 14), montrent l'importance de la longueur de la période sèche. Elle correspond au nombre de mois où les stocks « hydriques » sont épuisés. Il y a que la station de Saïda qui enregistre une période d'épuisement des stocks « hydriques » assez courte, qui va du mois d'avril à octobre. Les autres stations ont une durée d'épuisement des stocks « hydriques » plus longue, de février à novembre pour El Kheiter et Naama et de mars à novembre pour Mécheria et Aïn sefra.

La reconstitution des stocks « hydriques », est très faible à négligeable pour la plus part des stations à l'exception de Saïda où elle dure de novembre à mars avec un surplus d'un mois seulement. Pour les autres stations, la reconstitution des stocks « hydriques » dure du mois de décembre à février soit 11 mois. Elle est presque inexistante à El Kheiter et Naama. Le déficit en eau est considérable dans les différentes stations, il dure longtemps soit 8 mois, et s'étend le plus souvent de mars à octobre.

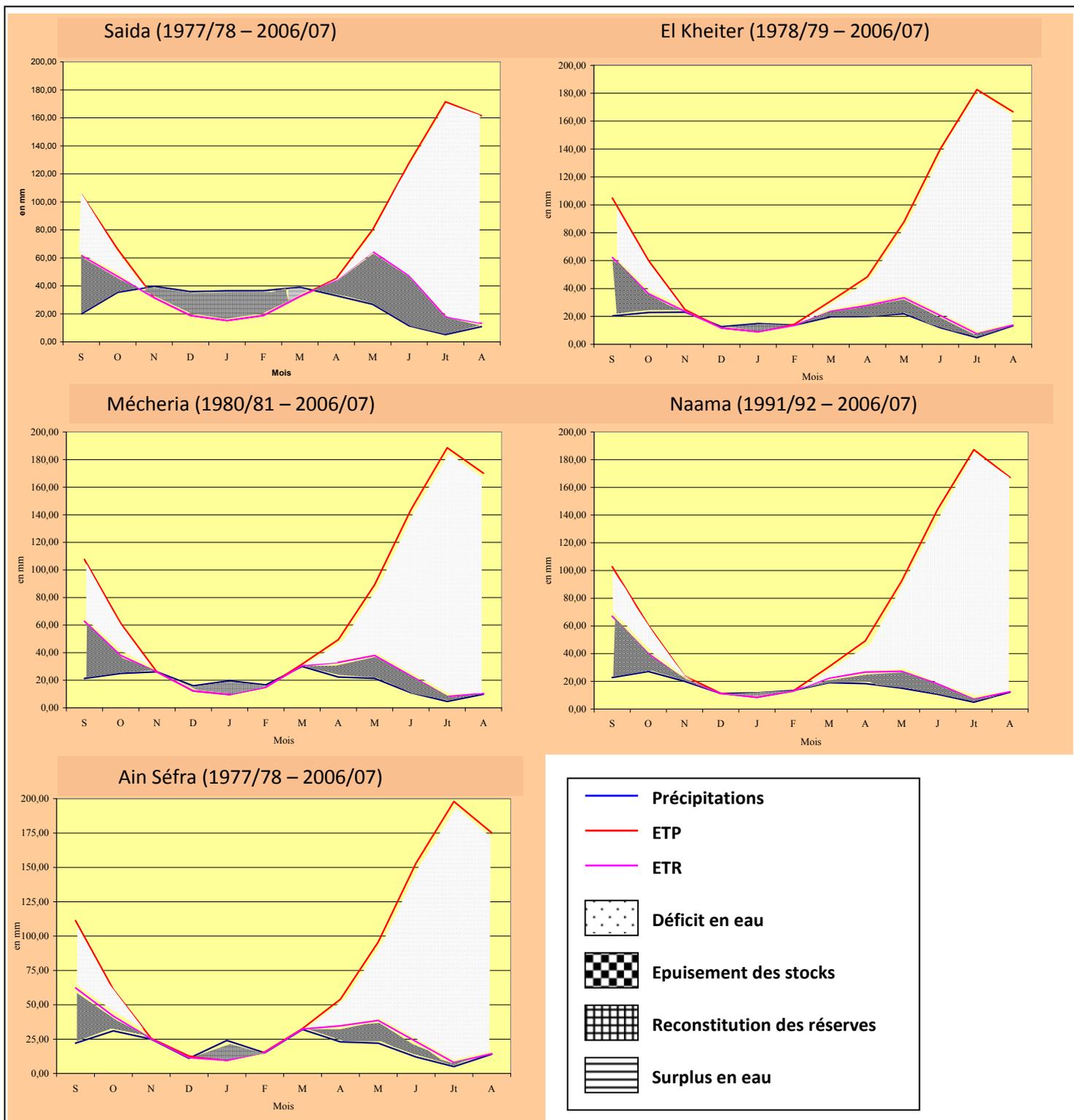


Fig. 14 : Le bilan hydrique moyen des cinq stations météorologiques.

3 - 2 **Distribution des années sèches et humides** : (Les phases de sécheresse).

« La sécheresse au cours de l'année est à la fois une donnée permanente du climat (la saison sèche) et un risque de dégradation, dans la mesure où sa durée, son amplitude et son extension spatiale varient à l'échelle des décennies » (P. Rognon, 1996).

Les définitions d'une année sèche et d'une année humide sont très diverses. Une année humide ou sèche peuvent être définies par rapport aux écarts types ou en pourcentage par rapport à la médiane. Dans ce travail, une année sèche et une année humide sont déterminées par rapport à l'écart à la moyenne. C'est ainsi que nous utilisons un pourcentage par rapport à la moyenne, à partir duquel l'année peut être soit humide soit sèche, particulièrement la version Y. Le Goff, (1985). Cet auteur considère qu'une année est normale quand l'écart à la moyenne ne dépasse pas 10%. Quand il est au-delà, c'est une année humide et quand il est en deçà c'est une année sèche. Quand aux classes choisies pour la réalisation des diagrammes traitant de la distribution et la fréquence des sécheresses pluriannuelles nous nous sommes inspirer du travail de (P. Rognon, 1996).

Il apparaît pour l'ensemble des stations que le nombre d'années sèches est généralement plus élevé que celui des années humides (Tableau 2 et Fig. 15a & 15b). Par contre les années normales sont moins fréquentes. Ceci dit que les stations étudiées connaissent soit des années sèches soit des années pluvieuses. Les pluviométries ont plutôt une tendance irrégulière.

Tableau 2 : Tableau synoptique des séquences sèches, humides et normales pour l'ensemble des stations météorologiques.

	Années moyennes	Années humides	Années sèches	Total
Saïda	4	11	15	30
Kheiter	4	11	14	29
Mécheria	3	10	14	27
Naama	0	7	9	16
Aïn Sefra	2	11	17	30

Pour les cinq stations étudiées, la distribution est très inégale par rapport à la moyenne trouvée pour chaque série. A Saida sur 30 ans, nous avons 17 années en dessous de la moyenne et 13 ans en dessus. A Kheiter sur une période de 29 ans, 16 années sont dessous de la moyenne (dont 9 à moins de 150 mm) et 13 ans en dessus (dont 3 à plus de 300 mm). A Mécheria, nous avons 15 ans sur 27 années en dessous de la moyenne (dont 7 à moins de 150 mm) et 12 sont en dessus (dont 4 à plus de 300 mm). A Aïn Séfra, on enregistre 18 ans qui sont inférieures à la moyenne sur une période de 30 ans (dont 10 à moins de 150 mm) et 12 ans sont en dessus (dont 10 à plus de 300 mm) : les années sèches sont donc nettement plus

accentuées que les années humides. La moyenne dépend étroitement de la période de référence et elle présente souvent une nette dissymétrie entre le nombre d'années sèches et d'années humides lorsque cette période comporte une ou plusieurs années exceptionnelles soit sèches, soit humides (Fig. 15 a & 15b)

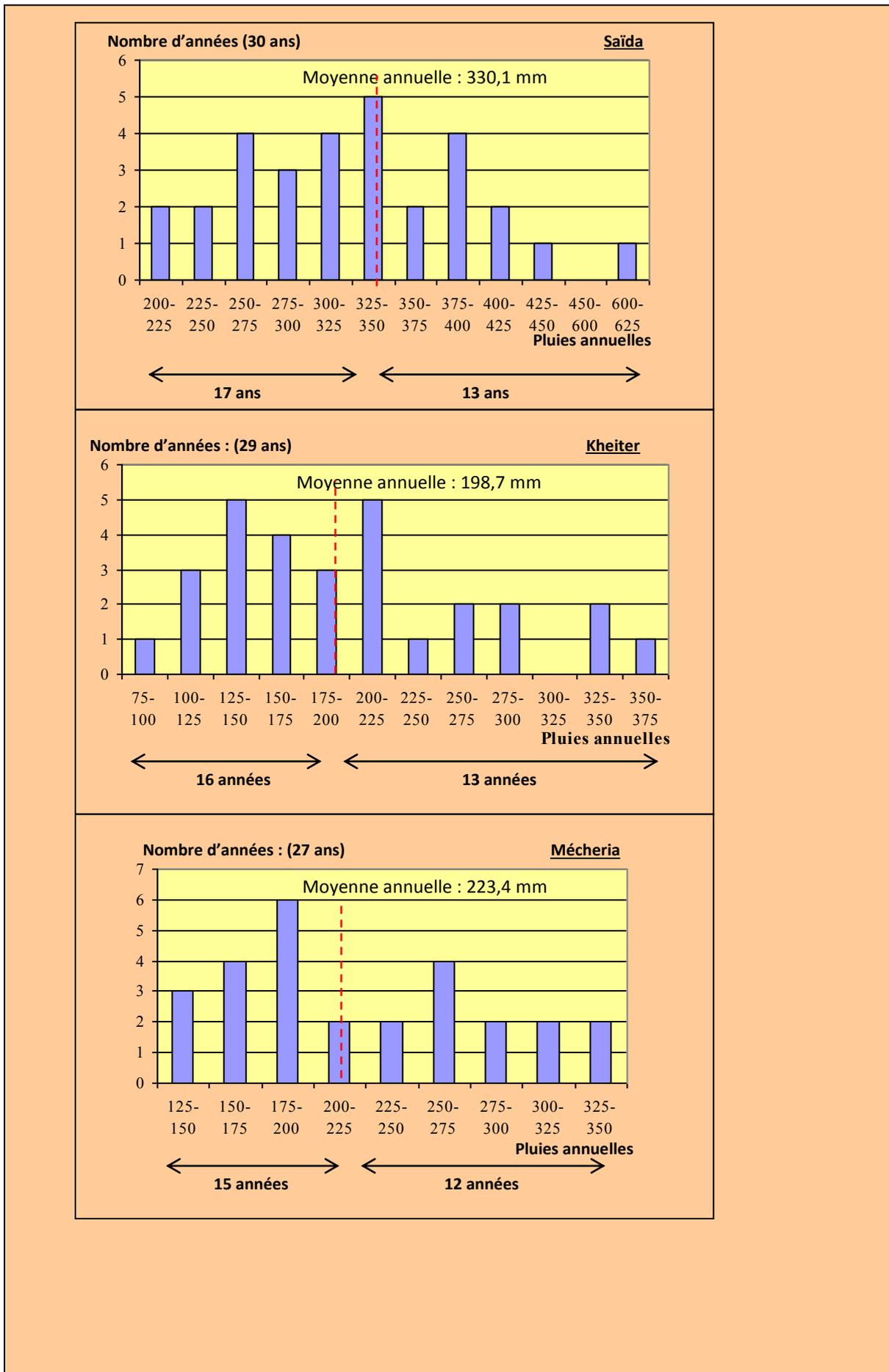


Fig. 15a : La distribution et la fréquence des sécheresses pluriannuelles dans les cinq stations.

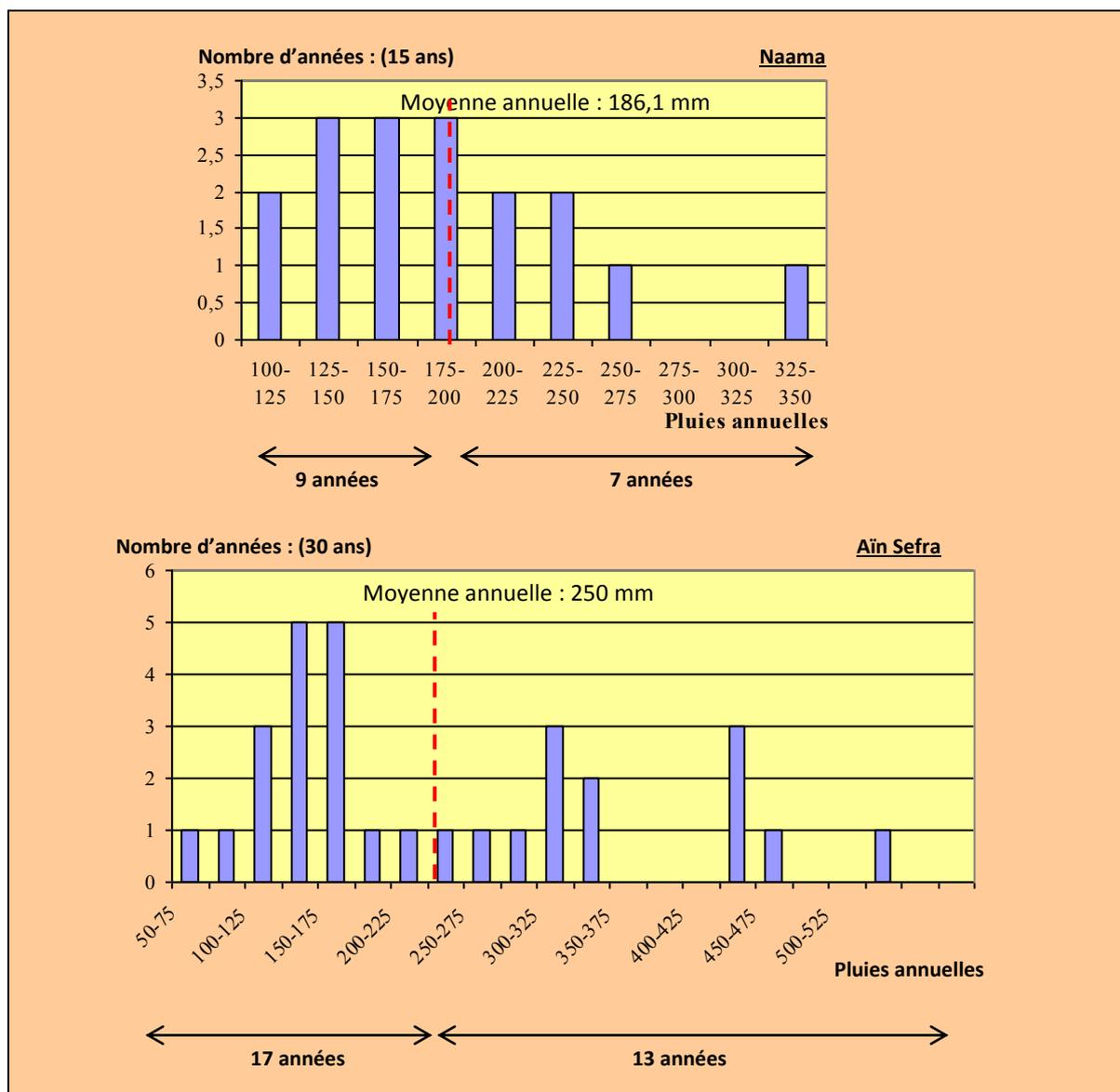


Fig. 15b : La distribution et la fréquence des sécheresses pluriannuelles dans les cinq stations.

Une année sèche a un effet différent selon qu'elle succède à une autre année sèche ou humide. D'ailleurs Aïn Sefra est la station qui est la plus affectée par la sécheresse. On note, 11 années successives de sécheresse entre la période 1977/78 et 1987/88 de plus de trois années sèches consécutives entre 2004/05 et 2006/07. La station de Naama, bien que la série étudiée se limite à 16 ans, on enregistre en effet 6 années de sécheresse qui se succèdent depuis l'année 1997/98 à l'année 2002/03. A Mécheria on assiste à deux périodes plus ou moins longue de sécheresse : la première dure 5 années de l'année 96/97 à l'année 00/01, la seconde s'étend sur 4 ans et va de l'année 80/81 à l'année 84/85. C'est à Saïda et Kheiter où la durée de sécheresse se limite à une seule période remarquable. Il s'agit d'une période de 4 années successives pour Saïda entre 96/97 et 99/00 et d'une période de 3 ans à El Kheiter

entre 98/99 et 00/01. On note aussi la présence de période de sécheresse de deux années, il existe deux à Saïda, trois à Kheiter, une à Mécheria et une à Naama (Fig. 16).

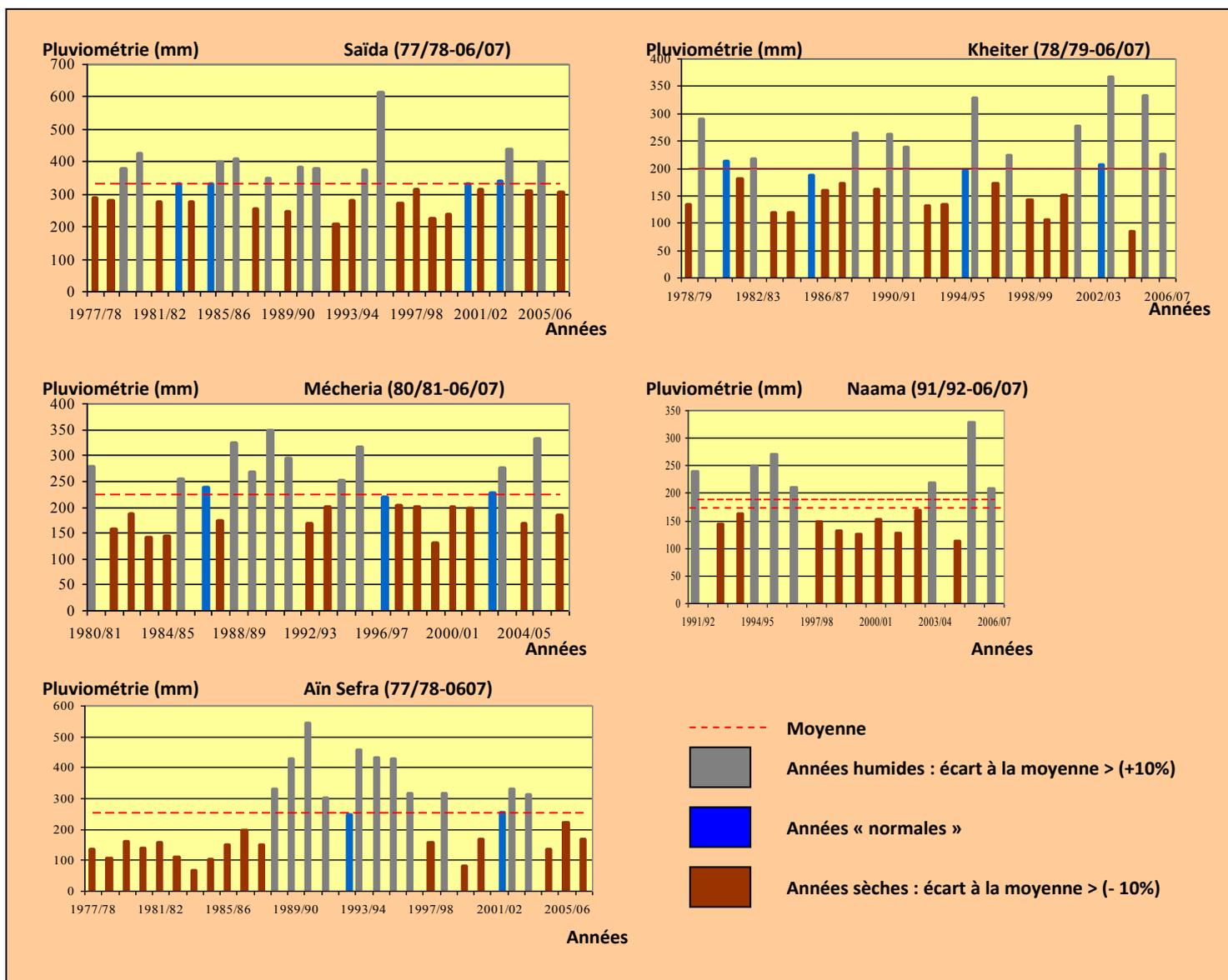


Fig. 16 : Les sècheresses pluriannuelles déterminées par l'écart de la pluviométrie annuelle par rapport à la moyenne.

Nous avons comptabilisé les séquences sèches en les ventilant en classes de fréquences. Nous avons ainsi observé des séquences allant de 1 année à 11 ans au maximum. Nous avons ensuite dénombré le nombre de séquences par station et par période. Et enfin nous avons calculé la moyenne arithmétique pondérée pour chaque station. Les résultats sont consignés dans le tableau 3. Ils montrent que généralement la moyenne des séquences sèches oscille entre 1,5 et 4,25 années en allant du nord vers le sud. La station de Saïda, plus arrosée

et septentrionale, semble être relativement épargnée par la rigueur de ces années de sécheresse. Les séquences sèches dépassent rarement les 4 années. Nous pouvons néanmoins avoir exceptionnellement des séquences de 11 années. C'est la station d'Aïn Sefra qui est concerné par la séquence de 11 années. A Mécheria on note une séquence de 4 années et une autre de 5 années. A Naama on enregistre une séquence de 6 années (Tableau 3).

Pour l'ensemble des stations les séquences sèches oscillent entre 1,5 et 4,25 années en allant du nord vers le sud. La station de Saïda, plus arrosée et septentrionale, semble relativement épargnée par la rigueur de ces années de sécheresse. Nous avons donc pu constater deux types de sécheresses pluriannuelles : les cas isolés et les sécheresses persistantes, en rapport avec les variabilités pluviométriques.

Tableau 3 : Fréquence des années sèches dans les cinq stations météorologiques.

Nombre d'années par séquence	Saïda	Kheiter	Mécheria	Naama	Aïn Sefra
	Fréquences des années sèches				
	77/78- 06/07	78/79- 06/07	80/81- 06/07	91/92- 06/07	77/78- 06/07
1	7	5	3	1	1
2	2	3	1	1	1
3	0	1	0	0	1
4	1	0	1	0	0
5	0	0	1	0	0
6	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0
-	-	-	-	-	-
11	0	0	0	0	1
Nombre moyen d'années par séquence sèche.	1,5	1,55	2,33	3	4,25

CONCLUSION.

Les Hautes Plaines Sud Oranaises se distinguent par un climat méditerranéen semi aride à aride, caractérisé par une variabilité pluviométrique importante, celle-ci devient de plus en plus apparente lorsqu'on se dirige vers le sud. Les écarts de précipitation sont considérables d'une année à une autre.

La reconstitution des stocks « hydriques », est très faible à négligeable pour la plus part des stations et par conséquent un déficit en eau très accentué qui s'annonce à partir du mois de mars.

L'irrégularité du climat se traduit par des sécheresses récurrentes. Il apparaît pour l'ensemble des stations que le nombre d'années sèches est généralement plus élevé que celui

des années humides. La tendance actuelle montre une poursuite du déficit pluviométrique ou baisse de la pluviométrie.

Nous devons savoir que la sécheresse, n'est pas forcément l'agent principal de dégradation du couvert végétal, car nous devons reconnaître que l'action anthropique qui se traduit par une mauvaise gestion des ressources, qui est le plus souvent derrière la dégradation des espaces steppiques.

IV - UN RESEAU HYDROGRAPHIQUE ENDOREIQUÉ.

Afin de compléter cette description du milieu naturel, on donne ici un bref aperçu de l'hydrologie et du type d'écoulement dans la région.

Le réseau hydrographique au niveau des Hautes Plaines est endoréique. Il est peu développé et débouche souvent dans les dayas, ou vers Sebkhate Naama, zones d'évaporation.

Les oueds sont cependant assez courts, peu sinueux et à écoulement superficiel. Ils ont un fond plat et des berges mal dessinés. Ce qui explique la faiblesse de la pente du cours d'eau et la présence de cuvettes endoréiques (dayas).

Hydrologiquement, les cours d'eau ne sont pas pérennes et ne coulent, de manière épisodique, qu'en périodes pluvieuses.

Il faut souligner que le réseau hydrographique est relativement dense en amont des bassins pour drainer suffisamment les eaux précipitées sur les hautes montagnes, contrairement à la partie aval où les terrains sont plus ou moins plats.

Au nord, au niveau de la plaine de Naama l'interfluve de Rokbate el Harchaïa divise le réseau hydrographique en deux parties : l'une à l'ouest et l'autre à l'est.

Dans la partie ouest, les cours d'eau situés du côté de Horchaïa déversent à Dayet el Amarna. Vers l'extrémité ouest de la plaine, l'oued el Korima et l'oued el Kherba se rejoignent vers le nord et donnent ainsi naissance à oued el Adjedar. Ce dernier déverse vers Mekmène Abiod et Mekmène El Mrir. Ces Mekmènes sont situés à l'ouest de Djebel Antar. Au sud de la plaine aux alentours d'Aïn Benkhilil, les oueds débouchent à Haoud Daïra, il s'agit des oueds Zemri, El Biod et Taoussara.

Dans la partie est les cours d'eau en provenance du versant ouest de djebel Melah arrivent tous à Senkhate Naama.

Vers le sud de Naama au niveau du couloir orographique oriental se distingue deux sous bassins versants dont les affluents divergent du côté de Mékalis :

Le premier, se dirige vers le nord. Ces cours d'eau en provenance du versant ouest de Djebel Souiga et de Djebel el Hadjrate Toul s'acheminent vers Haoud er Remad.

Le deuxième constitue un bassin orienté vers le sud pour former l'oued Tirkount, ce dernier reçoit les cours d'eau du versant ouest de Djebel Aissa et ceux du versant est de djebel Morhad. Il rejoint vers le sud l'oued Breidj pour ainsi constituer l'oued Aïn Séfra, ce dernier se jette dans l'oued Rhouiba qui devient l'Oued Namous en aval d'Ain Séfra.

Le rôle majeur des oueds est très important : *les affleurements gréseux dans les djebels* fournissent le matériel, les précipitations abondantes et les pentes fortes, permettent la mobilisation du sable et son exportation, il est remanié par le vent quand il est sec avant d'être repris par l'érosion hydrique.

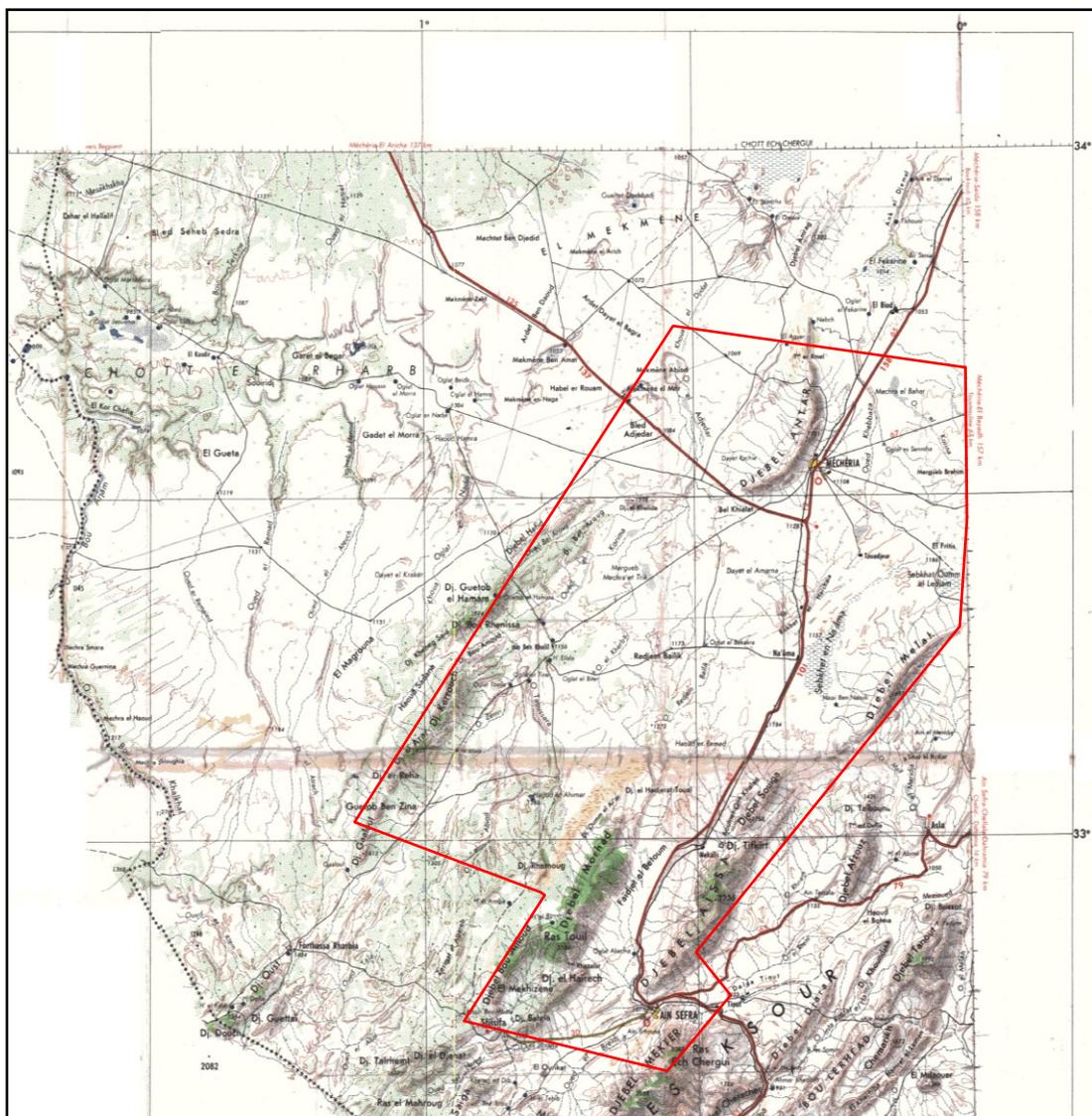


Fig. 17 : Le réseau hydrographique dans les Hauts-Plaines Sud Oranaises (source : carte topographique d'Aïn Séfra au 1/500 000).

V - LE REcul DU COUVERT VEGETAL STEPPIQUE.

Ce travail est une synthèse faite sur la base des travaux antérieurs notamment de Djebaili (1978), Nedjraoui (1981), Bouzenoune (1984), Le Houérou (1985), Aidoud (1989), Djellouli (1990), Boughani (1995) et Kadi-Hanifi, (1998)), les rapports des experts (CRBT, 1978 ; URBT, 1994 ; Programme ROSELT/OSS/Algérie, 2001-2005) et nos propres observations.

Généralement, lorsqu'on évoque le climat aride, la première impression qu'on ressent suite au manque d'eau qui le caractérise, est la pauvreté de sa végétation. En réalité le domaine aride, malgré le caractère sévère de son climat, a une végétation caractéristique dont le dynamisme pendant des années favorables n'est plus à démontrer. Cependant, cette même végétation peut régresser considérablement durant les années sèches ou sous l'effet de la surexploitation.

La caractérisation zoogéographique est de moins en moins évidente au fur et à mesure que la dégradation de la végétation et des milieux s'accroît et que la désertification s'étend sous la pression d'une croissance exponentielle de la population humaine (3 %/an) et du bétail (2 %/an) (Le Houérou, 1995). Sur les plaines arides, la végétation est de caractère essentiellement steppique, elle est un peu plus diversifiée en montagne (cette végétation qualifiée de steppique se caractérise par l'importance des espèces vivaces, ligneuses ou graminéennes, *couvrant de 10 à 80 % la surface du sol*).

Avant d'entamer la présentation de l'état du couvert végétal de la région de Naama, il paraît utile de donner sur les aspects généraux de la végétation steppique, notamment la productivité et la valeur pastorale, ainsi que d'autres caractères phytogéographiques.

1- Une steppe simple ou mixte à alfa :

L'ensemble des steppes algériennes sont composées par 4 grands types de formations végétales: les formations à alfa (*Stipa tenacissima*), à armoise blanche (*Artemisia herba alba*), à sparte (*Lygeum spartum*) et à remt (*Hamada scoparium*). Les formations azonales sont représentées par les espèces psammophiles et les espèces halophiles.

- Les steppes à alfa dont l'aire potentielle était de 4 millions d'hectares assurent la transition entre les groupements forestiers et les groupements steppiques à armoise blanche. Elles présentent une forte amplitude écologique (KADI-HANIFI ACHOUR H., 1998). La productivité pastorale moyenne de ce type de steppe varie de 60 à 150 UF/ha selon le recouvrement et le cortège floristique (Nedjraoui, 1981). La valeur pastorale des parcours à alfa peu importante (10 à 20/100 en moyenne) permet une charge de 4 à 6 hectares par mouton.

- Les steppes à armoise blanche (*Artemisia herba alba*) recouvrent 3 millions d'hectares (en aire potentielle) et sont situées dans les étages arides supérieur et moyen à hiver frais et froid avec des précipitations variant de 100 à 300 mm. Ce type de steppe s'étale sur les zones d'épandage, dans les dépressions et sur les glacis encroûtés avec une pellicule de glaçage en surface. L'armoise ayant une valeur fourragère importante de 0,45 à 0,70 UF/kgMS (Nedjraoui, 1981), les steppes à armoise blanche sont souvent considérées comme les meilleurs parcours, 1 à 3 ha/mouton. Ces parcours sont utilisés pendant toute l'année et en particulier en mauvaises saisons, en été ou en hiver, où ils constituent des réserves importantes.

« L'armoise est une espèce bien adaptée à la sécheresse et à la pression animale, en particulier ovine. Le type de faciès dégradé correspond à celui de *Peganum harmala* dans les zones de campement et autour des points d'eau » (D. NEDJRAOUI, 1981).

- Les steppes à sparte couvrent 2 millions d'hectares. Elles sont rarement homogènes et occupent les glacis d'érosion encroûtés recouverts d'un voile éolien sur sols bruns calcaires, halomorphes dans la zone des chotts. « L'espèce *Lygeum spartum* ne présente qu'un faible intérêt pastoral (0,3 à 0,4 UF/kg MS). Les steppes à *Lygeum spartum* sont peu productives avec une production moyenne annuelle variant de 300 à 500 kg MS/ha, mais elles constituent cependant des parcours d'assez bonne qualité. Leur intérêt vient de leur diversité floristique. La productivité, relativement élevée (110 kg MS/ha/an), des espèces annuelles et petites vivaces, confère à ces types de parcours une production pastorale importante de 100 à 190 UF/ha/an permettant une charge de 2 à 5 ha/mouton » (D. NEDJRAOUI, 1981).

- Les steppes à remt (*Arthrophytum scoparium*) sont buissonneuses chamaephytiques avec un recouvrement moyen inférieur à 12,5%. Elles sont considérées comme des parcours qui présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral.

La valeur énergétique de l'espèce est de l'ordre de 0,2 UF/kgMS. La production moyenne annuelle varie de 40 et 80 kgMS/ha et la productivité pastorale est comprise entre 25 et 50 UF/ha/an avec une charge pastorale de 10 à 12 ha/mouton.

- Les steppes à psamophytes sont liées à la texture sableuse des horizons de surface et aux apports d'origine éolienne. Ces formations sont inégalement réparties et occupent une surface estimée à 200.000 hectares. On les observe souvent dans les dépressions constituées par les chotts. Elles sont plus fréquentes en zones aride et présaharienne. Ces formations psamophytes sont généralement des steppes graminéennes à *Aristida punjens* et *thymellaea microphyla* ou encore des steppes arbustives à *Retama retam* (Le Houerou, 1969; Celles

1975; Djebaili, 1978). Le recouvrement de la végétation psamphyte est souvent supérieur à 30% donnant une production pastorale importante comprise entre 150 et 200 UF/Ha/an. Cette production relativement élevée est due essentiellement à la prolifération des espèces annuelles dans ce type de parcours ensablé, ce qui permet une charge de 2 à 3 ha/mouton.

- Les steppes à halophytes La nature des sels, leur concentration et leur variation dans l'espace vont créer une zonation particulière de la végétation halophile autour des dépressions salées. Ces formations se développent sur des sols profonds (supérieur à 1 mètre) riches en chlorure de sodium et en gypse. Ces formations étant très éparses, leur surface n'a pas été déterminée de façon très précise, cependant elles constituent d'excellents parcours notamment pour les ovins en raison des fortes teneurs en sel dans ce type de végétation et les valeurs énergétiques relativement élevées des espèces les plus répandues (0,89 UF/KgMS pour *Suaeda fruticosa*, 0,85 UF/KgMS pour *Atriplex halimus*, 0,68 pour *Frankenia thymifolia* et 0,58 pour *Salsola vermiculata*) (D. NEDJRAOUI, 1981).

Le diagnostic porté par les spécialistes semble sans appel : surpâturage, appauvrissement floristique, perte de vigueur de la végétation, dégradation de l'écosystème en sont les signes les plus évidents. L'état des steppes est jugé préoccupant. Le potentiel de production serait réduit de 75% en Algérie, la couverture en Alfa passant par exemple de 40% à 13% en quinze ans du côté de Rogassa. L'appauvrissement est surtout marqué pour les plantes pérennes palatables. « *Mais pour les écologues, le pire ennemi de la steppe reste le "cover-crop" qui introduit une situation irréversible en détruisant les plantes et en pulvérisant l'horizon superficiel rendu très sensible à l'érosion éolienne... L'ampleur du problème est difficile à quantifier. Au total, 5 millions d'hectares seraient fortement dégradés sur les 20 millions que compte l'Algérie* » (Bessaoud, 2002).

D'après cet auteur, nous devons cependant nuancer certains points :

- le jugement sur l'irréversibilité des états de dégradation ne se révèle pas toujours pertinent car la résilience des systèmes steppiques (faculté à revenir à l'équilibre) est plus forte que prévu et surprend les plus pessimistes ;
- la surexploitation n'empêche pas l'existence de sites sous-utilisés ou en friches dans certaines zones (bande frontalière avec le Maroc et zones de mises en défends...) ;
- Par ailleurs ; la surexploitation des terres, sans être systématique (notamment dans quelques sites mieux défendus par les mises en défens ou plus éloignés ou tout simplement gérés sur un mode consensuel) est très fréquente, de celles à statut privé ou privatisées mieux gérées.

Peu d'arguments viennent étayer le fait que les mises en culture (en zone steppique) sont systématiquement néfastes pour l'environnement.

2- Relevés de végétation :

Les relevés de végétation ont été effectués au mois de mars 2008. Ce mois a été choisi comme période privilégiée pour ce type de mesure, parce que c'est la saison où les biomasses vertes sont les plus importantes. Généralement, on réalise ce type de mesure au printemps pour les plantes steppiques pérennes et annuelles. Nous avons procédé au calcul du taux de recouvrement végétal avec une méthode utilisée par les botanistes. Il s'agit de prendre un carré de 10x10m, à l'intérieur duquel on fait une estimation à l'œil nu (Photo 1). De plus nous l'avons utilisé uniquement dans la bande frontalière et dans certaines mises en défens - en raison de la présence d'une couverture végétale relativement importante par rapport au reste de l'espace des hautes plaines sud oranaises – de même pour la technique du transect linéaire, dans le quel nous avons relevé tous les objets sur une trajectoire de 50 m.



Photo 1 : L'estimation du taux de recouvrement s'effectue dans un carré de 10X10 mètres.

Nos observations et mesures sur le terrain, mis à part les zones montagneuses, nous ont permis de dégager trois zones distincts du point de vue type et taux de recouvrement de la végétation :

La première zone où la végétation est plus ou moins présente, est la zone (ou bande) frontalière (bande sur environ 30 km), c'est une zone moins fréquentée par les hommes et leur cheptel. Néanmoins nous avons enregistré des disparités entre la végétation située dans les dayas et la végétation située à l'extérieure des daya (Photo 2).

La plupart des dayas ont un diamètre variant entre 200 et 400 m ; elles présentent un taux de recouvrement allant de 40% à 60%. L'espèce dominante est le Sparte « Soungha ». Les touffes de sparte ont une hauteur moyenne de 70 cm et une largeur moyenne qui peut atteindre les 70 cm (Photo 3). Le fond des dayas en saison humide correspond à une pelouse de type « Plantago lanceolata » (Lelma en appellation local). A l'extérieure des dayas, ce sont les plantes comme l'alfa et l'armoise qui prennent place, plus résistantes à la sécheresse que le Sparte. Le taux de recouvrement moyen est de 15 à 25% maximum (Photo 4 & 5). Il faut noter que les plants ne sont pas en bon état, même si dans certains endroits nous avons observé une bonne régénération de l'Alfa (Photo 6). En plus de l'Alfa et de l'Armoise, d'autres types d'espèces ont été observées, il s'agit « Cherira » et «Essar» selon l'appellation local. Vers les marges de cette bande frontalière le taux de recouvrement devient brutalement plus faible voir nul. Nous avons enregistré un taux de recouvrement très faible soit environ 2 à 3%, espacement entre les plants est de 4 m. Les espèces recensées sont : Cherira, l'armoise et le Sparte (Photo 7).

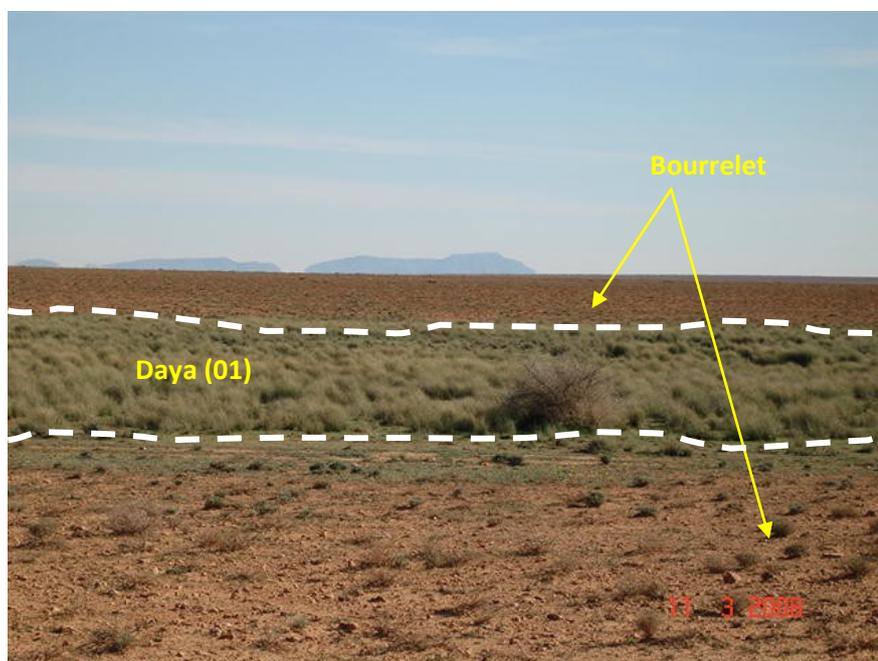


Photo 2 : Zone frontalière : Disposition d'une daya verdoyante entre deux bourrelets avec une steppe dégradée.



Photo 3 : Zone frontalière : La végétation est plus abondante en zone de dépression (daya). Le sparte couvre une bonne partie de la daya (environ 40%).



Photo 4: Zone frontalière : En dehors des cuvettes, la couverture végétale est plus ou moins dense (15 à 20%). Une régénération d'alfa remarquable.

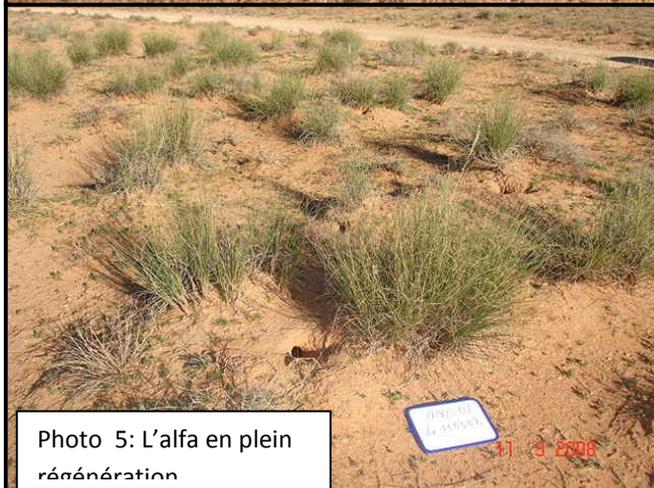


Photo 5: L'alfa en plein régénération

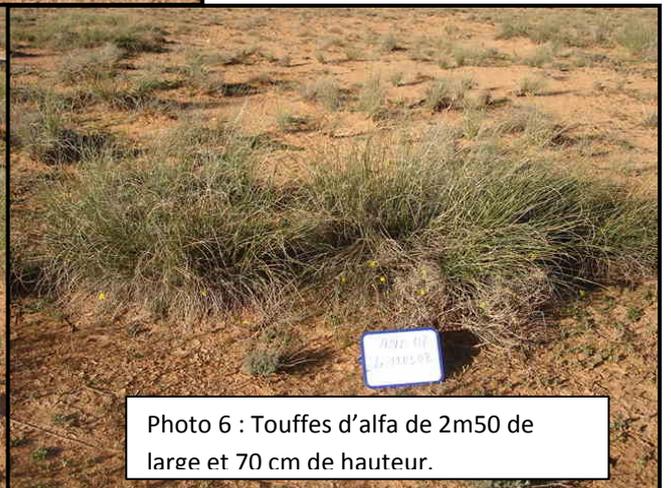


Photo 6 : Touffes d'alfa de 2m50 de large et 70 cm de hauteur.



Photo 7 : Les espèces végétales abondante au niveau de la zone frontalière.
(a : l'armoïse ; b : le *Salsola vermiculata* ; c : le sparte ; d : l'atractilis)

La deuxième zone concerne les espaces de mises en défends. Bien que ces derniers ne représentent que des superficies restreintes vu l'étendu de l'espace des Hautes Plaines Sud Oranaises, nous avons procédé au calcul du taux de recouvrement qui varie entre 30 et 40% au niveau des mises en défends de Boubehar située au Nord de Aïn benkhelil, de Touifza au sud de Naaama (Photo 9) et de Noufeikha à l'ouest de Sfisifa (Photo 8). L'espèce dominante est l'Alfa avec une hauteur qui varie entre 40 et 80 cm en général, elle peut atteindre 1,2m à Noufeikha. La largeur des touffes d'Alfa varie de 50 cm à 1,5m.

Photo
Mise
défens



8 :
en
de

Noufeikha (à l'ouest de Sfisifa). Couverture végétale d'alfa assez dense de 30% à 40%. Les touffes d'alfa ont une hauteur qui varie entre 90cm et 1m20cm.

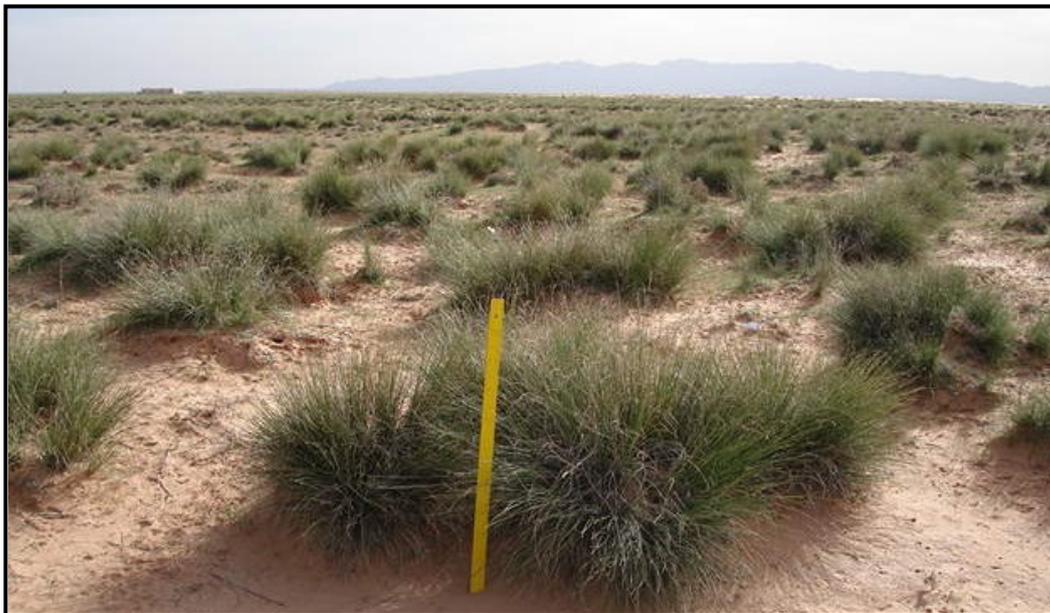


Photo 9 : Au sud de la ville de Naama à environ 10 km. Une mise en défens en bon état (les touffes d'alfa ont en moyenne une hauteur de 70 cm et une largeur de 70 cm).

La troisième zone correspond au reste du territoire étudié, où la végétation est quasiment absente et même si elle existe le taux de recouvrement est très faible ne dépassant guère les

3% (Photo 10). Par ailleurs, les aspects actuels de végétation révèlent la mise en place d'un processus de désertification dû essentiellement à la détérioration interne du milieu et à l'avancée d'un front de désertification à une grande échelle. Les sols dénudés (Photo 11) sont devenus très sensibles aux différents processus de l'érosion éolienne et les sables stériles envahissent par vagues les terres agricoles et les infrastructures humaines de la région.



Photo 10 : A l'extérieur de la zone de frontière. Une surface plane dénudée. Il s'agit d'un Serire (avec quelques cailloux de dimension centimétrique).

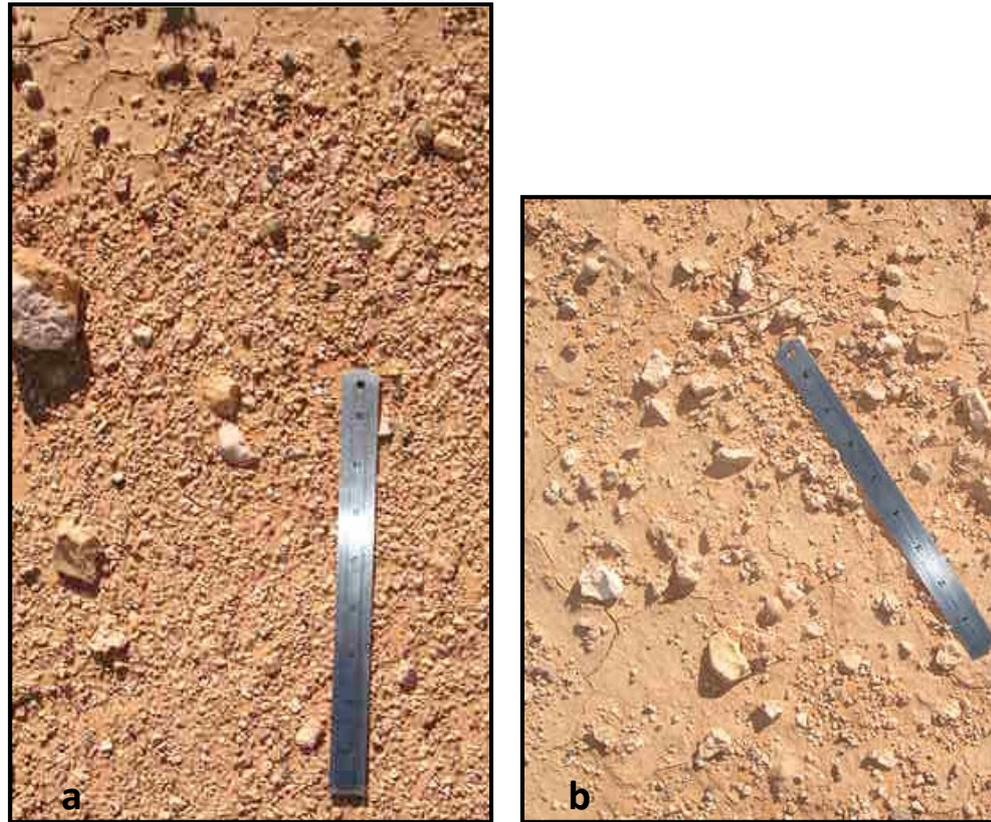


Photo 11 : (a) abondance de graviers de dimension millimétrique ; (b) crouete de battance avec présence de cailloux et de graviers.

Nous constatons ainsi, des changements notables du recouvrement de la végétation.

Autrefois présentant un bon taux de recouvrement (carte de recouvrement de 1987), cette végétation a disparu et cédé la place à l'extension des sols nus et des accumulations sableuses (carte de recouvrement de la végétation en 2007) (Fig. 18).

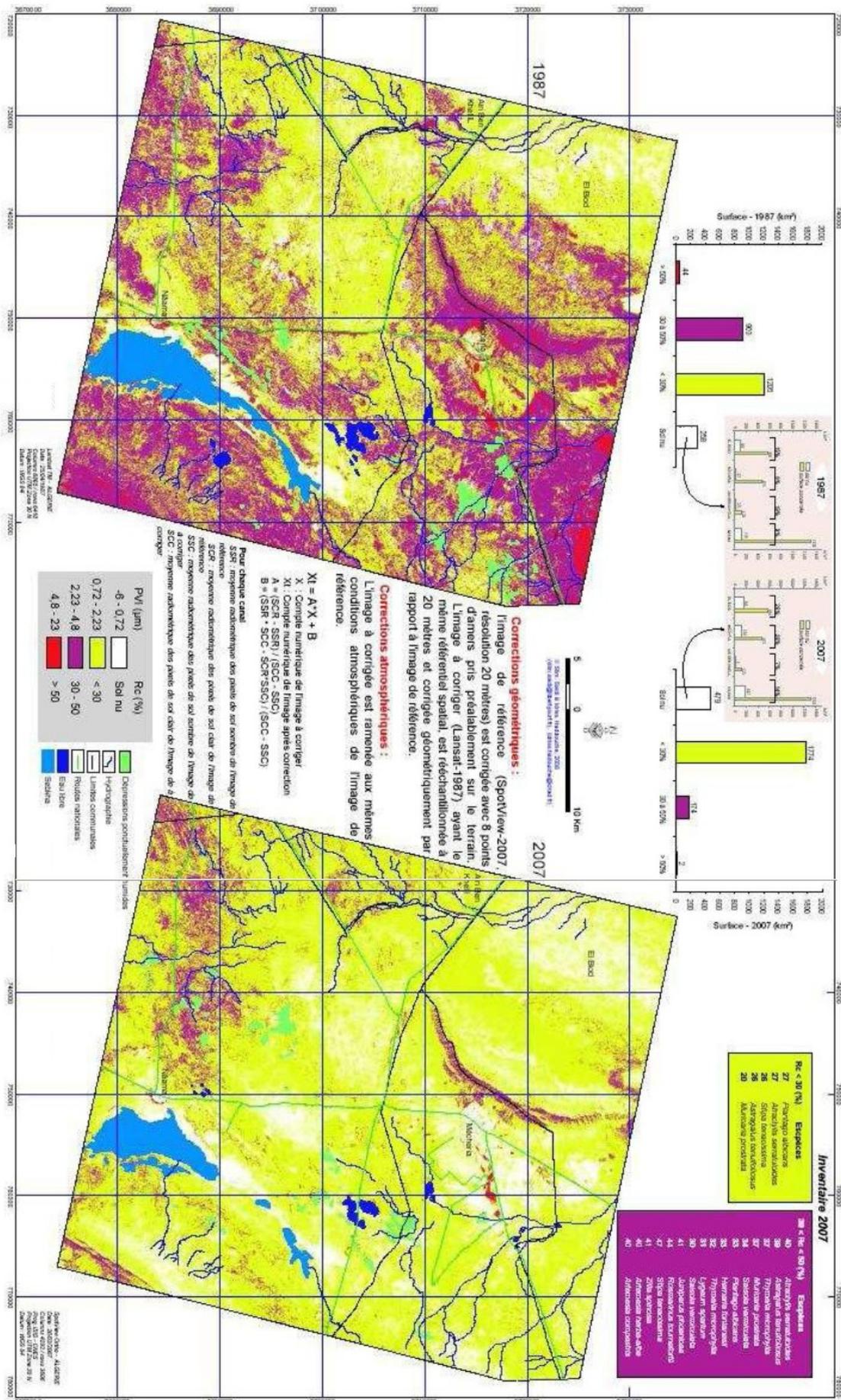


Fig. 18 : Recouvrement de la végétation (1987-2007) (d'après Haddouche I., 2009)

3 - L'effet des politiques antérieures sur la dégradation du couvert végétal :

Nous devons souligner qu'avant 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. Il s'agit de la célèbre « achaba ». Les nomades passaient des accords avec les tribus du Tell pour l'utilisation des chaumes et d'autres pâturages. En hiver les nomades et agro-pasteurs se dirigeaient vers le sud jusqu'au M'zab et Timimoun en suivant les grands oueds issus des monts des Ksours pour s'approvisionner en dattes (azaba). Ces transhumances continues des troupeaux à la recherche des pâturages et des herbes du sud vers le nord caractérisaient le plus, l'élevage algérien. Les nomades pratiquaient ces déplacements pour des raisons à la fois climatiques et commerciales.

Depuis des siècles les nomades pratiquaient ces transhumances pour exploiter d'une manière harmonieuse et rationnelle les richesses que leur offre la nature (sol et végétation). Pouvons-nous dire que les nomades connaissent bien les lois de la reconstitution assurée par la nature ? Nous pensons qu'au fil des temps, les nomades ont acquis un certain savoir faire pour instaurer un équilibre agro-économique dépendant du travail de l'homme suivant la tendance des aléas climatiques. Effectivement, *«une reproduction déficitaire ou insuffisante conduit à un déséquilibre agro-économique qui trouve sa sanction immédiate et directement perceptible dans la dégradation du couvert végétal puis dans l'érosion des sols et enfin dans la désertisation.»* (Montchause G., 1972).

Durant l'occupation, les colons occupaient jusqu'aux franges méridionales du Tell les terres de parcours. Ces terres ont été transformées en parcelles de céréalicultures de faible rendement. Ainsi, tous les principes socio-économiques de la société agro-pastorale ont été bouleversés et même détruits. De plus, les activités socio-économiques se sont gravement déséquilibrées après avoir eu la rupture des échanges entre le nord et le reste du pays. Cette occupation a eu des conséquences néfastes sur les tribus nomades. Ces dernières se trouvent dépossédés de leur pouvoir politique après avoir été dépouillées d'une partie ou de la totalité de leurs moyens de productions (Terre et cheptel).

«...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 M., 1976).

En même temps, les différents découpages de l'espace, les scissions des tribus (notamment après l'insurrection du Cheikh Bou Amama et des Ouled Sidi Cheikh) (Couderc R., 1979) ont engendré un déséquilibre et une rupture de la vie sociale et économique des nomades. La communauté tribale a été cassée et les règles communautaires d'organisation se sont relâchées. Ainsi, l'exploitation du domaine steppique est devenue un champ libre de toute entrave pour tout le monde (Côte M., 1983).

Tous les facteurs ont été réunis (déplacements restreints des troupeaux, sédentarisation progressive, dissolution des biens collectifs) pour que les nomades quittent le mode de vie pastoral pour aller se sédentariser en premier lieu autour des centres urbains (Mécheria et Aïn-sefra) (Bensaid A., 2006).

Après l'indépendance, dans le cadre une politique d'harmonisation, d'intégration et de développement, l'activité nomade, n'avait pas sa place. Celle-ci n'arrange pas l'application du programme sociale et économique d'un état socialiste. *« Le nomadisme, considéré comme un acte antisocial, devait être supprimé au profit d'une exploitation collective et sédentaire des potentialités animales dans l'espace steppique »* HADEID M. 2006.

L'action des appareils d'État vis-à-vis des populations nomades a toujours consisté, à tenter de les contrôler, de les intégrer à la vie nationale par l'imposition de règles communes à l'ensemble de la population, et d' « améliorer leurs conditions d'existence » . Cette politique s'inscrit ici dans un contexte profondément marqué par les déséquilibres de l'occupation coloniale.

Le processus de sédentarisation s'est accéléré après l'indépendance, précisément les années soixante dix sous l'impulsion d'une politique volontariste de l'État, ayant pour but la fixation des nomades. Ces derniers, et à l'exception des gros éleveurs qui ont pu surpasser cette crise en reconstituant leur troupeau, la majorité se trouve affaiblis et appauvris. Ils se sont réfugiés dans les principales villes steppiques (Mécheria, El Bayadh et Aïn Sefra).

Les réformes instaurées par la révolution agraire, ont encore une fois, secoué le nomadisme, avec la suppression de l'élevage absentéiste, la limitation du cheptel, l'introduction des coopératives pastorales. Mais les nomades, ont su comment contourner ces directives. *« Les gros éleveurs détenant la quasi totalité des troupeaux et possédant chacun plus de 1 000 têtes, se sont organisés avec leurs bergers en divisant leur patrimoine animal en groupes de taille réduite autorisés par la loi (300 à 400 têtes). Les bergers ainsi sont considérés aux yeux de l'administration comme des propriétaires, elle leur a même attribué une carte d'éleveur pour profiter des services offerts : distribution des aliments par les CAPCS, la vaccination... »* (HADEID M. 2006).

4 - Un déséquilibre écologique lié à la sécheresse :

Cette succession d'années, voire de décennies déficitaires a fortement décimé la couverture végétale. L'absence ou la forte réduction du tapis herbacé en année sèche active l'érosion éolienne. Cette situation est souvent accompagnée par l'apparition de formes éoliennes.

Cette succession de contraintes fragilise et expose le milieu naturel (sol et végétation) aux actions parfois néfastes de l'homme et de ses animaux et accentuent les effets déjà très contraignants des paramètres du climat (précipitations, température, évaporation, insolation, vent,...).

A côté de ce couvert végétal herbacé, dont l'extension reflète chaque année l'importance des précipitations, survit plus ou moins une végétation ligneuse très dégradée. Au cours des trois dernières décennies, elle a connu un net recul aussi bien du point de vue de quantité que de sa diversité et par conséquent de son rôle protecteur.

Ces espèces ligneuses, souvent affaiblies par les rudes conditions du milieu, n'ont pas pour la plupart survécu aux contraintes de la sécheresse. A côté de ces difficultés physiques, elles doivent aussi résister aux troupeaux.

La persistance de sécheresse a conduit au creusement de nombreux forages profonds, pour soutenir l'élevage fortement éprouvé et venir en aide aux pasteurs qui se sédentarisent de plus en plus. Mais la présence de ces forages contribue à la dégradation du couvert végétal, par l'attrait qu'ils constituent aux nombreux troupeaux, surtout pendant de longue saison sèche. Cela engendre une forme de désertification auréolaire, très fréquente autour des points d'eau et des zones d'habitation.

5- Le surpâturage :

La suppression du nomadisme, la mise en culture des terres de parcours et l'augmentation du cheptel, ont conduit à un surpâturage inévitable dans les hautes plaines sud oranaises. Les effectifs des ovins, bovins et caprins montrent une charge apparente relativement élevée et qui s'exerce sur cet écosystème fragile.

Ce phénomène affecte, de façon particulière, les régions présahariennes et steppiques et a donné naissance à des paysages dunaires dans la frange méridionale des hautes plaines oranaise steppiques et à la stérilisation de milliers d'hectares de terres. Des investissements énormes sont consentis pour dégager les voies de communications (route, rail) et les centres de vies.

Les pressions humaine et animale croissantes sur le milieu naturel déjà fragile, ont aggravé le processus de désertification par :

- la mise en culture par des mécanisations abusives,
 - le surpâturage qui est quasi supérieur aux possibilités réelles des ressources pastorales,
 Le cheptel actuel estimé à 1 million de têtes environ (*le total des ovins est probablement sous-évalué car basé sur les déclarations des éleveurs*) dans la wilaya de Naama uniquement et dont 90 % environ sont des ovins, paraît important par rapport à la capacité de support des parcours qui continue à subir toutes les conséquences du processus de désertification et d'ensablement dans la région (voir Tableau 4&5).

Tableau 4 : Répartition du cheptel par communes au 31/12/2007

Communes	Ovin	Bovin	Caprin	Equin	Camelin	Espèce mulassière	Espèce asine	Total
Naama	66874	3850	4698	129	25	20	151	75747
Mécheria	30166	2330	2249	114	0	67	123	35049
Ain-Sefra	51777	2955	3729	85	79	79	412	59116
Tiout	46339	893	3333	81	0	39	232	50917
Sfissifa	74545	3188	5268	103	385	94	258	83841
Moghrar	18480	271	2244	51	317	41	186	21590
Asla	63010	1258	4472	137	0	68	191	69136
Djenien-Bourezg	10946	96	1514	20	0	50	96	12722
Ain-Ben-Khelil	130253	6036	9029	99	0	23	98	145538
Mekmen-Ben-Amar	107751	6130	7491	22	0	3	39	121436
Kasdir	137360	3979	5406	77	0	4	59	146885
El-Biodh	109079	6484	7547	232	0	110	307	123759
Total	846580	37470	56980	1150	806	598	2152	945736
%	89,52	3,96	6,02	0,12	0,09	0,06	0,23	100

Source : SDA

Tableau 5 : Répartition des éleveurs par communes au 31/12/2007

Communes	Nombre d'éleveurs	%
Naama	657	10,43
Mécheria	234	3,72
Ain-Sefra	516	8,19
Tiout	295	4,68
Sfissifa	863	13,70
Moghrar	137	2,17
Asla	664	10,54
Djenien-Bourezg	60	0,95
Ain-Ben-Khelil	1107	17,58
Mekmen-Ben-Amar	365	5,80
Kasdir	586	9,31
El-Biodh	813	12,91
Total	6297	100

Source : SDA

Du point de vue intensité d'exploitation on peut distinguer deux types de parcours dans la région :

- Les parcours sous exploitation permanente et à haute charge. Ce sont les terrains autour des zones d'habitation sur environ 4-5 km.
- Les parcours sous exploitation irrégulière et à charge « réduite ». Ce sont les terrains, qui sont éloignés des zones d'habitation et exploités d'une façon « nomade ».

Ce système d'élevage sédentaire, demeure et contribue pour la plus grande part à une dégradation de la couverture végétale de ces surfaces, remobilisant des sables qui étaient jusqu'alors piégés dans les sols.

« Pour ne pas trop épuiser les animaux, un berger ne peut guère s'éloigner de plus de 15 kilomètres d'un point d'eau : les alentours des puits sont donc intensément piétinés et l'érosion éolienne contribue à la dégradation de ces pâturages » (Couderc, 1976).

D'après Nedjraoui, 1990, en 1968, la steppe était déjà surpâturée, la charge pastorale réelle était deux fois plus élevée que la charge potentielle. Malgré les sonnettes d'alarmes tirées par les pastoralistes de l'époque, la situation s'est en fait aggravée. En 1998, les parcours se sont fortement dégradés, la production fourragère a diminué de moitié et l'effectif du cheptel est 10 fois supérieur à ce que peuvent supporter les parcours. Cet état des choses résulte de la demande soutenue et croissante de la viande ovine en relation avec la croissance démographique, par la haute rentabilité de l'élevage en zones steppiques du fait de la gratuité

des fourrages. Le maintien artificiel d'un cheptel de plus en plus important et le défrichage pour la culture des céréales ont donné lieu à la situation désastreuse que connaît la steppe aujourd'hui.

CONCLUSION.

En général, le tapis végétal se présente sous forme d'une steppe ouverte, caractérisée par les espèces adaptées au milieu aride, avec des différenciations liées souvent aux conditions topographiques, pluviométriques et édaphiques.

La dégradation des parcours steppiques constitue, actuellement, une réalité préoccupante. Une dynamique régressive nettement perceptible est confirmée par un diagnostic écologique qui a mis en évidence la dégradation du couvert végétal. La désertification par le biais de ses facteurs physiques, anthropiques et socio-économiques, a eu pour conséquence, la disparition de certaines espèces. « *D'une steppe graminéenne à *Stipa tenacissima* on a atteint le stade de la steppe à *Noaea mucronata*, qui est, malheureusement, le stade ultime de dégradation avant que le sol soit totalement nu et improductif* » (Bouchetata T. & Bouchetata A., 2005).

Ainsi des peuplements entiers ont été décimés par le bétail, par les coupes anarchiques des plantes ligneuses pour les besoins domestiques quotidiens et surtout par une mauvaise gestion des pâturages. L'appauvrissement et la dégradation du couvert végétal, sont également imputables aux activités agricoles et à l'extension des superficies cultivées (durant les missions de terrain effectuées dans la plaine de Naama, nous avons à chaque fois constaté l'installation de nouvelles mises en valeurs agricoles qui n'existaient pas avant).

Tout cela a eu pour conséquence l'intensification des phénomènes de désertification, d'ensablement et d'érosion éolienne dans cette partie des Hautes Plaines.

VI - LE POIDS DE L'HOMME.

1- Tendances démographiques.

En dépit d'un recul du taux d'accroissement démographique, la croissance reste encore très importante. En effet, après avoir enregistré un taux annuel moyen d'accroissement de 3,40% entre 1987 et 1998, la wilaya a enregistré une croissance démographique de l'ordre de 2,5% par an sur la période intercensitaire 1998-2008 contre 1,72% au niveau national. Cependant, cette situation générale cache des disparités. Ainsi, en se référant à la dernière période intercensitaire (1998-2008), il est constaté que sur les 12 communes que compte la wilaya, une commune a un taux similaire à la moyenne de la wilaya (Tiout : 2,45%), trois (03) d'entre elles enregistrent des taux supérieurs à la moyenne de la wilaya (2,5): Naama (4,69%), Ain Sefra (3,61%) et Moghrar (2,65%) et. Sept (07) ont enregistré des taux compris entre 0,07% et 1,77%. La seule commune ayant enregistré un taux d'accroissement négatif est El Biodh (-0,78%).

Selon le RGPH de 1977 la population était de 82.555 habitants pour l'ensemble de la wilaya de Naama, pour atteindre le nombre de 165.578 habitants au RGPH 1998 avec un taux d'accroissement annuel moyen de 3.37 % pour diminuer à 2.64 % au 31/12/2007 (Tableau 6).

Tableau 6 - Evolution de la population de la wilaya de Naama.

RGPH 77 (Mars)	RGPH 87 (Mars)	RGPH 98 (Juin)	31/12/ 2007	TAG entre RGPH 77 - 87 (%)	TAG entre RGPH 77 - 98 (%)	TAG entre RGPH 87 - 98 (%)	TAG entre RGPH 98 et 2007 (%)
82.555	113.700	165.578	202.254	3.25	3.37	3.4	2.64

Source : (DPAT, 2008)

Le taux d'accroissement annuel global moyen de la population reste élevé, avec une cadence homogène située autour de 3% durant la période allant de 1977 à 1998. Une baisse apparente dans le taux d'accroissement global moyen est observée dans les années de 1998 à 2007.

Cette baisse peut être considérée comme une transition dans le comportement démographique de la population susceptible d'être étudiée profondément.

2- Une population inégalement répartie

Avec une densité moyenne de l'ordre de 7 habitants au km² en 2008 et moins de 10 habitants au km² à l'horizon 2025, la wilaya de Naama ne présente pas les caractéristiques d'un territoire surpeuplé. Mais cette apparence cache de grandes disparités intercommunales. En effet, l'examen de la répartition de la population estimée par commune, révèle une distribution très inégale.

Cette répartition de la population sur le territoire de la wilaya donnerait lieu à des densités très disparates variant entre 1,16 habitant au km² à Djenien Bourezg et 108,51 habitants à Mécheria. La densité moyenne par unité d'aménagement serait de 17,26 habitants au niveau de l'unité de Mécheria soit 17,37 habitants dans la sous unité de Naama et 17,21 dans la sous unité de Mécheria, et 6,23 habitants au niveau de l'unité d'Ain Sefra.

En dépit du développement de la sous unité de Naama (Naama et Ain Ben Khelil) qui va, probablement, jouer le rôle d'une zone tampon entre les deux grandes unités que sont les unités de Mécheria et Ain Sefra, il reste que de très importants efforts d'ajustement doivent être entrepris pour arriver à un rééquilibrage de la population au niveau de la wilaya en général et à l'intérieur des communes notamment de Naama, Mécheria et de Ain Sefra en particulier qui concentrent l'essentiel de leur population au niveau des chefs lieu. La répartition de la population dans la wilaya de Naama (Tableau 7) est caractérisée par une tendance à l'agglomération dans les deux centres de Mécheria et Ain-Sefra : Près de 58 % de la population totale y réside dans une superficie n'excédant pas 7% de la superficie totale de la wilaya.

En terme de volume de population sédentaire, le reste des communes se répartit en deux (02) groupes :

* Le premier composé des communes de Naama, Elbiodh et Ain-Benkhelil où la population varie entre 10.000 et 16.000 Habitants.

* Le deuxième groupe composé de Tiout, Sfissifa, Moghrar, Asla, Djenien-Bourezg, Mekmen-Ben-Amar et Kasdir où la population est au dessous de 10.000 Habitants.

La commune de Mécheria enregistre à elle seule plus de 34% d'habitants avec une très forte densité soit 96,27 hab/km² sur une superficie de 736,25 km². La commune de Ain sefra connaît une densité élevée et continue de 45,67hab/km² pour une population aussi importante soit 23,05%. Cette forte densité est liée à sa situation géographique comme région de transit entre le sud et le Nord. La commune de Naama, même si la superficie est nettement supérieure, reste moins peuplée par rapport aux deux autres communes. Toutefois, elle est en nette progression soit 7,72%. La densité actuelle 6,37 hab/km², contre seulement 3,29 hab/km² en 1988, est proche de la moyenne de toute la wilaya soit 6,85 hab/km² en 1998.

Tableau 7 : - Répartition de la population de la wilaya de Naama

Communes	Population au 31.12.2007	Superficie (Km ²)	Densité Hab/km ²
Naâma	15827	2.482,50	6,37
Mecheria	70877	736,25	96,27
Ain-Sefra	46725	1.023,13	45,67
Tiout	5686	789,25	7,20
Sfissifa	7294	2.347,50	3,10
Moghrar	3724	1.792,50	2,08
Asla	9983	2.071,25	4,82
Djenien-Bourezg	3067	1.170,63	2,62
Ain-Ben-Khelil	10909	3.790	2,88
Mekmen-Ben-Amar	9228	3.270	2,82
Kasdir	6657	6.378,13	1,04
Elbiodh	12277	3.663	3,35
TOTAL	202254	29,514.14	6,85

Source : (DPAT, 2008)

3- Mutations socio-économiques.

Dans un souci de développement économique et humain, des Hautes Plaines Sud Oraïses, plusieurs programmes de développement se sont succédés, ces dernières années au profit de la wilaya de Naama et ont eu un impact remarquable sur les voies communications la wilaya. Cependant pour que celles-ci soient fonctionnelles, les impacts ou incidences environnementaux sont à prendre en compte, surtout en présence de milieux fragilisés, dégradés ou se trouvant dans un processus de dégradation évolutif.

Le réseau routier a progressé sensiblement depuis la création de la wilaya, atteignant actuellement environ 2.570 Km. Les routes nationales sont revêtues dans leur totalité, les chemins de wilaya ne comptent pratiquement plus de sections en mauvais état et les chemins communaux et ruraux ont acquis un niveau de desserte acceptable.

Dans le domaine aéroportuaire, l'aérodrome situé à Mécheria a bénéficié d'un programme de renforcement de la piste secondaire.

L'autre projet structurant est la ligne de chemin de fer Mécheria-Bechar, jouxtant la RN6 tout le long du territoire de la wilaya, est en cours de réaménagement en voie normale.

Le rythme de la croissance urbaine à l'échelle de la wilaya (3.4%), pour la période intercensitaire 1987-1998 est le plus faible par rapport à la moyenne de la région des hauts plateaux ouest (5.4%), mais il est plus élevé que la croissance démographique globale de l'Algérie pour la même période (2.15%). Ce rythme de la croissance urbaine connaît une

reprise à la faveur de la dernière décennie (1998-2008) atteignant 4.30%/an, un taux de croissance plus élevé que le croît démographique global évalué à 1.72%/an.

Cet accroissement de la population urbaine peut être expliqué par le développement du réseau urbain, à savoir l'apparition de nouvelles agglomérations urbaines : Ain Ben Khelil, Mekmen Ben Amar et El Biodh, ainsi que par la vigueur du mouvement migratoire.

Cette dernière décennie, faut-il le relever, est marquée par un dynamisme économique au niveau de l'ensemble du territoire : émergence d'un grand nombre de petites et moyennes entreprises, développement des activités de services à la production agricole et industrielle, prolifération des services et des commerces liés à l'activité touristique, plusieurs projets d'investissement privés dans divers secteurs sont à l'étude... A priori, cette urbanisation est liée, en partie, à un processus de développement économique enclenché par les différentes actions gouvernementales (plan de relance économique, Fonds des hauts Plateaux, FSDRS, FNDRA, PPDRI ...).

4- Un milieu fragile et fragilisé :

Depuis plus de 30 ans, l'espace steppique subit des changements profonds aussi bien environnementaux que socio-économiques.

Les changements socio-économiques sont complexes. Ils se traduisent par une baisse du nomadisme (mais non pas de l'agro-pastoralisme), par l'appropriation des terres et la mécanisation. Ils prennent plusieurs formes qu'on peut résumer ainsi : appropriation des terres par le biais des mises en valeur et « contrôle » des espaces steppiques par la prolifération de constructions en dur dans les zones éparses et l'utilisation de véhicules pour le transport rapide et de plus en plus lointain du cheptel vers les parcours (ou les souks). Ces changements ont eu comme conséquence, une forte dégradation de la steppe qui se traduit par des processus de désertification.

La progression de la désertification a atteint son stade ultime : l'extension des processus d'ensablement.

L'ensablement est une des grandes difficultés d'achèvement des travaux de réalisation des différentes infrastructures. Si nous prenons l'exemple de la voie ferrée, il entraîne plusieurs conséquences ou impacts à court, moyen et long terme. A court terme, il y a les divers surcoûts dus aux retards dans la réalisation, aux travaux supplémentaires (déblai-arasement des sables à l'aide de bulldozer puis transport et stockage de ceux-ci, etc...). A moyen et long terme, c'est la fonctionnalité de la voie ferrée qui est mise en cause : difficultés, voire

impossibilité de l'utiliser et surtout, il faut prendre en considération les risques qu'il engendre (accidents, déraillement, retards).

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE.

Les Hautes Plaines sud oranaises sont la partie occidentale de la région steppique, partie la plus grande en superficie des Hautes Plaines algéro-oranaises. Elles s'étendent entre deux chaînes de montagnes : au nord, l'Atlas tellien (dont les Mts de Tlemcen, de Saida et des Daya) et au sud, l'Atlas Saharien. De petits chaînons avancés des Mts des Ksour, les accidentent au SW. L'altitude des plaines y est comprise entre 900 et 1200-1300 m, augmentant en général vers le sud, avec des cuvettes ou espaces déprimés de dimension et d'origine variée vers lesquels convergent de petits oueds. C'est le domaine bioclimatique semi-aride à aride supérieur frais à froid, à végétation typique : la steppe (steppe à alfa ou mixte, à alfa, armoise et sparte). L'activité traditionnelle des populations est l'agro-pastoralisme avec la pratique du nomadisme dans un espace dont le statut foncier est l'arch ou propriété collective des terres.

Les Mts des Ksour sont des montagnes « moyennes » (2200 m d'altitude maximum), très aérées mais avec des versants très pentus et des piémonts sud tabulaires (hamada). Les formations gréseuses constituent la plus grande partie des massifs. Elles sont drainées par un réseau hydrographique très dense.

C'est un espace à population peu dense, agglomérée. Il subit des changements profonds (environnementaux aussi bien que socio-économiques) depuis plus de 30 ans. Les changements socio-économiques sont complexes. Ils se traduisent par une baisse du nomadisme (mais non pas de l'agro-pastoralisme), par l'appropriation des terres et la mécanisation. Ils prennent plusieurs formes qu'on peut résumer ainsi : appropriation des terres par le biais des mises en valeur agricole et « contrôle » des espaces steppiques par la prolifération de constructions en dur dans les zones éparses et l'utilisation de véhicules pour le transport rapide et de plus en plus lointain du cheptel vers les parcours (ou les souks). Ces changements ont eu comme conséquence, une forte dégradation de la steppe qui se traduit par des processus de désertification.

DEUXIEME PARTIE

**Etat des lieux de l'ensablement et traitement
d'images satellitaire.**

I- INTRODUCTION ET METHODOLOGIE.

Le développement d'une région repose sur les infrastructures de bases dont elle dispose. Leur mise en évidence, devrait prendre en considération le contexte géographique dans lequel elles se trouvent.

Par ailleurs, elle doit tenir compte des paramètres sociologiques et naturels de leur environnement qui se traduisent par la propriété des terrains, la circulation des populations et du cheptel et les incidences climatiques et biogéographiques (sècheresse et crues), etc...

Ces paramètres connaissent une évolution spatio-temporelle et diversifiée. Depuis, l'accession au statut de wilaya, les Hautes Plaines Sud Oranaises, ont connues un essor considérable dans leurs infrastructures de base, dans tous les domaines d'activités : l'extension urbaine, la multiplication des routes, la réalisation de la nouvelle voie ferrée Mécheria-Béchar, le développement agricole, les travaux de reboisement, etc...

L'érosion éolienne est un des processus les plus traumatisants de la désertification. Elle a conduit dans les Hautes Plaines Sud Oranaises à une dégradation environnementale sévère par l'appauvrissement des sols et le déplacement de volumes élevés de particules par le vent.

L'ensablement est donc une conséquence majeure de la désertification. Il se manifeste par des accumulations sableuses. Ces dernières se déposent au bord des agglomérations, dans les exploitations agricoles et dans les parcours steppiques, créant ainsi un problème dans le développement de toute une région. Plusieurs agglomérations, infrastructures routières, ferroviaires et hydro-agricoles sont constamment menacées par l'ensablement. Il en est de même pour la voie ferrée Mécheria - Béchar qui se trouve coupée au niveau de plusieurs points après chaque tempête de sable ou crue.

En effet, les dunes de sable mobiles rencontrées souvent à proximité des périmètres agricoles et des agglomérations se sont formées par suite de l'amenuisement du couvert végétal sous des multiples effets anthropiques (éradication des ligneux, surpâturage, mise en culture etc.).

Devant ce problème qui risque de s'aggraver dans l'avenir, nous allons faire un diagnostic des zones exposées régulièrement à l'ensablement, afin de pouvoir protéger les infrastructures de base (aéroport, routes, chemin de fer, exploitation agricole, ...) des Hautes Plaines Sud Oranaises.

1- **Méthodologie et démarche adopté pour la réalisation de la cartographie :**

Toute recherche scientifique nécessite une méthodologie cohérente qui permet de cerner le problème selon une certaine logique (Fig. 19).

1-1- Relevés de terrain

Après une phase de collecte de données et de documents bibliographiques ou cartographiques (cartes topographique et cartes géologiques), les observations directes sur le terrain, principalement au cours et après des fortes tempêtes de vents, soulignent bien la manifestation de l'érosion éolienne dans de nombreux endroits des Hautes Plaines Sud Oranaises. Les différentes campagnes de terrain effectuées m'ont permis de localiser les zones à dépôt sableux récents (qui n'ont pas été cartographiés auparavant ou mentionnés par les cartes existantes).

Les différentes missions de terrain ont été préparées préalablement à partir des images satellitaires premièrement à l'aide d'une composition colorée, obtenue en croisant trois canaux (TM1, TM3 TM4) d'une image Landsat TM, ainsi qu'à partir des images « Google Earth ». Ces images, nous ont permis de délimiter des zones homogènes. Ceci, nous a aidé à cibler les zones à visiter. En effet, à l'aide du GPS, nous sommes sortis sur le terrain avec les coordonnées géographiques des sites choisis.

Pour cela, il a fallu établir des corrections géométriques des images satellitaire, afin qu'elles se superposent aux cartes et à la réalité terrain.

Plusieurs méthodes de relevé de terrain ont été adoptées :

Nous avons travaillé sur des « transects » selon une direction bien définis. Les « transects » à grande échelle, sont utilisés pour le traitement des images satellitaire, dans les quels ont été déterminés les états de surface rencontrés et leur étendue selon un tracé linéaire : il s'agit du type de sol, du type de couvert végétal et du taux de recouvrement, du type d'accumulation sableuse ainsi que l'espacement entre elles, du type d'affleurement et enfin les aménagements (reboisement, route et autres etc..). A l'aide du GPS nous avons pu déterminer les altitudes et les coordonnées géographiques des différents points. Les transects à petite échelle sont des parcelles représentatives de 50 m de longueur, dans les quelles nous avons échantillonné, puis déterminé le type de couverture de végétation avec leur hauteur et leur taux de recouvrement, ainsi que l'état du sol. Afin de mieux balayer l'espace étudié, les transects ont été choisi selon une direction générale W/E, puis une direction secondaire S/N. Ceci se traduit par :

- Un recueil des états de surfaces successifs.
- Des prises de photographies afin de compléter et d'affiner l'étude.
- Un prélèvement d'échantillons destinés pour l'analyse granulométrique.

L'échantillonnage a concerné surtout les barkhanes, avec des prélèvements superficiels et en profondeur sur le bas du versant au vent, au milieu de celui-ci et sur le sommet (crête), ainsi que sur le côté sous le vent.

- La direction en particulier des barkhanes et des rides, les dimensions des accumulations ainsi que leur morphologie.

Parallèlement, nous avons procédé au calcul du taux de recouvrement végétal avec l'une des méthodes utilisée par les botanistes. Il s'agit de prendre un carrée de 10x10m, à l'intérieur duquel on fait une estimation à l'œil nu.

1-2 Traitement de données.

Les images utilisées pour notre analyse, sont le **Thematic Mapper (TM)** 2001 et 2004, l'image **Aster** 2008 et les images **Google Earth** à haute définition :

- image NASA GeoEye prise le 27 juillet 2007 pour les alentours de la ville de Mécheria
- image NASA GeoEye prise le 29 août 2007 pour Ain Benkhelil
- image© GeoEye Google Europa Technologie prise le 27 juillet 2007 pour les alentours de la ville de Naama
- image© DigitalGlobe prise le 10 août 2004 pour la région d'Aïn Séfra

Ces extraits d'image ont été acquis gratuitement depuis *Google Earth*© directement à partir de l'écran de visualisation. Afin d'évaluer le géoréférencement proposé par *Google Earth*© un certain nombre de relevés de points de repère a été effectué sur le terrain lors d'une mission réalisée en février et mars 2008, à l'aide d'un GPS Garmin.

L'ensemble des données utilisées est traité à l'aide des logiciels *ENVI™ 4.2 (ITT Corporation)*, consacré au traitement d'images, de *Mapinfo 9.0* et *Mapinfo 11*, consacrés à la cartographie et au système d'information géographique (SIG) et pour développer les approches spatiales. Le logiciel *Statgrade 4.0* est enfin utilisé pour le calcul des indices granulométriques et la réalisation des courbes cumulatives.

Nous avons opté pour une classification supervisée basée sur la méthode du maximum de vraisemblance qui a été utilisée sur les canaux choisis (TM1, TM3 TM4). L'image ainsi classée fait ressortir les phénomènes suivants:

- Accumulation Sableuse à différentes épaisseurs.
- Voile Sableux.
- Zone de déflation.

Ces deux phénomènes obtenus après classification de l'image vont être transférés sur les cartes topographiques au moyen d'une vectorisation pour être par la suite intégrés dans un

SIG avec d'autres couches d'information telles la toponymie, les points côtés, l'infrastructure, les bassins versant et autres.

Le travail réalisé en 2007 par Boukholkhal Kh. dans son magister, a été pris comme document de base. Ce dernier a été modifié puis complété.

Pour l'indice de végétation utilisé, nous avons opté pour le MSAVI au lieu du NDVI (le plus souvent utilisé pour détecter la végétation) car il demeure le meilleur descripteur de l'environnement végétal dans les milieux arides et semi-aride d'après Qi et al. (1994). Cet indice se caractérise par un bon potentiel pour minimiser les propriétés optiques des sols nus (A. Bennari et al. 1999).

1-3 La cartographie.

Le traitement cartographique des données consiste dans un premier temps à la digitalisation des zones homogènes obtenues à la suite de la classification supervisée. La numérisation s'est faite avec le logiciel Mapinfo 9.0 et 11.0. Puis, il fallait homogénéiser les légendes. Pour ce qui est de l'image Aster, et du fait qu'elle présente une bonne résolution, nous avons opté pour la photo interprétation, donc à une digitalisation des zones homogènes uniquement sur la composition colorée. Toutefois, la disponibilité des images à très haute résolution (de l'ordre de 1 m par pixel) sur Google Earth, nous a conduit à soumettre ces images à différents traitements et nous a permis de réaliser des cartes-diagnostic, en particulier pour les études de cas d'ensablement.

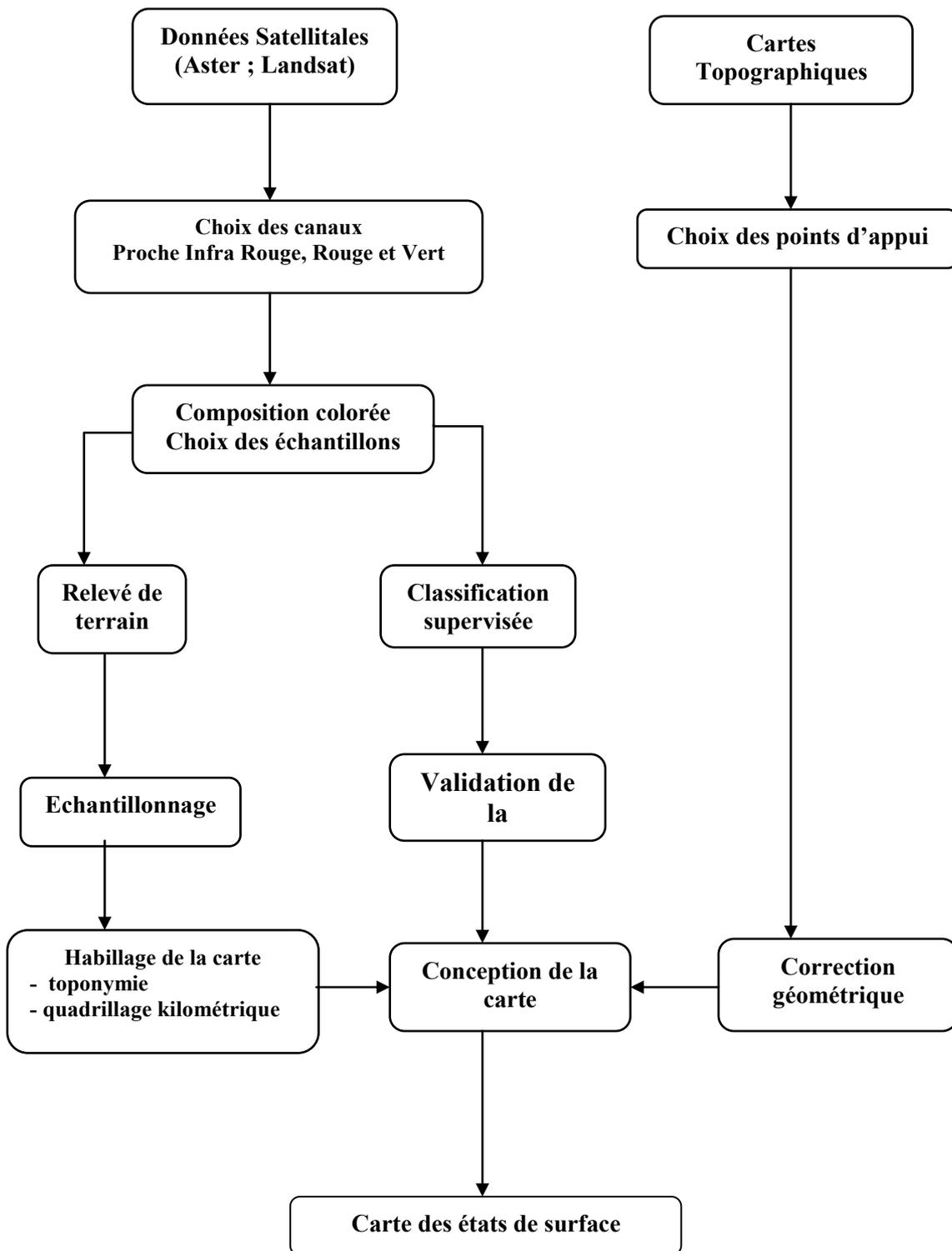


Fig. 19 : Méthodologie générale adoptée.

II - ETAT DES LIEUX :

D'après le dictionnaire (Nouveau Petit Robert, 1993), la désertification se définit comme *la transformation d'une région en désert, sous l'action de facteurs climatiques ou humains*. Dans le domaine scientifique, le concept est employé depuis une cinquantaine d'années mais a été l'objet de diverses controverses et redéfinitions. Jusqu'au début des années 1980, la désertification était présentée comme une avancée du désert sur les terres productives. En fait, beaucoup d'auteur disent que la désertification n'est pas une extension des déserts existants mais résulte d'une transformation du milieu liée à l'action de l'homme (en quelque sorte il s'agit d'empiètement des aspects ou caractéristiques du désert sur des zones productives).

La définition de référence adoptée actuellement est celle établie lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) qui s'est tenue à Rio de Janeiro en 1992 : *Le terme désertification désigne la 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*.

Selon les définitions, le rôle de l'homme dans le processus de dégradation des terres est plus ou moins mis en avant par rapport à des causes « naturelles » telles que les variations climatiques. Ainsi, d'après la FAO (1976), les terres se dégradent lorsque l'utilisation qui en est faite par les hommes n'est pas compatible avec leurs caractéristiques.

Dans notre cas, en zone pratiquement pastorale, la désertification est essentiellement liée à une surcharge animale et un surpâturage de ces zones sans temps de repos suffisant pour leur permettre de se régénérer. Ce phénomène est essentiellement imputable à une absence de gestion raisonnée des pâturages - notamment des pâturages collectifs -, ainsi qu'à l'accroissement des effectifs pouvant être favorisé par certaines politiques d'intervention (transport d'eau par camion ou subvention des aliments). Il est aggravé par l'existence d'une concurrence entre l'élevage et d'autres activités humaines exploitant le milieu (telles que la cueillette, la collecte de combustible, la mise en culture, etc.) ainsi que par la diminution de la mobilité des troupeaux.

Dans les zones pastorales, la désertification se traduit essentiellement par :

- **Une dégradation de la végétation** : perte de biodiversité ; plus forte variabilité de la production herbacée en réponse aux fluctuations climatiques et capacité de remontée biologique réduite ; phytomasse exploitable trop faible par rapport aux potentialités et en diminution sur le long terme ;

- **une dégradation des sols** liée à la diminution du couvert, favorisant des processus d'érosion.
- **une diminution de la régénération des aquifères**, consécutive aux transformations du couvert végétal et du sol. Pour faire face à ces phénomènes, il paraît indispensable d'amener les différents utilisateurs de l'espace pastoral à se concerter en vue d'une exploitation raisonnée des ressources du milieu (terres, fourrages, eau) conduisant à la mise en place de règles et d'instances de contrôle de l'utilisation de ces ressources. Il paraît aussi nécessaire de gérer la taille des effectifs en adéquation avec les capacités du milieu et le système agropastoral en place.

1- Les types de formations éoliennes :

La terminologie et les définitions utilisées pour déterminer les différentes formes d'accumulations sont celles utilisées par Y. CALLOT, 2007 dans sa description des formations éoliennes.

Les formations éoliennes, de notre zone d'étude se présentent selon leur tailles, leur formes, leur directions et enfin leur stocks de sables. Ces caractères nous ont permis de distinguer les principaux types de modèles identifiés dans notre zone d'étude, qui sont:

Le sable "libre" constitue la forme la plus discrète, mais la plus étendue de formation superficielle éolienne et pose souvent problème pour l'aménagement des régions sèches.

Les voiles sableux sont des couvertures sableuses fines (centimétriques) recouvrant de grandes superficies.

Les nappages sont des accumulations sableuses continues d'une épaisseur variable, en général décimétrique.

Les champs de *nebka* : la *nebka* est une petite accumulation sableuse allongée dans la direction du dernier vent efficace, formée autour et sous le vent d'un obstacle, dans notre cas, , c'est une touffe de végétation la plupart des cas.

Les « dunes en tas » ou amas sableux : ce sont des édifices dunaires sans arêtes vives sont plus difficiles à étudier que les dunes à arêtes vives, car ils n'ont pas de forme bien définie.

Les barkhanes : La *barkhane* est une dune en croissant correspondant à la limite maximale de courbure du sif sous l'influence d'un vent monodirectionnel. Elle est en pente douce au vent. Sous le vent, elle a une pente "croulante" due à l'effondrement par petites coulées successive du sable qui s'accumule au sommet du versant à l'abri du vent (Y.Callot, 2007).

La *barkhane* est la seule dune vraiment mobile se déplaçant dans une direction correspondant à la bissectrice de l'angle formé par les deux ailes (si elles sont symétriques). Elle a longtemps été considérée comme un véhicule de sable. En fait, elle freine le mouvement du

sable qui migre bien plus vite s'il n'est pas incorporé à la barkhane. Elle est donc un stock mobile de sable dans un milieu où le sable migre rapidement, mais où il est trop abondant pour pouvoir migrer aussi vite en totalité. Elle n'existe que dans des régions où le vent présente une direction dominante (sauf de tous petits édifices se formant durant un seul vent de sable et disparaissant après).

La barkhane se déplace d'autant plus lentement qu'elle est haute, car lorsqu'une barkhane grandit, le vent agit sur une surface croissant selon une fonction au carré, alors que le volume croît au cube, ce qui ralentit son déplacement. (Y. Callot, 2007).

Les dunes en aklé, d'après Y. Callot (2007), sont des combinaisons de sifs, souvent à courbure prononcée, disposées en ensembles plus ou moins rectilignes et jointifs pour donner une disposition " en dentelle ".

Le sif, est une dune allongée à crête aiguë souvent courbe en plan. Stables dans la plupart des cas, les dunes à arêtes vives sont constituées d'un ou plusieurs sifs. Ceux-ci peuvent être classés en fonction de leur courbure et de leurs combinaisons, car ils sont rarement isolés, sauf sous leur forme limite qu'est la barkhane (Y. Callot, 2007).

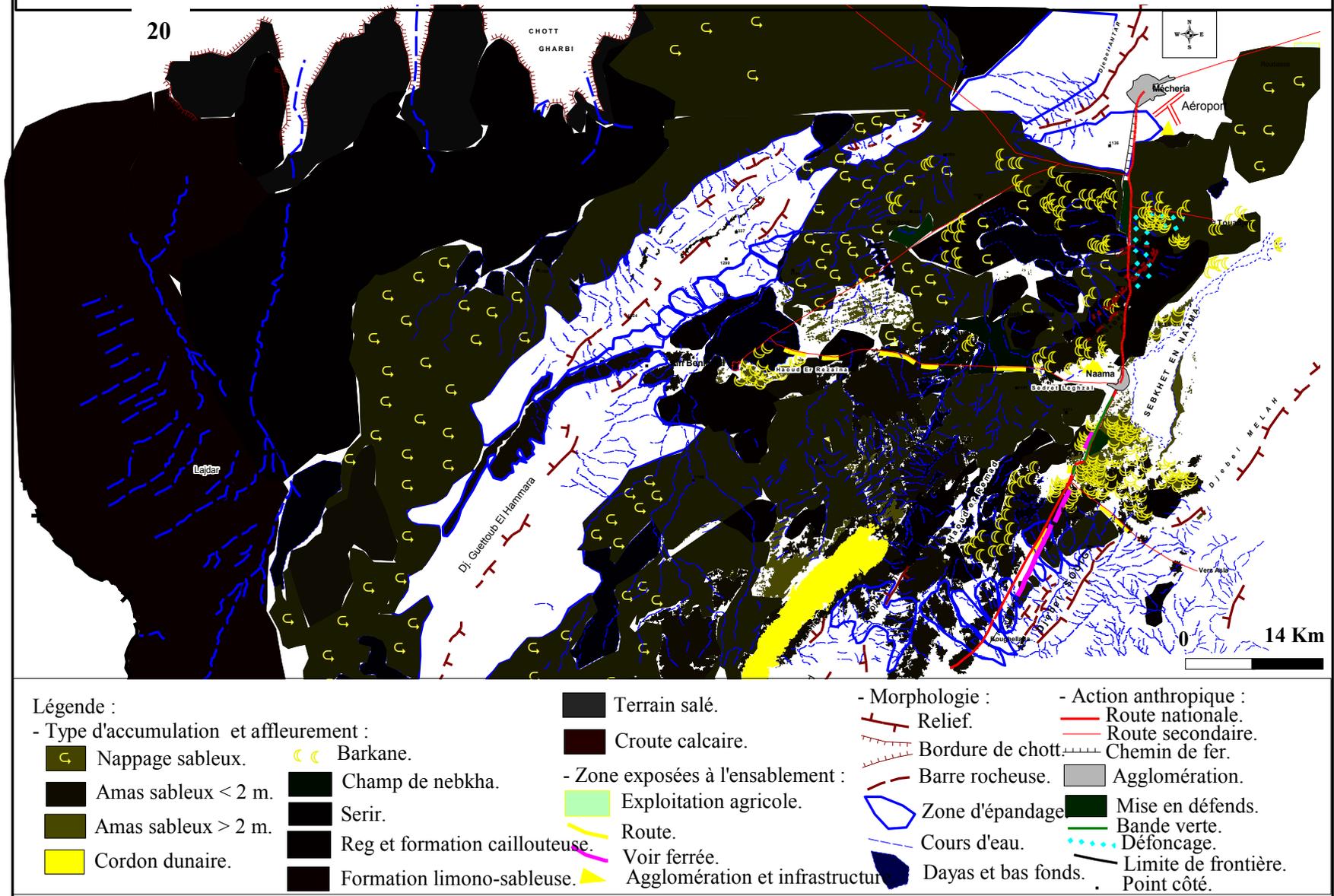
2- Les zones d'ensablement dans les Hautes Plaines Sud Oranaises.

Bien qu'ils paraissent sans gravité dans les régions arides et semi-arides, les phénomènes d'érosion éolienne peuvent se produire n'importe où du moment que toutes les conditions nécessaires à son développement sont là pour leur offrir un terrain favorable, c'est-à-dire :

Un sol meuble (sableux), sec et assez finement émiétté ; une surface relativement plane et un couvert végétal dans la plupart des cas absent ; un vent suffisamment fort pour déclencher le transport des particules.

Dans les Hautes Plaines Sud Oranaises (Fig. 20), 90% du territoire sont situés dans des zones névralgiques pouvant à tout moment manifester des signes d'accumulation de sable et d'érosion éolienne. Les zones d'ensablement se situent surtout au centre et au sud, en particulier à la sortie des couloirs créés par les djebels. Nous avons enregistré souvent une naissance de barkhanes (forme dunaire la plus fréquente) et des cordons dunaires avec apparition, de grandes dunes pyramidales, reliées par des cordons de barkhanes ou de sif.

Fig. 01 : La dynamique éolienne et les aménagements exposés à l'ensablement dans le secteur de Naama.



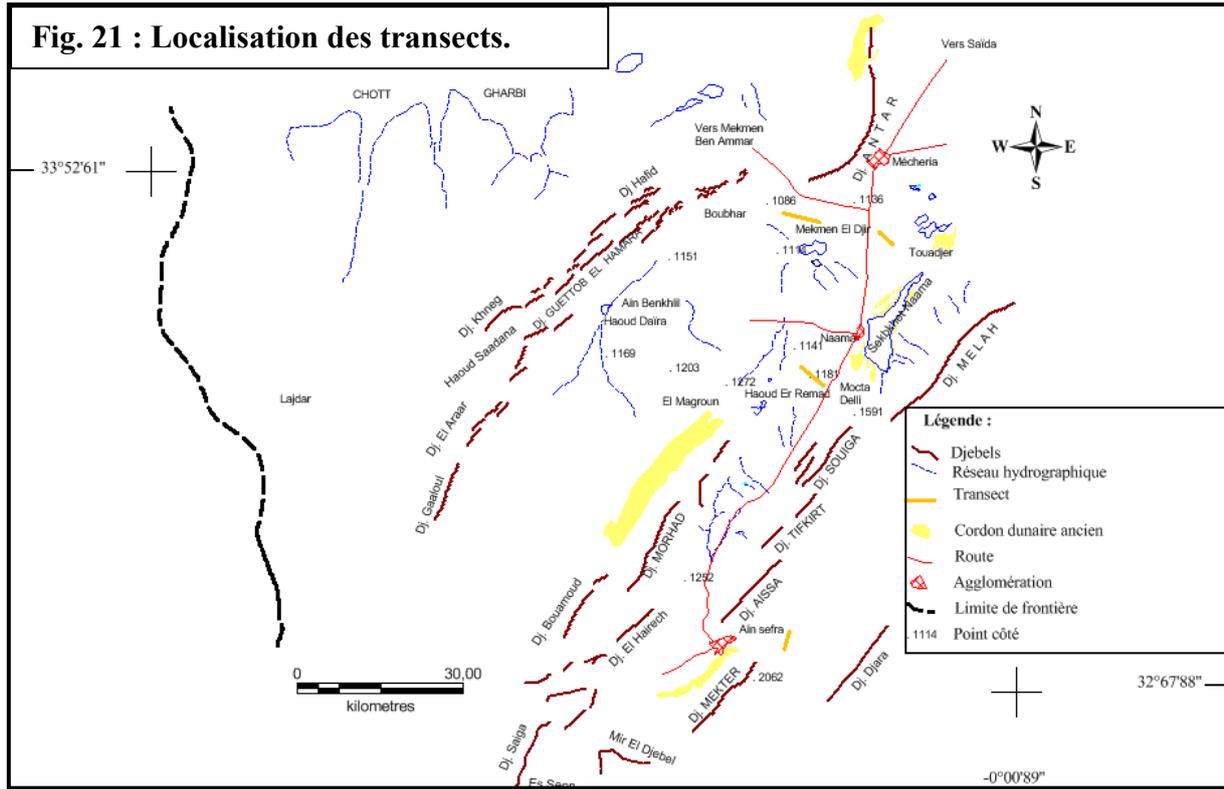
Du nord vers le sud, les accumulations les plus importantes sont celles situées sur l'extrémité occidentale du Chott Chergui et sur le versant ouest du Dj. Antar, où on observe un grand champ de dunes avec une extension vers l'Est avec des accumulations moins importantes. Un autre grand champ dunaire occupe les bordures de la Sebkhet Naama et a une grande extension sur son côté méridional. C'est un champ d'aklé à tendance dominante transverse, saisonnière. Il s'étend sur une longueur allant de 3 km à 10 km du sud vers le nord et sur une largeur de 4 à 12 km d'ouest en est. Ces dunes ont une hauteur qui varie entre 2 et 4m de haut

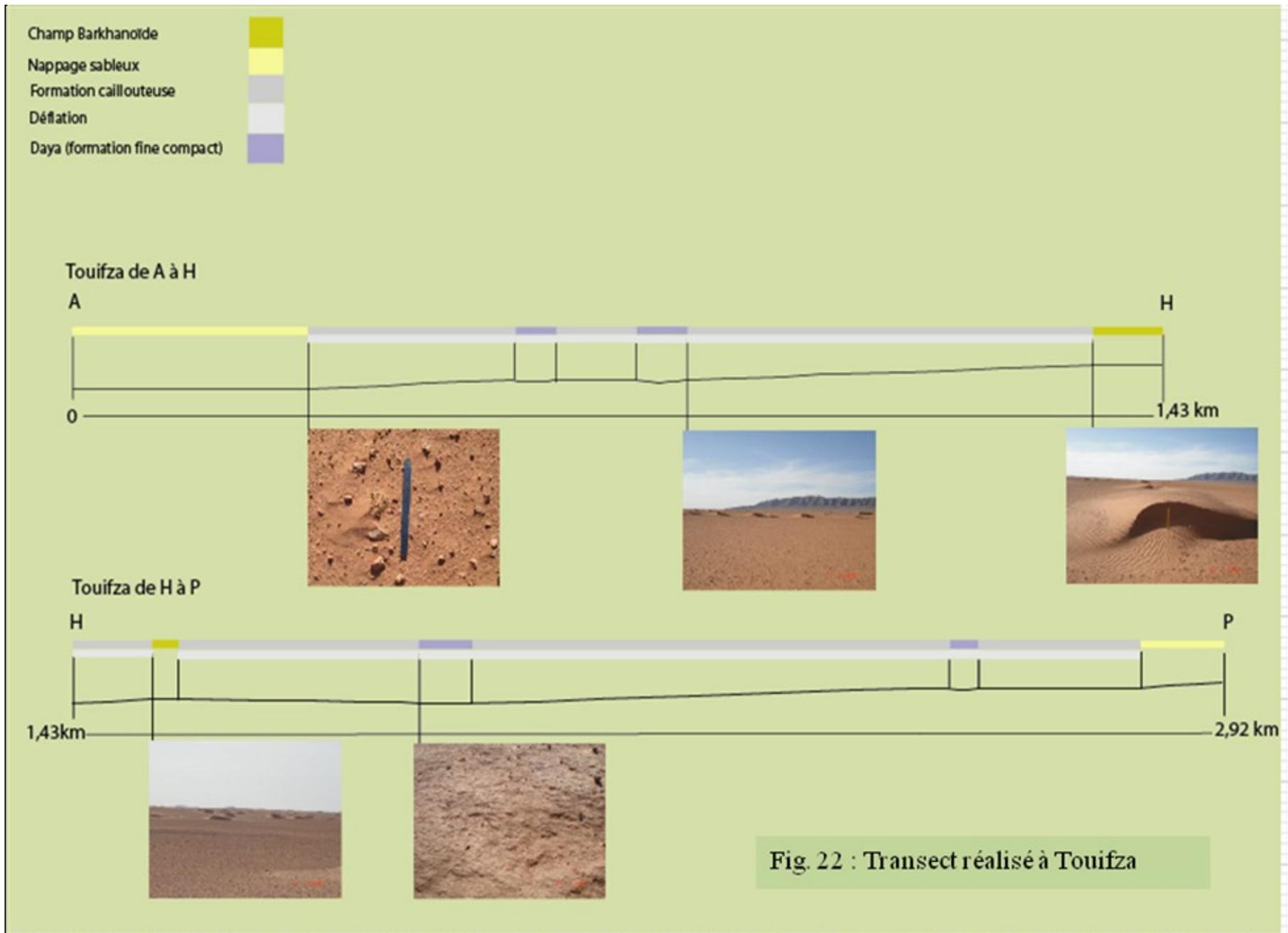
Il est relayé vers le sud, par deux autres champs, l'un, à l'ouest du Dj.Souiga et le second, plus important, sur le piémont occidental du Dj.Morhad. Au centre de la zone steppique, il y a des accumulations d'extension plus réduite (dont deux sur le piémont sud du Dj. Tendirara).

Dans les Mts des Ksours, le cordon dunaire le plus imposant est la dune d'Aïn Séfra, située sur le piémont nord de Dj. Mekter. D'autres accumulations sont moins importantes, mais spatialement plus présentes.

D'après le transect réalisé sur environ 3859 m, selon une orientation NW/SE (Fig. 21), la plaine de Naama ou plus précisément la plaine de Touifza est occupé à 79% d'un pavage caillouteux dans une matrice sableuse, d'une proportion de 9% de nappage sableux, de 6% de champ barkhane et de 5 % de daya (Fig. 22). Les nappages sableux ont le plus souvent une épaisseur moyenne allant de 5 à 10 cm. Les formes d'accumulation les plus distinguées sont de type barkhane selon la taille. Par ailleurs, les barkhanes sont réparties sur toute la zone nord, d'Est en Ouest et du Sud vers le Nord. On les observe sur les grandes étendues, au sud de Touifza, où ce sont plutôt des dièdres brakaniques, qui se disposent presque perpendiculairement à la direction des vents efficaces, mais avec une variabilité directionnelle plus complexe, favorisant l'accolement des dunes par leurs ailes au cours des changements de direction du vent. Les mêmes types de dune, s'observent à l'ouest de Horachaïa et vers Mergueb Naama, où plusieurs bancs rocheux y affleurent.

Fig. 21 : Localisation des transects.





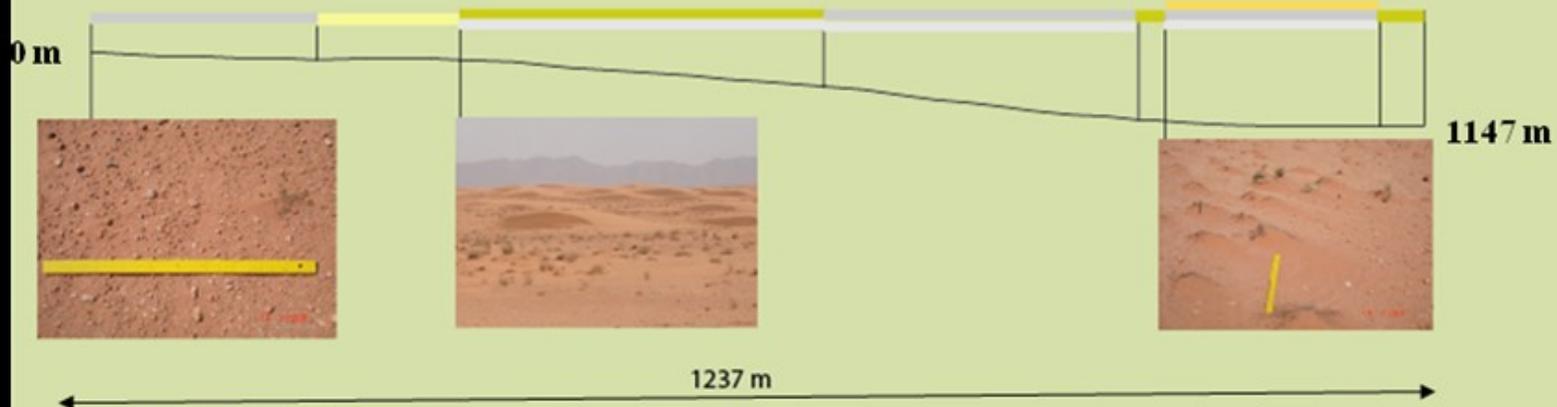
Vers la zone de Touadjer, un important champ de barkane et de dièdre barkanique, couvrent cette zone. Un second transect a été réalisé sur une distance de 1715 m de direction SE/NW (Fig. 23), où nous avons enregistré 62% de pavage caillouteux dans une matrice sableuse, 22% de champ barkhanique, 7,5% de nappage sableux, 6 % d'amas sableux et seulement 1,8 % de daya. Ceci dit, la plaine de Naama est une vaste zone de déflation et de transit de sable. Vers le sud, d'autres champs de barkhanes, sont observés vers Souiga et de part et d'autre de la nouvelle route qui mène vers Asla où nous avons établi le troisième transect, sur une distance de 1049 m et selon une direction SE/NW (Fig. 24). Les champs de barkhanes constituent une grande partie du transect avec 45%, viennent ensuite les daya et les zones de déflation avec 21,8%, le nappage sableux avec 19%, les amas sableux avec 11% et 4% du transect constituent le champ de nebkha.

Un autre champ de dune atypique, est situé en bordure de Dayet Er Remad, ainsi entre Moctadelli et Bougellaba.

- Champ Barkhanoïde
- Amas sableux
- Nappage sableux
- Flèches saieuses
- Formation caillouteuse
- Déflation
- Rootage



Touadjer SE/NW de A à G



Touadjer SE/NW de H à K

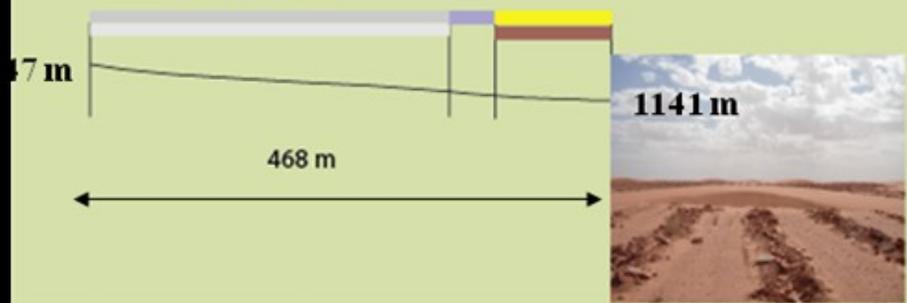
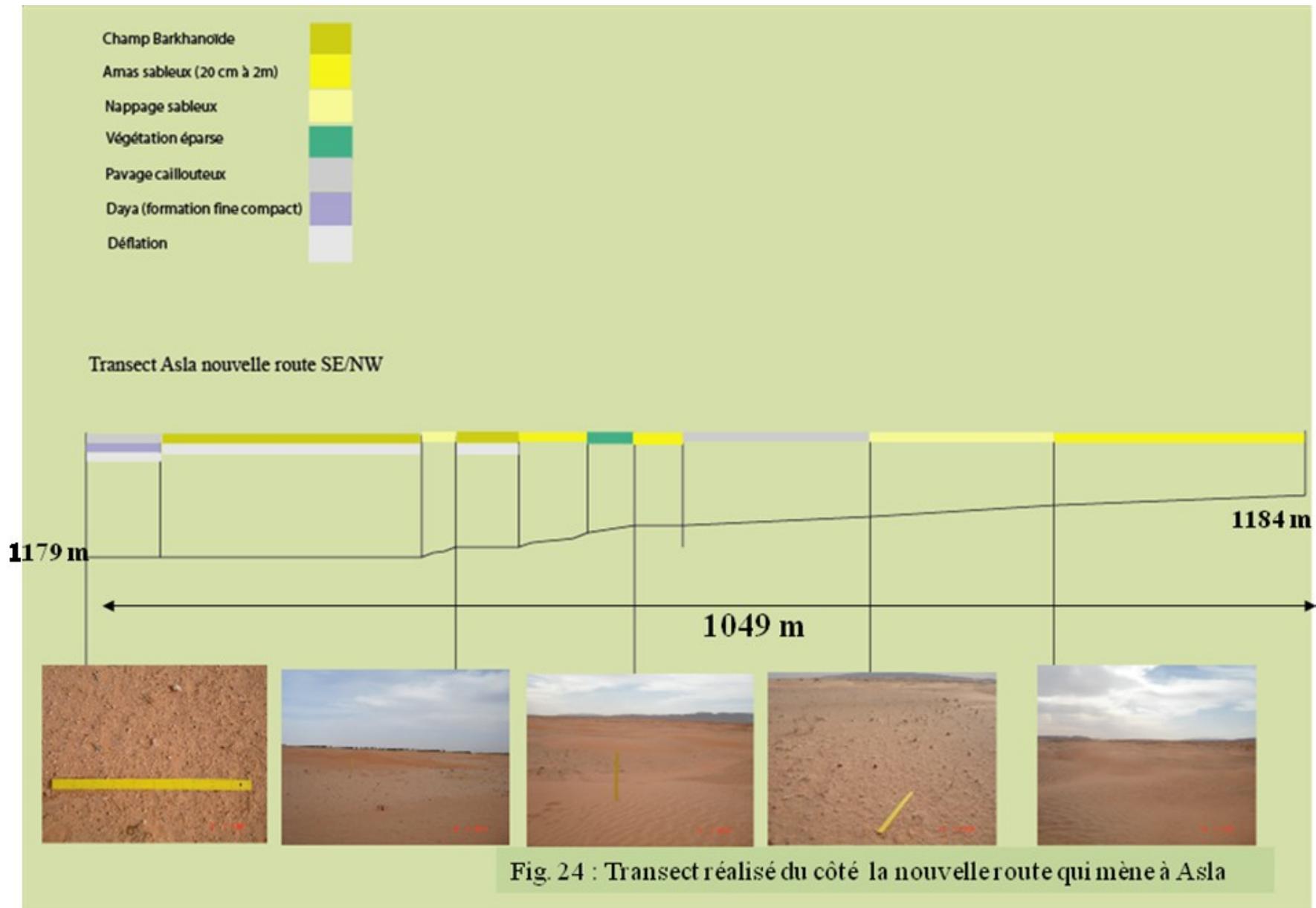


Fig.22 : Transect Touadjer



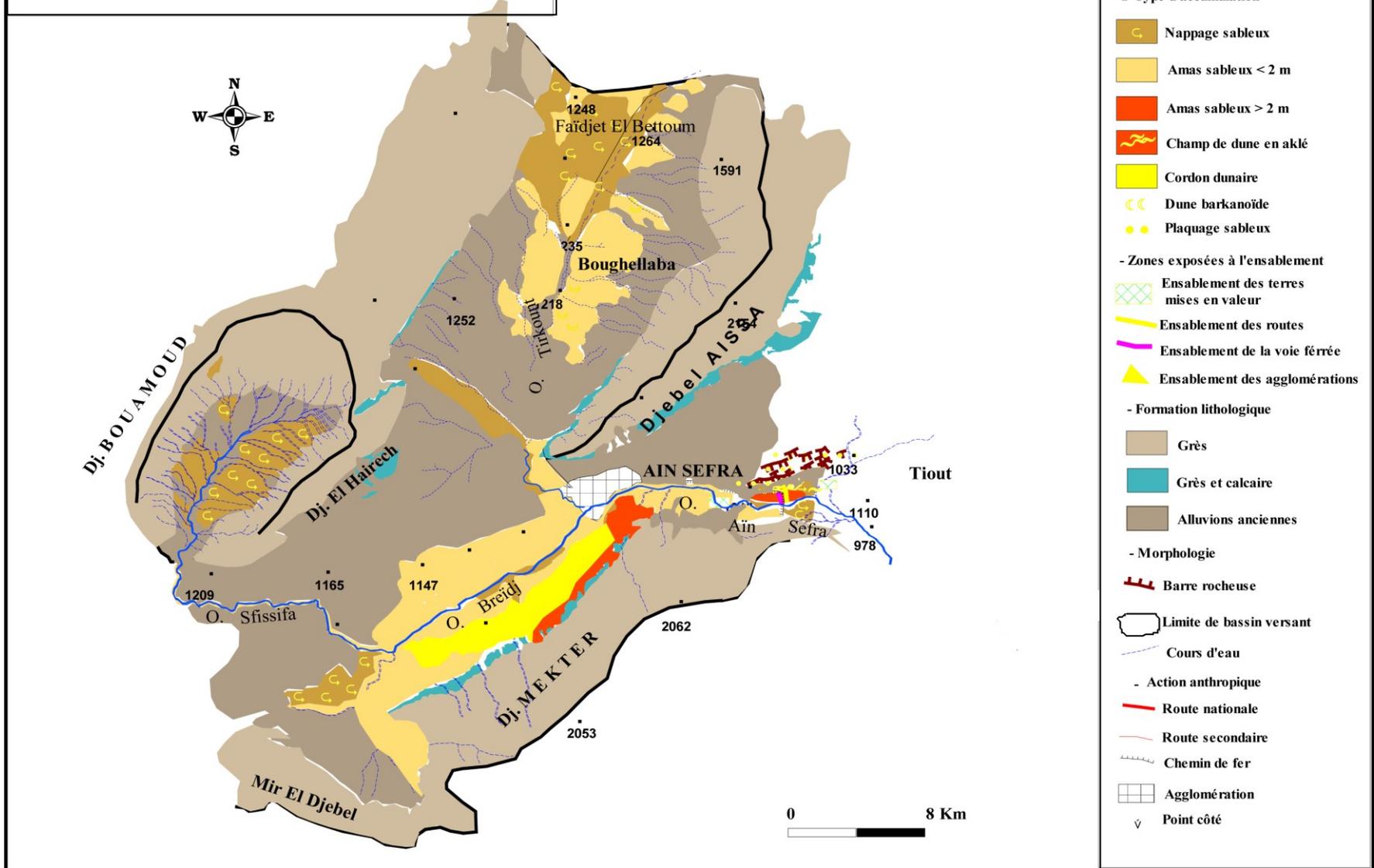
Vers le sud, dans le couloir d'Aïn Séfra - Tiout, mis à part le cordon dunaire quaternaire longeant le piémont nord du Dj Mekter sur une superficie de 1822 ha, la morphologie dunaire la plus fréquente est les dunes en aklé, disposées en ensembles plus ou moins rectilignes et jointifs, que nous pouvons les observer de part et d'autre de l'Oued Breïdj, vers l'extrémité est du cordon dunaire et sur la terrasse gauche de l'oued Aïn Séfra (Fig. 25).

Les amas sableux, constituent de grandes étendues le long des oueds de Tirkount, de Breïdj et d'Aïn Séfra avec une épaisseur allant de 50 cm à plus de 2 m.

Les nappages sableux se localisent en amont de ces oueds.

Nous devons souligner que le bassin versant d'Aïn Séfra est très riche en formation sableuse, cela revient forcément aux formations gréseuse et que constituent ces principaux djebels. Par ailleurs les lits des oueds sont totalement constitués de formation sableuse.

Fig. 25: La dynamique éolienne et les aménagements exposés à l'ensablement dans la zone d'Aïn Sefra.



III - L'EXTENSION ACTUELLE DE L'ENSABLEMENT.

La figure 25 illustrant l'évolution de l'ensablement entre 1987 et 2004, permet de dire qu'il y a une nette extension de l'ensablement dans les Hautes Plaines Sud Oranaises. Par ailleurs l'extension s'effectue dans tout les sens et plus particulièrement du sud vers le nord. Il faut noter que la mobilité des sables, dont nous faisons allusions, concerne aussi bien les dunes dont la hauteur dépasse les 2 m, que les dunes dont l'épaisseur est inférieure à 2 m. Le résultat obtenu de cette évolution, reste très logique, du moment que les dunes de faible épaisseur s'étendent plus rapidement que les dunes, les plus hautes.

En effet, le croisement des images satellitaires 1987 et 2004 (Fig. 26), a montré une évolution plus ou moins accélérée du phénomène d'ensablement. En 1987, mis à part le cordon dunaire d'El Magroun et le champ de dune situé au sud de la sebkha, ensemble constituent une superficie de 9565 ha, qui en sorte ce sont des dunes anciennes plio-quaternaire. En effet, l'ensablement n'était pas aussi spectaculaire qu'il est aujourd'hui. Néanmoins, pendant cette période (1987), les zones d'ensablement sont déjà présent et occupent un peu moins de 2,6% (dunes vives de hauteur > à 2m et dunes vives de hauteur < à 2m) soit 12 035,5 ha. Cette extension s'est déroulée au détriment surtout de l'alfa. « *Dans le Sud-Oranais, ce sont 1,2 millions d'hectares qui ont été affectés entre 1983 et 1990: 700000 ha de peuplements clairs dans lesquels l'alfa a complètement disparu et près de 500000 ha de nappes denses dans lesquelles la biomasse verte de l'alfa est passée en moyenne de 1750 à moins de 100 kgMS/ha (Aidoud et Touffet, 1996) »*. Cependant, 17 ans après, la situation est devenue alarmante, elle a été marquée par une extension remarquable des aires d'ensablement sous l'effet de l'érosion éolienne. Nous enregistrons une évolution spectaculaire des surfaces ensablées. Les nappages sableux couvrent environ 54% (soit 264 000 ha) ; viennent ensuite les accumulations sableuses dont l'épaisseur est inférieure à 2 m avec 14,4% (soit 69 170 ha) et les dunes ayant une hauteur supérieure à 2 m avec 2,8% (soit 13 870 ha).

Nous avons retenus plusieurs directions du sens de déplacement des sables, qui varient dans le temps et dans l'espace. D'après les observations faites lors des différentes missions de relevé de terrain, ainsi que le résultat obtenu à partir du croquis d'évolution de l'ensablement, les données n'étaient pas aussi conformes à l'étude théorique de déplacement potentiel de sable. Dans les Hautes Plaines Sud Oranaises, nous avons pu localiser plusieurs zones où la mobilité des sables est très caractéristique, et dépend essentiellement du contexte géographique, voir géomorphologique dans lequel elle se trouve.

Du nord vers le sud nous avons :

- les Zones de Touifza, de Touadjer et de Rokbate el Horachai. Elles sont situées au centre des Hautes Plaines Sud Oranaises et sont exposées à tous les vents. Les principales orientations observées sont : WNW-ESE ; NW-SE ; W-E ; NNW-SSE ; N-S et SW-NE.

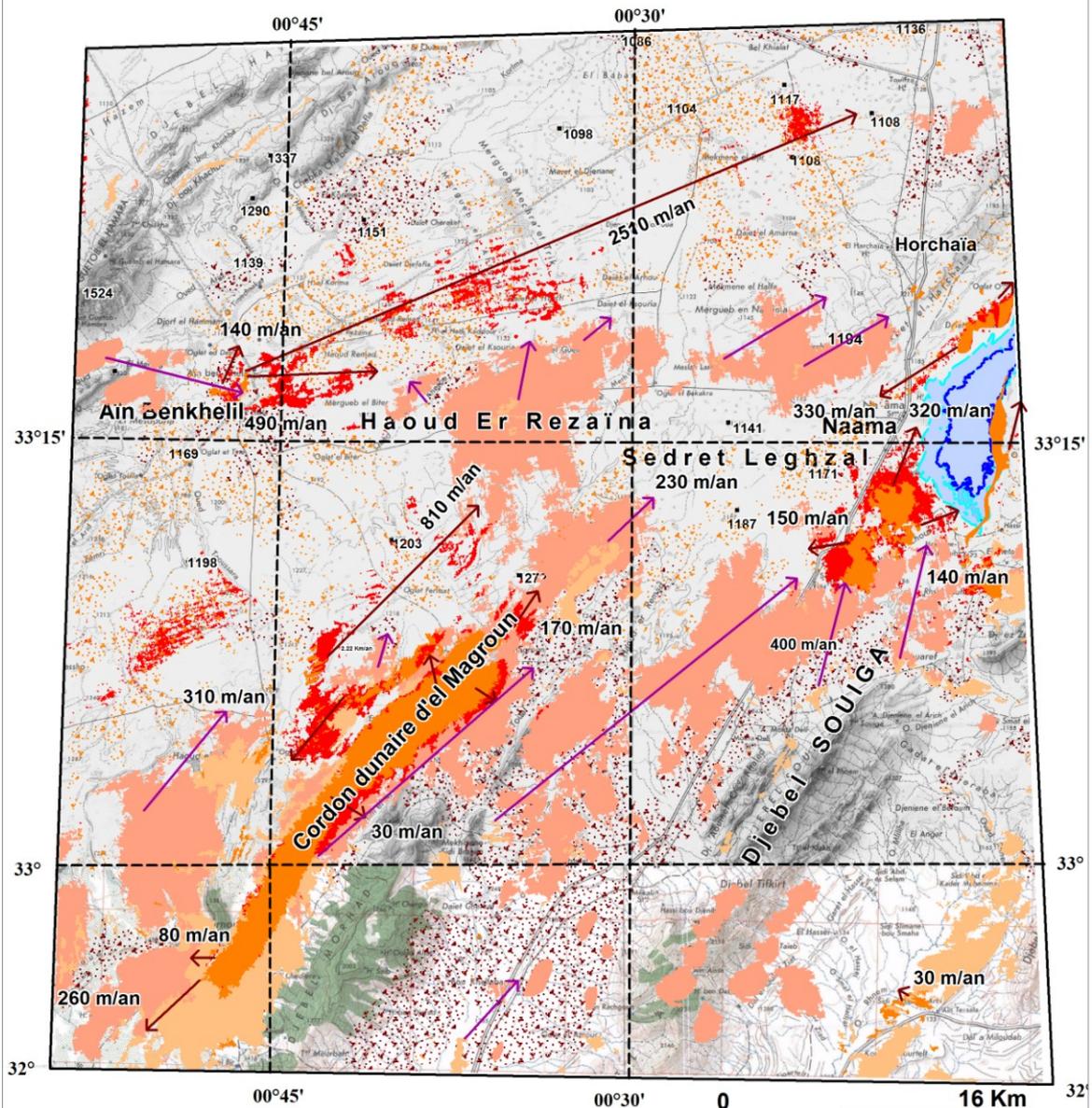
- La zone de Roudassa, un peu décalée vers le Nord-Est, à une distance d'environ 7km à l'Est de djebel Antar. Dans cette zone, les directions de déplacement retenues sont : SW-NE ; S-N et NW-SE.

Au centre, le cordon dunaire d'El Magroun, connaît lui aussi une extension, vers le Nord-Est et vers le secteur Ouest et SSW. Ceci se traduit par une étendue de champs de dunes d'une épaisseur généralement inférieure à 2 m.

Le champ de dune situé au sud de sebkhat Naama, a connu une nette progression, il s'étale aussi bien vers le sud que vers le nord. La direction prédominante de la mobilité des sables est vers le NW.

Du côté d'Aïn Benkhelil, les dunes sont très mobiles ; elles sont parfois freinées par les brises vents dressés autour des exploitations. Elles se dirigent principalement vers le nord, nous avons enregistré des directions du NW, N et NE.

Fig. 26 : Evolution de l'ensablement dans les Hautes Plaines Sud Oranaises entre 1987 et 2004, d'après K. Boukholkhal (2007).



Légende :

- | | | | | | |
|---|---|---|---|---|------------------------------------|
|  | Dunes de hauteur > à 2m en 2004. |  | Petites nebkhas, protodunes et nappages épais < à 2m en 1987. |  | Sédiments de crues d'oued en 1987. |
|  | Dunes de hauteur > à 2m en 1987. |  | Sens de l'extension des dunes de hauteur > à 2m. |  | Sebkhat Naama en 2004. |
|  | Petites nebkhas, protodunes et nappages épais < à 2m en 2004. |  | Sens de l'extension des dunes de hauteur < à 2m. |  | Sebkhat Naama en 1987. |
|  | Sédiments de crues d'oued en 2004. | | | | |

IV- LA REPARTITION DES DIFFERENTES ACCUMULATIONS EOLIENNES DANS LES HAUTES PLAINES SUD ORANAISES.

Ici, et selon la classification établit par Y. Callot (2007), concernant les formations éoliennes, nous étudierons successivement les accumulations éoliennes de faible épaisseur (c'est-à-dire <à 2 m), les petits édifices, les accumulations sableuses dépourvues d'arêtes vives et > à 2 m, les accumulations sableuses avec arêtes vives et les grands édifices dunaires ou cordons dunaires.

1- Les accumulations éoliennes de faible épaisseur :

Il s'agit en général de toutes les formes de voile sableux, d'amas sableux < 2m et des formes dunaires individualisées et discontinues.

Les aires couvertes par ses formes sont diverses et très dispersées dans notre région :

Les zones autre fois irriguées et aujourd'hui à l'abandon ; cela concerne un certain nombre d'exploitation agricole ;

Les zones de parcours ;

Les zones d'épandage et de glaciais, qui concentrent le ruissellement ;

Les lits majeurs des oueds, comme celui de Sfissifa, celui de Breïdj et celui d'Aïn Séfra, qui constituent une zone de dépôt de sables.

Ces différentes formes, sont très répandues autour de Naama. De ce fait, la quantité de sables accumulés est très importante et constitue un stock impressionnant, qui participe à l'alimentation d'autres édifices dunaires plus importants.

Le nappage sableux couvre des superficies importantes, sur une bande assez large, d'ouest en est, intercepté au milieu par le massif du Guettoub El Hammara.

L'importante déflation dans cette zone, laisse apparaître des surfaces avec une formation caillouteuse un peu partout dans la plaine de Naama : au sud d'Aïn Benkhelil, aux alentours de Haoud er Remad, au nord-est de Haoud er Rezaïna et au sud-ouest de Touifza où de grandes étendues de reg et de surfaces caillouteuses sont observés (Fig. 20).

Les amas sableux, dont l'épaisseur ne dépasse pas 2 m, occupent eux aussi de grandes surfaces. Ils se localisent souvent près des obstacles (talus de route ou de la voie ferrée, affleurement rocheux), ou en bordure des exploitations agricoles. Ces accumulations occupent une grande étendue, entre Haoud er Rezaïna et Haoud er Remad, sur le côté sud de la route qui relie Naama à Aïn Benkhelil. Une autre portion, moins importante se trouve sur le côté nord de cette route. Une superficie, non négligeable est distinguée à l'ouest de la ville de Naama. Aux alentours, de Haoud er Remad, sur un large rayon, les amas sableux s'étendent vers l'est jusqu'aux pieds monts de Dj. Souiga vers la zone de Mocta Delli.

Contrairement au secteur nord qui est une zone de plaine, assez large, les nappages sableux ne trouvent pas assez d'espace pour s'étendre dans la vallée d'Aïn Séfra. Cela est bien apparent, sur le bassin versant de l'oued Sfisifa et au nord de Boughellaba. Par contre, ce sont les amas sableux, de moins de 2 m, qui couvrent le plus de surface. On les observe tout au long des lits des oueds Sfisifa et Breïdj, ainsi que sur ses terrasses des deux rives, et sur le lit de l'oued Aïn Séfra et sur principalement sur sa terrasse de rive droite.

2- **Les petits édifices** :

Nous entendons par là les champs de nebkas qui occupent des espaces moins importants, comparés à ceux occupés par le nappage sableux. Elles traduisent la direction du dernier vent efficace. Leur taille, liée à celle de l'obstacle, est faible, comprise dans la plus part des cas, entre 20 cm et 1 m de long, sur 10 cm à 50 cm de large. Leur hauteur varie entre 5 et 30 cm (photo 12). Il est possible que la variabilité directionnelle des vents, contrarie l'évolution de ces formes en déplaçant à chaque fois la charge sableuse déposée lors de la tempête précédente, ce qui ne leur permet pas d'augmenter de taille.

Les différents types de nebka observées dans notre région, sont soit :

- Sous forme de languette ou en flèche orientée selon la direction du dernier vent.
- Sous forme ovoïdale, formant un cercle autour de l'obstacle avec une légère pointe du côté sous le vent.
- Sous forme de micro nebkas centimétriques qui se développent à l'abri de petits cailloux et de graviers (photo 12 c). Ces micros nebkas s'alignent en quelques minutes en direction du vent efficace.

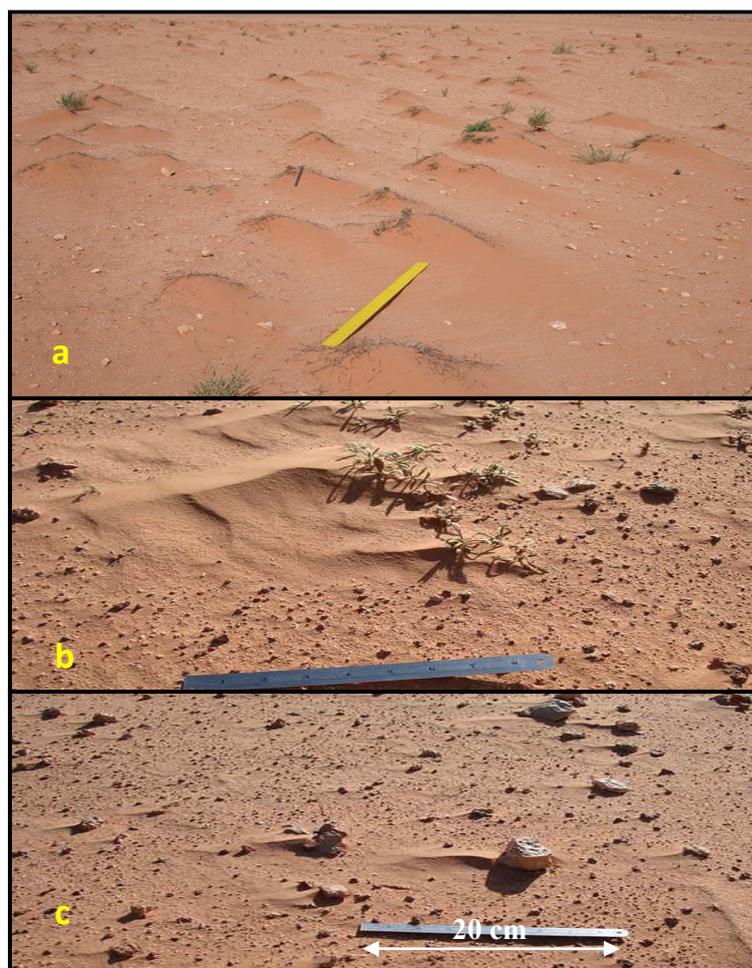


Photo n° 12 : Nebka et flèches sableuses. a : véritable champ de nebka avec une pointe du côté sous le vent ; b : petite nebka et flèche sableuse, sa taille est liée à la hauteur de la plante ; c : nebkas centimétriques qui se développent à l'abri de petits cailloux et de graviers.

Un champ de nebka assez vaste, s'observe sur le côté nord de la route qui relie Naama et Aïn Benkhelil, un autre existe aussi sur la bordure droite de la route nationale RN6 à six kilomètres au sud de la ville de Naama, en se dirigeant vers Ain Séfra. De même, on peut rencontrer ce type de formation à l'ouest de Horchaïa, au sud de Mekmen El Djir.

Les principales orientations déterminées par les nebkas, que nous avons enregistrés lors de nos différents passages sont : WNW-ESE ; NW-SE ; W-E ; NNW-SSE ; N-S et SW-NE.

Signalons, que nous n'avons pas croisé ce type d'édifices dans la vallée d'Aïn Séfra.

3 - Les dunes sans arêtes vives :

Il s'agit encore une fois, des amas sableux, mais cette fois ci, avec une épaisseur supérieure à 2m. Ils sont parfois, mélangés à des dunes, de type "barkhanes", de plus grandes dimensions, avec tous les intermédiaires, montrant le passage d'une forme à l'autre (Y. Callot, 2007).

Ce type d'accumulation, s'observe à proximité des grands cordons dunaires, comme celui d'El Magroun, vers sa partie ouest et sa partie nord-est et au sud et à l'est de Sebkhate Naama.

On le voit aussi du côté de Boughellaba (Photo 13). Ils ont des dimensions assez grandes. Ils peuvent atteindre, une longueur qui varie entre 20 et 200 m et des largeurs situées entre 10 m et 90 m dans plusieurs endroits, leur hauteur est le plus souvent comprise entre 2 et 3,5 m.

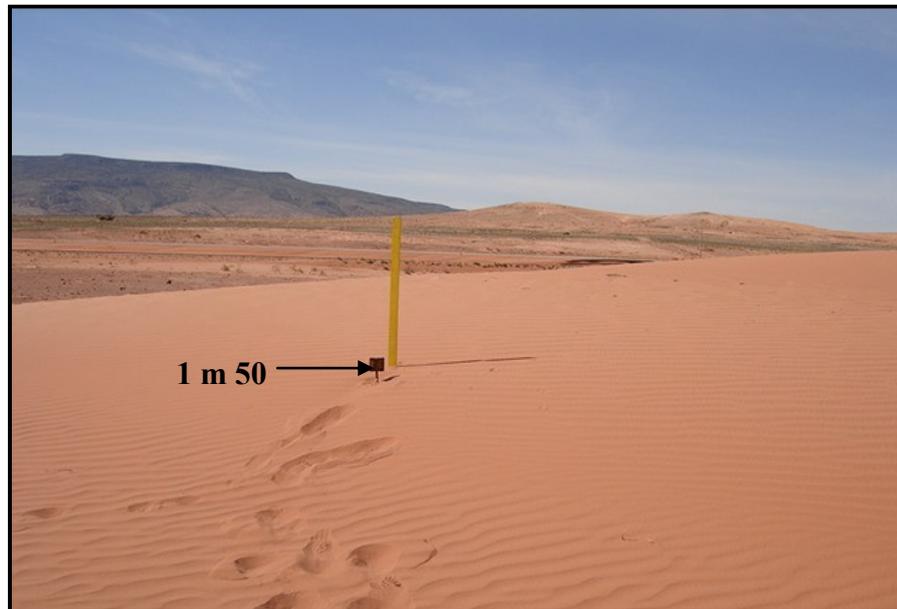


Photo 13 : Boughellaba : amas sableux d'une épaisseur supérieur à 2 m.

D'autres part ces accumulations sont observées, en particulier sur la retombée est de la grande dune d'Aïn Séfra. Elles occupent un espace tellement vaste, qu'il est difficile de les cerner. Ces accumulations, peuvent être considérées comme une zone source de sable, pour la région est (en particulier la zone de Tiout).

4 – **Les dunes à arêtes vives** :

On y distingue les barkhanes et les sifs. Ces formes d'érosion et d'accumulation, connaissent une évolution rapide dans leurs déplacements et leurs structures.

Dans la plaine de Naama, la morphologie dunaire la plus fréquente est la barkhane ou la proto dune barkhanoïde (dune à morphologie aérodynamique avec un versant pentu avec souvent un seul bras ou une corne visible). Spatialement, à l'avant des barkhanes se disposent de petites dunes atypiques (proto dunes) longilignes, en continuité avec celles-ci. Les *barkhanes* peuvent être divisées en deux groupes selon leurs dimensions :

- un groupe de dunes ont 35-40 m de long, 16-20 m de large et 2 m de haut ;
- un groupe de dunes de 40 à 60 m de long, 20-30 m de large et 2-3 m de haut.

Les proto-dunes mesurent 11-20 m de long, 20-30 m de large et 0.5-1 m de haut.

L'agencement spatial de ces divers dépôts éoliens est particulier : une série de bandes de terrains de quelques 500 m de large et de plusieurs km de long, orientées NE/SW ou NNE/SSW (parallèlement aux chaînons montagneux) comporte de petits champs dunaires (sorte d'essaim de dunes), de quelques centaines de m de long et de large (100 à 300 m) et espacés de 150-200 m (Fig. 27). Dans chaque petit « erg », sur les bordures se trouvent les dunes les plus petites (barkhanes et proto dunes du 1^{er} groupe) reliées vers l'avant par des flèches sableuses. Le centre est occupé par les dunes plus volumineuses (du 2^{ème} groupe). L'espacement des dunes à l'intérieur de chaque petit « erg » diminue généralement du N vers le S passant de 25-30m à 17-20 m puis 8-10 m et 3-5 m. L'espace inter dunaire et celui entre les différents petits « ergs » est soit « nappé » de sable, soit caillouteux, mais avec des voiles sableux et de petites flèches par endroit.

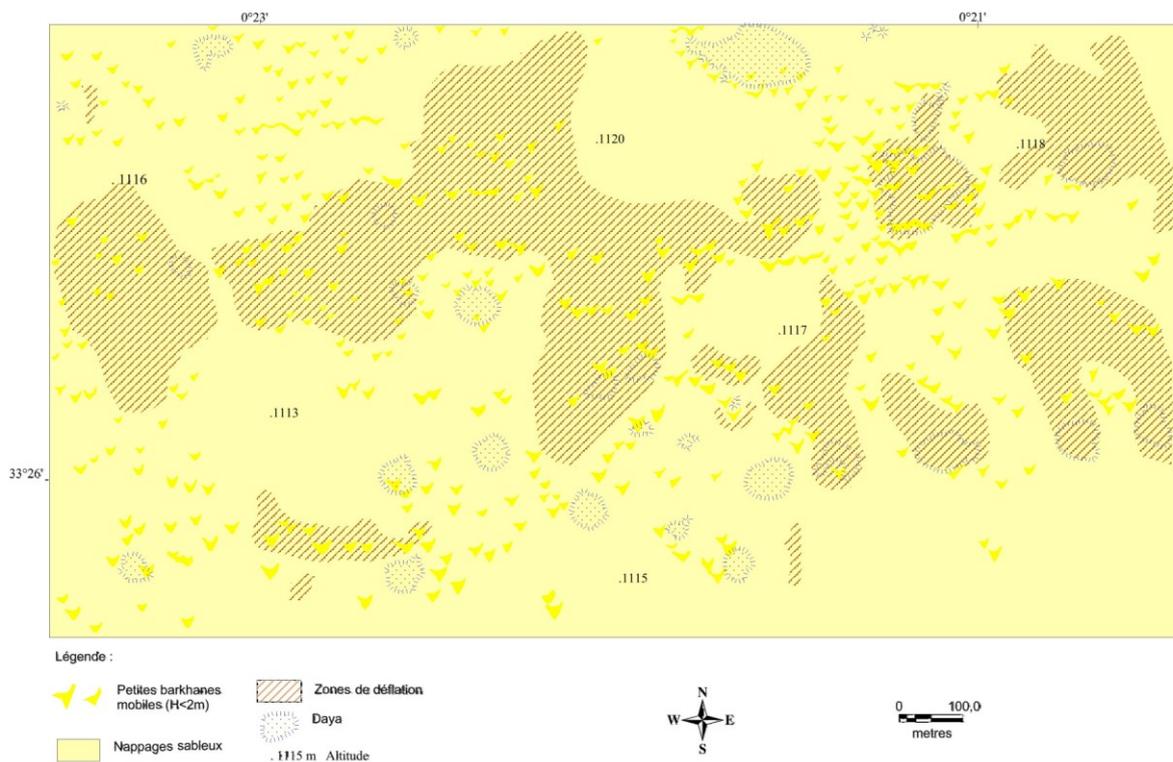


Fig. 27 - Centre de la plaine de Naama : essaims de petites barkhane et de proto dunes très mobiles.

La plaine de Naama est considérée comme un espace à haute énergie éolienne, par rapport au secteur sud. C'est ce qui explique en partie, la grande présence de barkhanes dans cette zone. Il s'agit d'une forme d'accumulation sableuse liée à un régime de vent suffisamment stable et par conséquent très mobile ; elle est la plus menaçante pour l'ensablement vu sa capacité de déplacement rapide. Sa taille varie le plus souvent entre 1 et 2 m de haut et de 10 m à 30 m de

large, sauf au NE d'Aïn Benkhelil où les barkhanes sont les plus importantes (elles peuvent atteindre 4 à 5 m de haut et une largeur qui peu dépasser 50 m. Ici, les barkhanes sont toujours dirigées vers le secteur nord (photo 14).

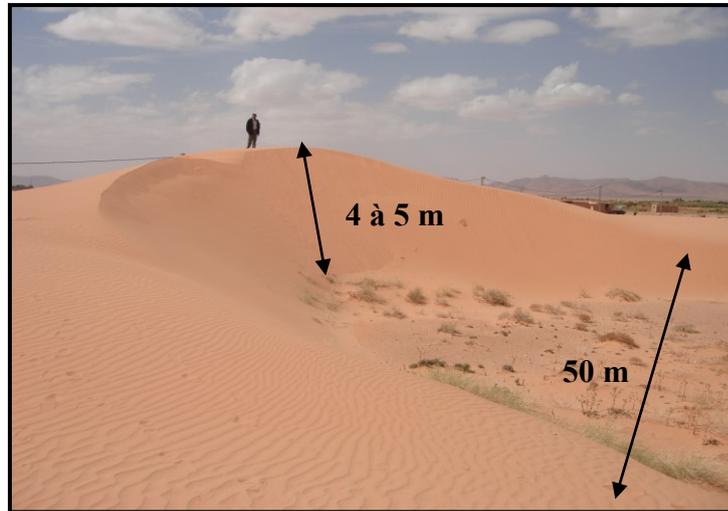


Photo 14 : Barkane haute de 4 à 5 m au NE d'Aïn Benkhelil en direction du secteur nord.

Le champ de dune, le plus important, dans ce secteur est celui situé sur les bordures de la partie sud de Sebkheth Naama. C'est un champ de dune en aklé à tendance dominante transverse, saisonnière. Il s'étend sur une longueur allant de 3 km à 10 km du sud vers le nord et sur une largeur de 4 à 12 km d'ouest en est. Ces dunes ont une hauteur qui varie entre 2 et 4 m de haut (Image 1).

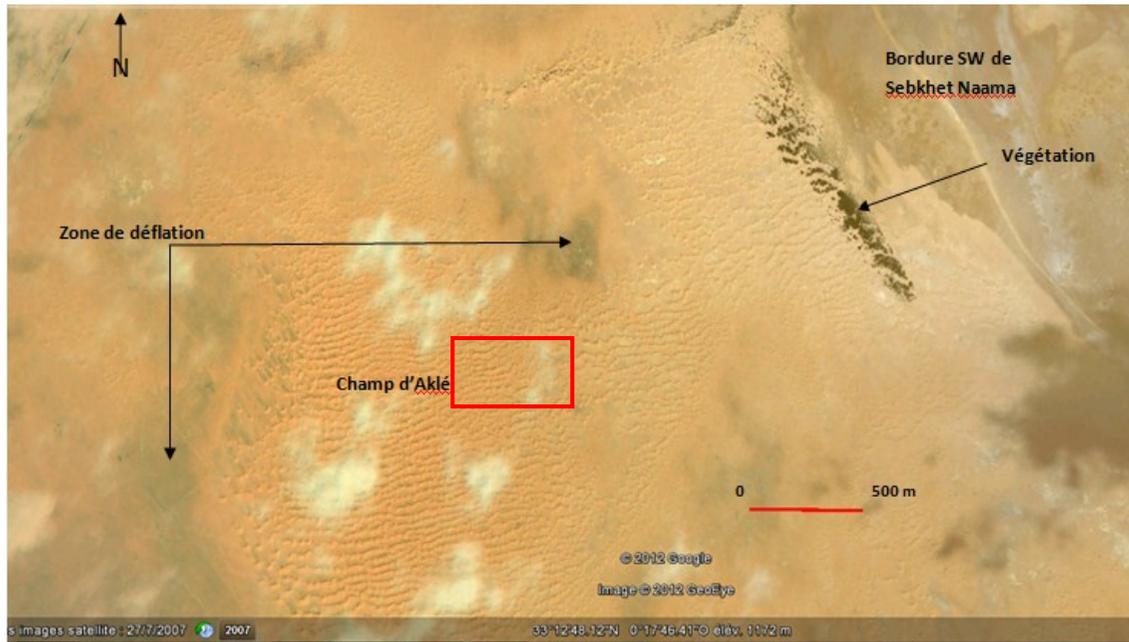
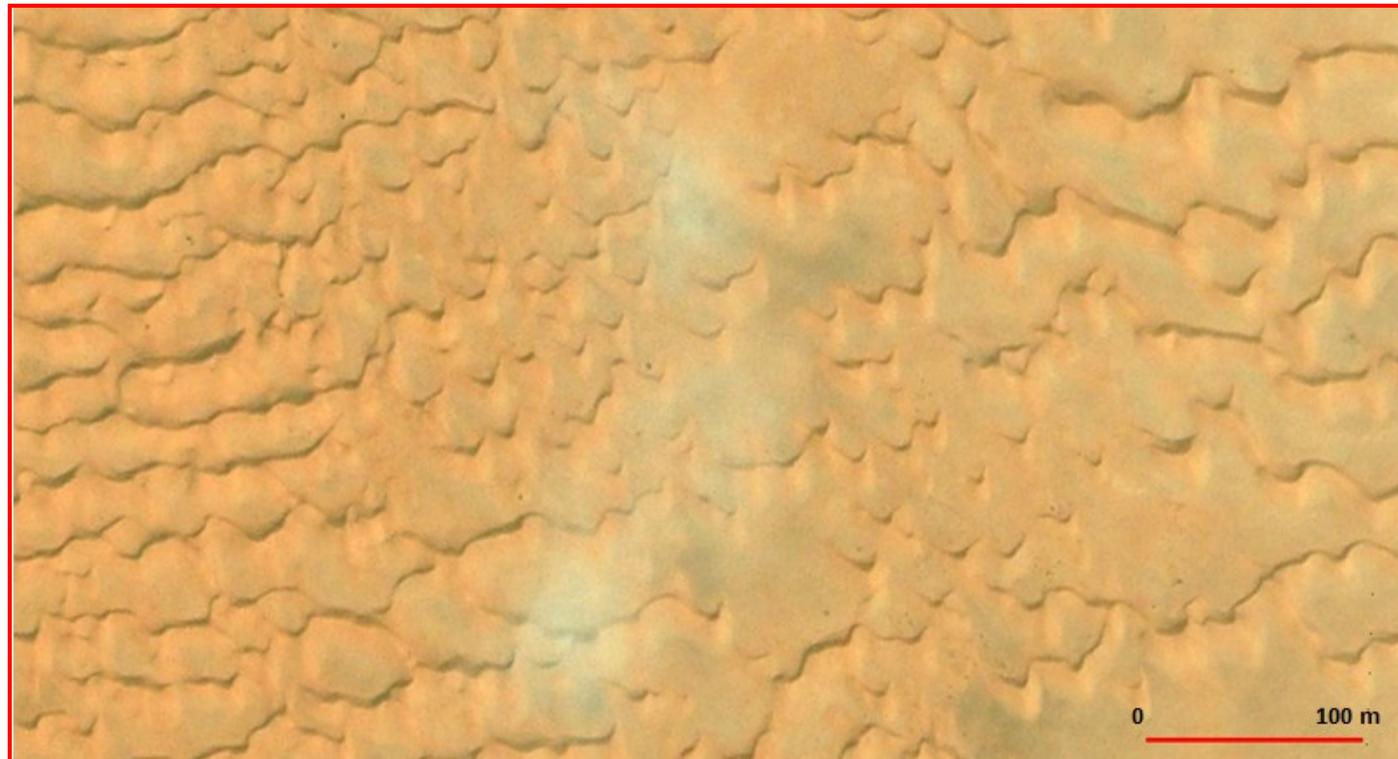


Image 1 : Champ de dune en aklé au sud ouest de Sebkhet Naama d'après l'image Google Earth 2010.



Par ailleurs, les barkhanes sont réparties sur toute la zone nord, d'est en ouest et du sud vers le nord. On les observe sur les grandes étendues, au sud de Touifza, où ce sont plutôt des dièdres brakhaniques, qui se disposent presque perpendiculairement à la direction des vents efficaces, mais avec une variabilité directionnelle plus complexe, favorisant l'accolement des dunes par leurs ailes au cours des changements de direction du vent. Les mêmes types de dunes, s'observent à l'ouest de Horchaïa et vers Mergueb En Naama, où plusieurs bancs rocheux affleurent. Vers la zone de Touadjer, un important champ de barkhane et de dièdres brakhaniques, couvrent cette zone. D'autres champs de barkhanes sont observés vers Souiga et de part et d'autre de la route qui mène à Asla. Un autre champ aussi important, est situé en bordure de Dayet Er Remad, ainsi qu'entre Mocta Delli et Bougellaba. Même si on ne peut pas se fonder sur l'observation ponctuelle, il est toujours utile de signaler les principales directions, observées sur le terrain, lors des différentes missions effectuées à différentes périodes de l'année. Nous signalons que certaines directions ont été prises sur les « images google earth », à partir des extractions faites dans la région en date de septembre 2003 et de juin et juillet 2007. Les directions trouvées sont : NNW-SSE (à Horchaïa, mai 2006), S-N (septembre 2003 ; mai 2005 et octobre 2008), SSE-NNW (juillet 2007) et W-E (mai 2004 et mars 2008).

L'inversion de la direction des vents, entraîne à son tour celle de la dune et par conséquence une perturbation dans la formation d'une barkhane typique (Image 2 & Photo 15). Le processus d'ensablement dans cette zone est rythmé par une progression et une régression des dunes. A cause de ces mouvements inverses, la dune n'arrive pas à épouser une forme stable bien définie. Delà, apparaît une différence comparée avec les dunes côtières, où le vent est souvent unidirectionnel. De ce fait, la compréhension de leur évolution demeure complexe.

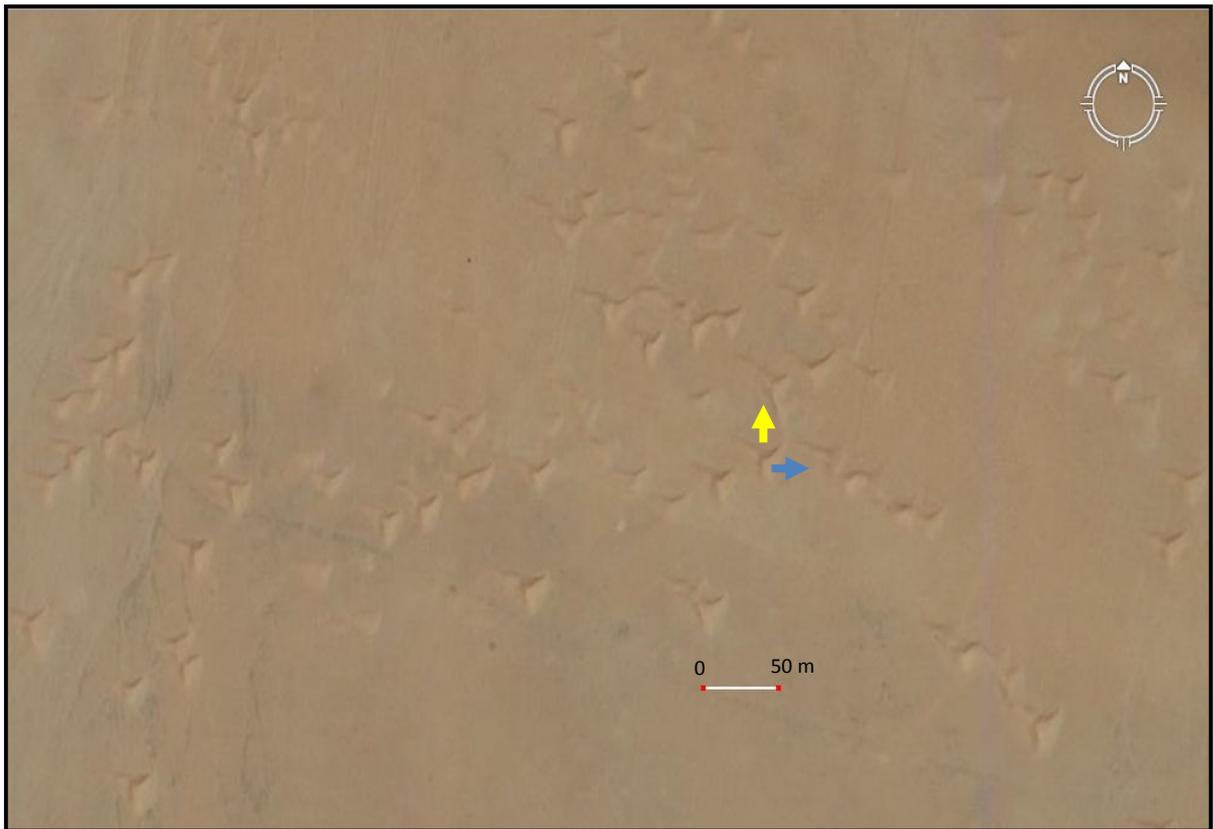


Image 2 : Champ de dièdre barkanique à Touifza : l'influence de la direction du vent sur la symétrie des barkhanes est claire (image prise de google earth du 27 juillet 2007). Direction principale  Direction secondaire 

Il faut noter, que les barkhanes se déplacent rapidement sur des surfaces dures et cohérentes, en particulier les petites dunes. Ces dernières, sont plus rapides que les grandes dunes pour une même force de vent. C'est dans cette mobilité, que reposent les problèmes économique, écologique et social posés par les barkhanes : elles traversent les parcours, les exploitations agricoles, les lignes de chemin de fer, les routes et les habitations !

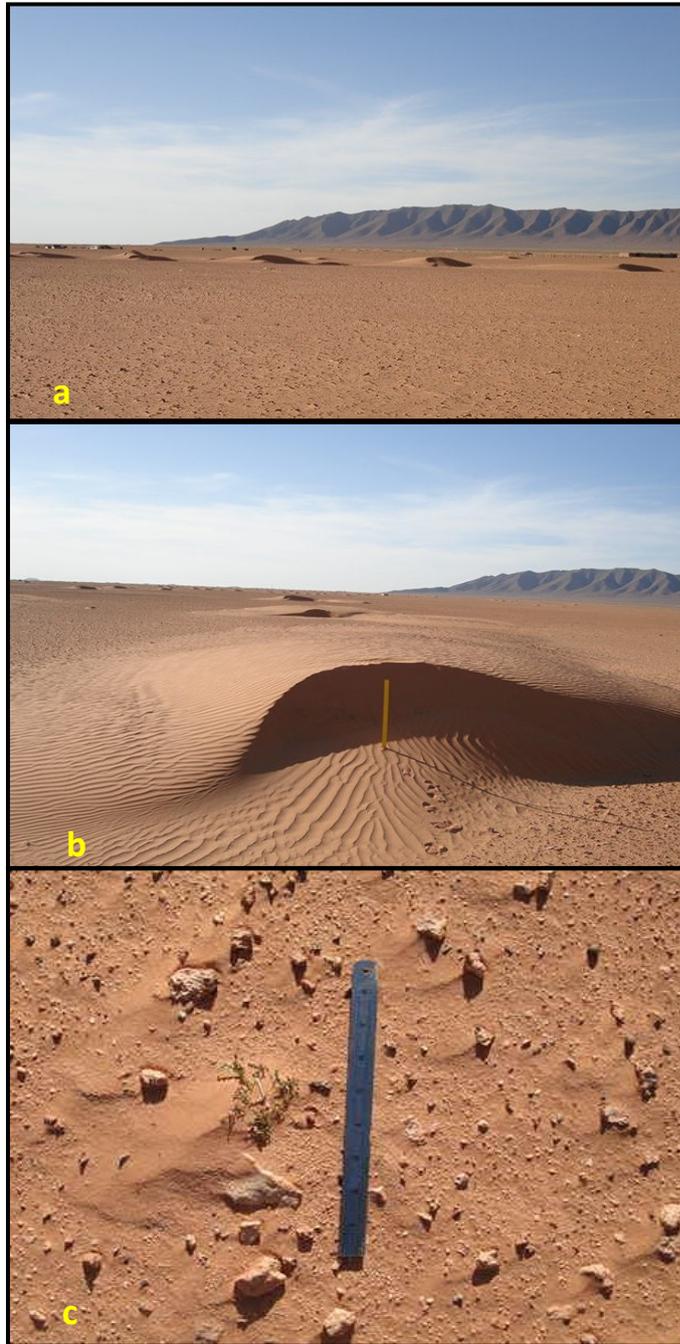


Photo 15 : Zone de Touifza au sud ouest de Mécheria. a : Zone de déflation mettant en relief la présence d'un reg ; b : bouclier barkhanique ; c : Reg ; une surface caillouteuse de dimension de quelques millimètres à 4 cm dans une matrice sableuse avec présence de micronebkas qui se développent à l'abri de petits cailloux et de graviers.

Le couloir d'Aïn Séfra, est dominé quand à lui par des dunes de types aklés. Cet ensemble dunaire, est difficilement pénétrable car on assiste, en outre, à un resserrement des dunes, les unes contre les autres. Ce type de structure dunaire est observé sur les marges Est de la dune d'Aïn Séfra, sur la rive gauche de l'oued Aïn Séfra (au sud de la gare de Tiout) et vers l'ouest sur la rive gauche de l'oued Breidj. Ces zones présentent une forte accumulation de sable provenant probablement des épandages successifs des oueds de la région d'Aïn Séfra et ceux provenant de la grande dune d'Aïn Séfra, ce qui a pour conséquence une disparition progressive des aires de déflation.

L'ensemble dunaire de la vallée d'Aïn Séfra, allongé selon une direction WSW-ENE, est formé essentiellement par des dunes en aklé à crêtes sinueuses (sifs). Ces édifices, pourraient s'expliquer par la forte variabilité directionnelle dans cette zone. Le talus d'avalanche des crêtes sinueuses constituant l'aklé est orienté tantôt vers le NNW, tantôt vers le SSE et cette inversion du talus d'avalanche, est localisée essentiellement, au niveau des dunes en aklé, qu'on pourrait appeler des aklés réversibles. Dans les différentes zones, où on a aperçu ces édifices, on a constaté que les dunes sont jointives et assez serrées au point que les espaces interdunaires n'apparaissent que rarement (Image 3).

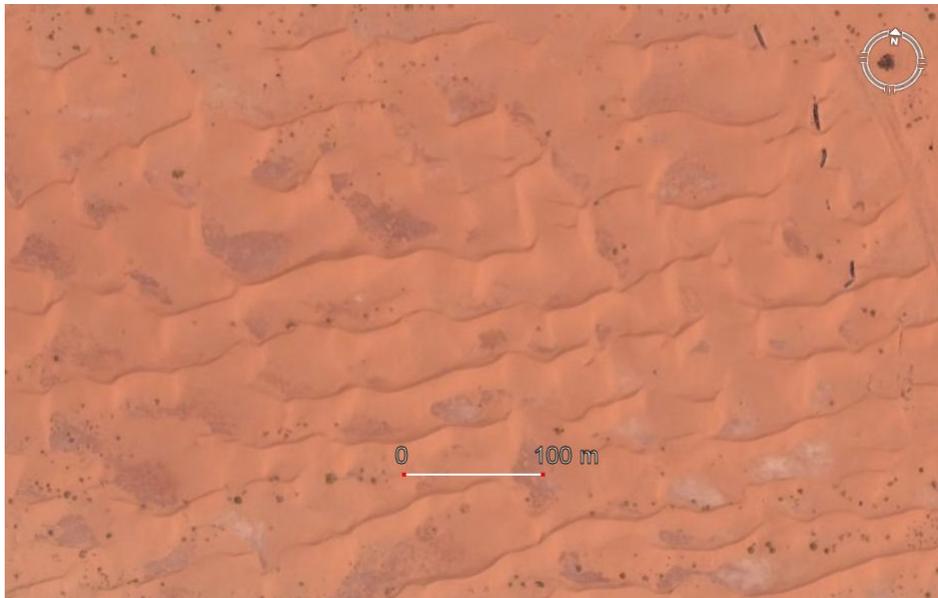


Image 3 : A l'ouest de Tiout : Champ de dunes en aklé (image google earth du 10 août 2004).

CONCLUSION.

Les types de dunes ou d'accumulations de sables les plus répandues dans les Hautes Plaines Sud Oraïses, sont en nombre de quatre : les nappages sableux, couvrant de grandes étendues en particulier dans la plaine de Naama ; les amas sableux ou proto dunes ; les barkhanes, ces dernières sont plus nombreuses et peuvent être très dangereuses, car elles sont très mobiles suite à leurs tailles qui varient entre 1,50 m et 2m dans la plupart des cas. Viennent en dernier les dunes en aklé à tendance dominante transverse saisonnière. Ces dernières forment de petits ergs qui peuvent constituer des sources d'alimentation pour l'érosion éolienne.

V- LE TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES.

1- Matériels et données utilisées

1-1- Les images satellitaires :

Les images satellitaires constituent un outil important dans la cartographie de l'occupation du sol ; elles sont descriptives et apportent une information à la fois spatiale, beaucoup plus importante par rapport aux autres sources d'information (Pouchin, 2001), et spectrale permettant la caractérisation des objets dans une large bande spectrale. Le processus d'interprétation, qu'il soit visuel ou automatique, transforme les données contenues dans l'image en éléments d'informations attachés à une localisation géographique. Cela permet d'utiliser ces données de télédétection dans un processus de gestion des ressources en les combinant avec des données pluri-thématiques et multi-sources. C'est dans cette intégration des données que le potentiel de développement des applications de télédétection est le plus important.

Ainsi, le choix d'un système de télédétection dans l'étude de l'occupation du sol est crucial; il dépend de la résolution au sol du pixel, du nombre et de l'intervalle des bandes spectrales, du cycle d'enregistrement de données disponibles et de la superficie couverte par une seule image. L'approche temporelle que nous envisageons nous conduit à privilégier les capteurs qui ont la plus grande chronique d'archives, en Landsat, et ceux dont les caractéristiques sont similaires (ASTER).

1-1-1- Les images LANDSAT.

La mise sur orbite de la série des satellites Landsat résulte d'un projet de la NASA, visant à réaliser un satellite spécifiquement destiné à l'observation de la terre, afin d'évaluer les ressources potentielles (ERTS : Earth Resources Technology Satellite). Sept satellites Landsat ont été lancés depuis juillet 1972 (Tableau 8). Depuis, la caméra est évoluée de RBV (Return Beam Vidicon) et MSS (Multi Spectral Scanner) de 1972 à l'ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de 1999. La résolution spatiale est passée de 80 m à 30 m (ou 15 m en mode panchromatique) et les domaines spectraux explorés concernent le visible, le proche infrarouge et le moyen ainsi que l'infrarouge thermique. Le radiomètre ETM+ permet ainsi d'offrir des images couvrant un champ d'observation de 185 km * 185 km, avec une résolution spatiale de 30 m en mode multispectral.

Tableau 8. L’historique des satellites LANDSAT :

Satellite	Date de lancement	Altitude moyenne	Cycle orbital	Fauchée	Capteurs, canaux et résolution spatiale
Landsat 1	juillet 1972	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 2	Janvier 1975	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 3	mars 1978	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m)
Landsat 4	juillet 1982	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7 canaux, 30 m)
Landsat 5	Janvier 1984	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7 canaux, 30 m)
Landsat 6	oct. 1993	Détruit après lancement			
Landsat 7	avril 1999	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre ETM + (7 canaux, 30 m, plus canal panchro, 15 m)

Source : NASA, 2007.

1-1-2- Image ASTER

L'Avancée des Techniques Spatiales d'origine thermique et des Emissions de réflexion Radiométrique (ASTER) est un multi-système d'imagerie spectrale qui a été lancé en 2000 sur le satellite Terra. Il possède 14 bandes: 3 dans le visible et le proche infrarouge (VNIR) avec une résolution spatiale de 15m, 6 en ondes courtes infrarouges (SWIR) avec 30m de résolution spatiale et 5 dans l'infrarouge thermique (TIR) avec une résolution spatiale de 90m. Par rapport à de l'ETM +, ASTER a une meilleure gamme spectrale et une meilleure résolution spatiale plus étendue dans le VNIR et le thermique tout en gardant les mêmes bandes spectrales pour les canaux communs dans le visible, le proche et moyen infrarouge. Dans notre étude, nous avons travaillé sur une image Aster et deux images TM de Landsat (Tableau 9).

Tableau 9 : Données des images utilisées.

Image	Date d'acquisition	COORDONNEE (K,j)	Résolution spatiale
TM	2000-02-16	197-37	30
TM	2001-03-13	198-37	30
ASTER	2008-06-02	197-37	15

1-2- **Matériels utilisés** :

Deux types de logiciels permettent la réalisation des cartes d'occupation du sol issu des images satellites :

1-2-1 Les logiciels de traitement d'images

L'ensemble des opérations allant du traitement des images et de télédétection à l'obtention des cartes d'occupation du sol est fait à partir du logiciel ENVI 4.7, qui est dédié à l'extraction et au traitement d'information à partir d'images satellitaires

1-2-2 Les logiciels de SIG

Le logiciel MapInfo 10 a été utilisé pour manipuler nos données vecteurs géoréférencées : extraction des classes d'échantillonnage à partir des compositions colorées des images et aussi échanges de formats vers le logiciel ENVI.

Au-delà du traitement de l'information géographique, la mise en page des cartes et la réalisation des graphiques ont été faites par les logiciels Illustrator et Excel.

2- Méthodologie adoptée.

La méthodologie du processus de classification que nous proposons suit les étapes suivantes (Fig. 28):

- Le choix des canaux des images satellitaires,
- La composition colorée des images
- Le Prétraitement des données pour la fusion: consiste à corrigé géométriquement l'image TM de Landsat par rapport à l'image ASTER permettant de travailler dans un même référentiel,
- Une classification supervisée sur l'ensemble des images (ASTER, TM), et sur chacune des images utilisées permettant d'identifier des zones d'apprentissages.
- Validation de la classification par la vérité terrain.
- Une amélioration de la classification par application de filtrage aux images.
- Le calcul des superficies des classes des deux images classées et estimation du taux de changement entre les deux dates.

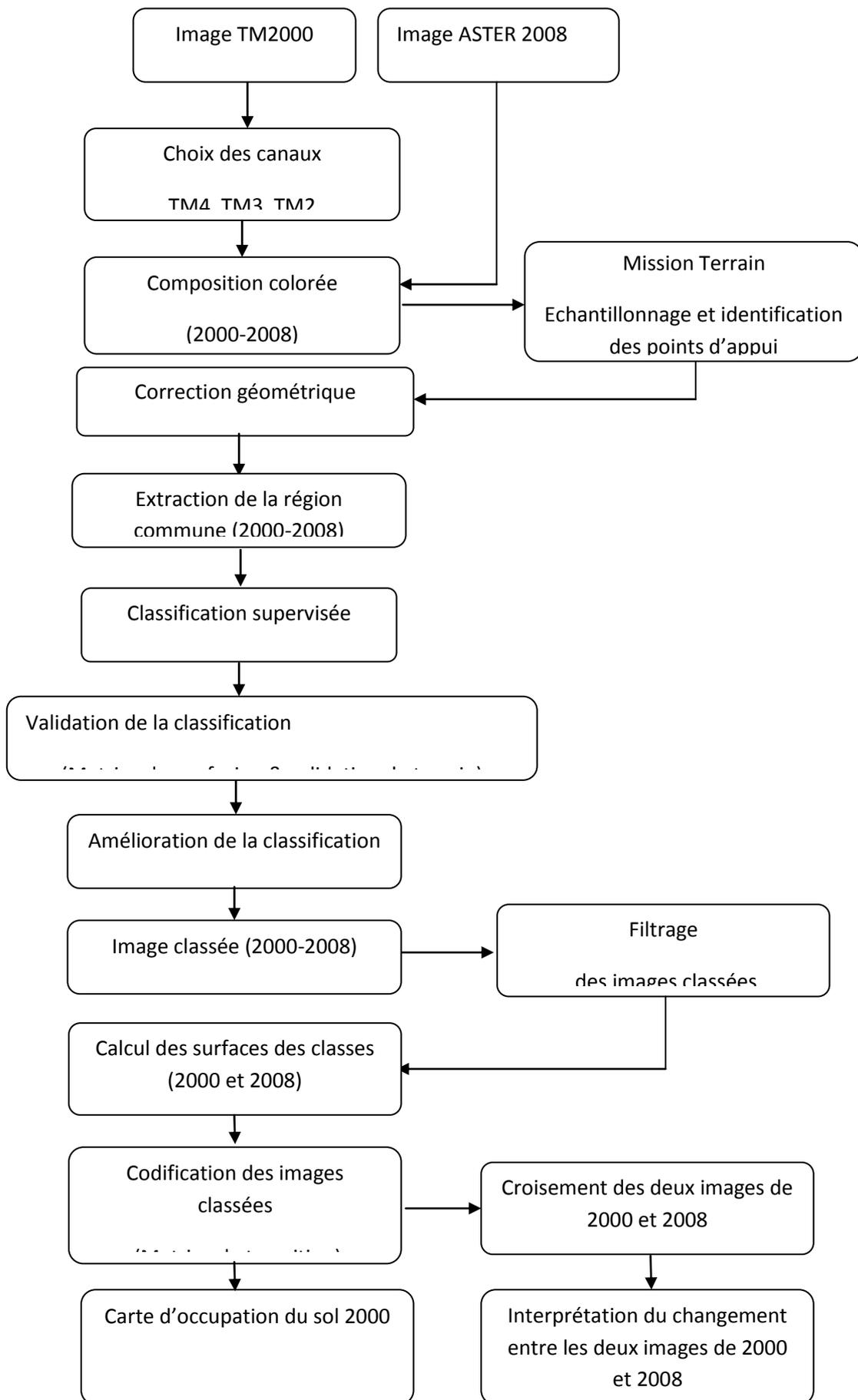


Fig. 28. Schéma synoptique de la méthodologie adoptée.

2-1- Le choix des canaux Satellitaires :

Pour visualiser une image de télédétection, on ne dispose que de trois plans couleur (Rouge, Vert, Bleu) alors que le nombre de canaux pour une image TM est égal à sept. Cependant, le choix de trois canaux sera établi de manière à éviter la redondance de l'information (Fig. 29 & Tableau 10).

En résumé, les paramètres à prendre en compte lors du choix d'une image sont :

- La résolution spatiale
- L'extension ou fauchée ou taille (La taille de l'image au sol)
- La résolution spectrale
- La résolution temporelle

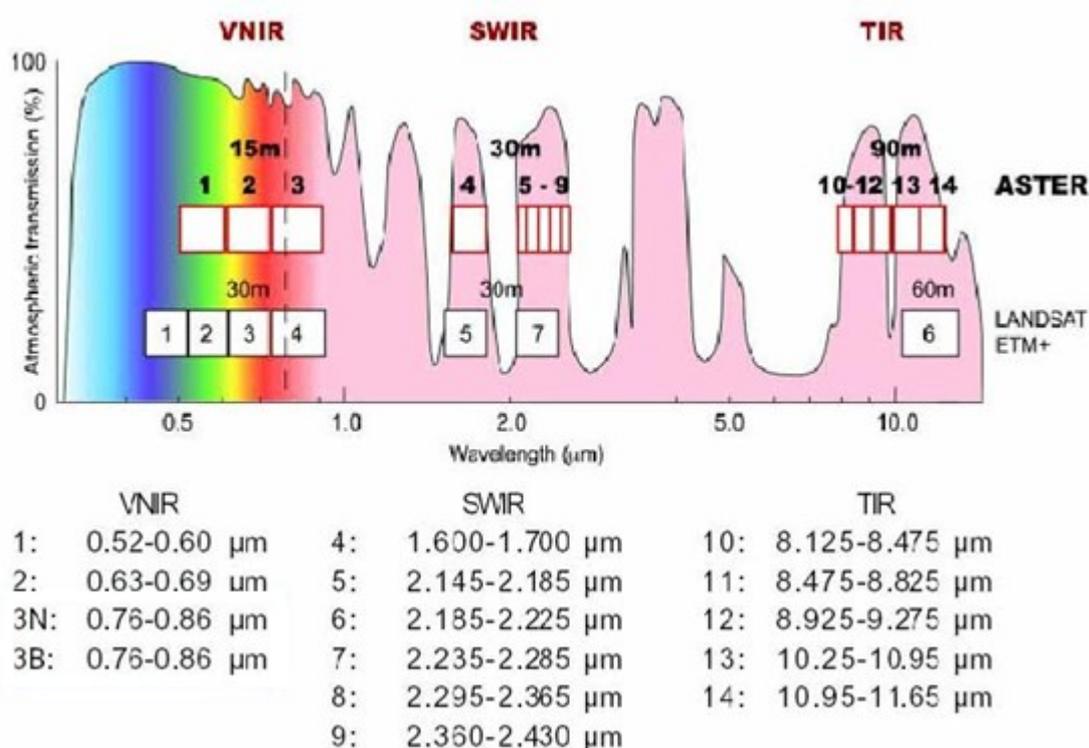


Fig. 29 : Comparaison des caractéristiques des bandes spectrales Landsat TM et ASTER.

Source : NASA, 2007.

Bande	Longueur d'onde (μm)	Rayonnement Electromagnétique	Intérêts et applications
1	0.45 - 0.52	Visible (Bleu)	Cartographie des eaux côtières, différenciation du sol et de la végétation
2	0.52 - 0.60	Visible (Vert)	Estimation de la vigueur de la végétation
3	0.63 - 0.69	Visible (Rouge)	Zone d'absorption de la chlorophylle donnant l'état de différenciation de la végétation
4	0.76 - 0.90	Infrarouge proche	Surveillance de la Biomasse et délimitation de zones immergés
5	1.55 - 1.75	Infrarouge moyen	Mesures de l'humidité du sol et de la végétation; différenciation entre la neige et les nuages
6	10.40- 12.50	Infrarouge Thermique	Cartographie thermique, études de l'humidité du sol et mesures des contraintes engendrés par la chaleur sur les plantes
7	2.08 - 2.35	Infrarouge moyen	Cartographie hydrothermale
8	0.52 - 0.90 (panchromatique)	Visible (Vert et Rouge), Infrarouge proche	Cartographie de larges zones, évolution de l'urbanisation

Tableau 10 : Caractéristiques et applications des différents canaux de Landsat TM.

Source : NASA, 2007.

L'analyse de la signature spectrale des différents objets de l'occupation et de l'utilisation du sol est une étape importante pour le choix des canaux TM des scènes Landsat. Par comparaison des caractéristiques spectrales des canaux des deux capteurs, il ressort que la combinaison des bandes 4, 3 et 2 de TM et 1, 2 et 3N de Aster est la mieux adaptée pour notre étude. En plus, dans cette combinaison de canaux, l'aspect visuel naturel des différentes unités paysagères est mieux représenté et traduit la réalité du terrain.

2- 2 - Le traitement de l'image TM2000 198-37 :

Dans cette partie, la démarche méthodologique pour la réalisation de l'occupation du sol est adoptée sur l'ensemble de la région d'étude couverte par la scène TM2000 198-37.

1- 2- 1 La correction géométrique : (Fig. 30)

L'image TM de Landsat de la scène 198-37 a été géoréférencée par rapport à l'image ASTER en utilisant un polynôme de premier degré et un rééchantillonnage du plus proche voisin. Dans cette rectification, huit (08) points d'Amer ont été utilisés sur les deux images avec une erreur moyenne quadratique (EMQ ou RMS) de 0.31 (Tableau 11). C'est une précision de calage de l'image corrigée par rapport à la vérité terrain.

Amer N°	Image de Référence		Image à corriger		Image corrigée		EMQ = 0.314		
	X	Y	X	Y	X	Y	Erreur X	Erreur Y	EMQ
1	2323.25	348.50	4721.00	206.50	4721.26	206.29	0.26	-0.21	0.34
2	2143.00	4726.00	4625.25	2510.25	4625.40	2510.23	0.15	-0.02	0.15
3	2270.75	6797.75	4691.75	3600.50	4691.63	3600.54	-0.12	0.04	0.13
4	115.00	6246.25	3562.25	3310.50	3562.06	3310.62	-0.19	0.12	0.23
5	802.75	3868.50	3923.25	2059.75	3923.75	2059.47	0.50	-0.28	0.57
6	1216.25	2126.00	4141.25	1142.5	4141.15	1142.42	-0.10	-0.08	0.12
7	1569.75	451.50	4327.25	260.75	4326.93	261.06	-0.32	0.31	0.44
8	2298.00	1795.00	4707.75	967.50	4707.57	967.60	-0.18	0.10	0.21

Tableau 11 : Liste des erreurs EMQ des points Amer.

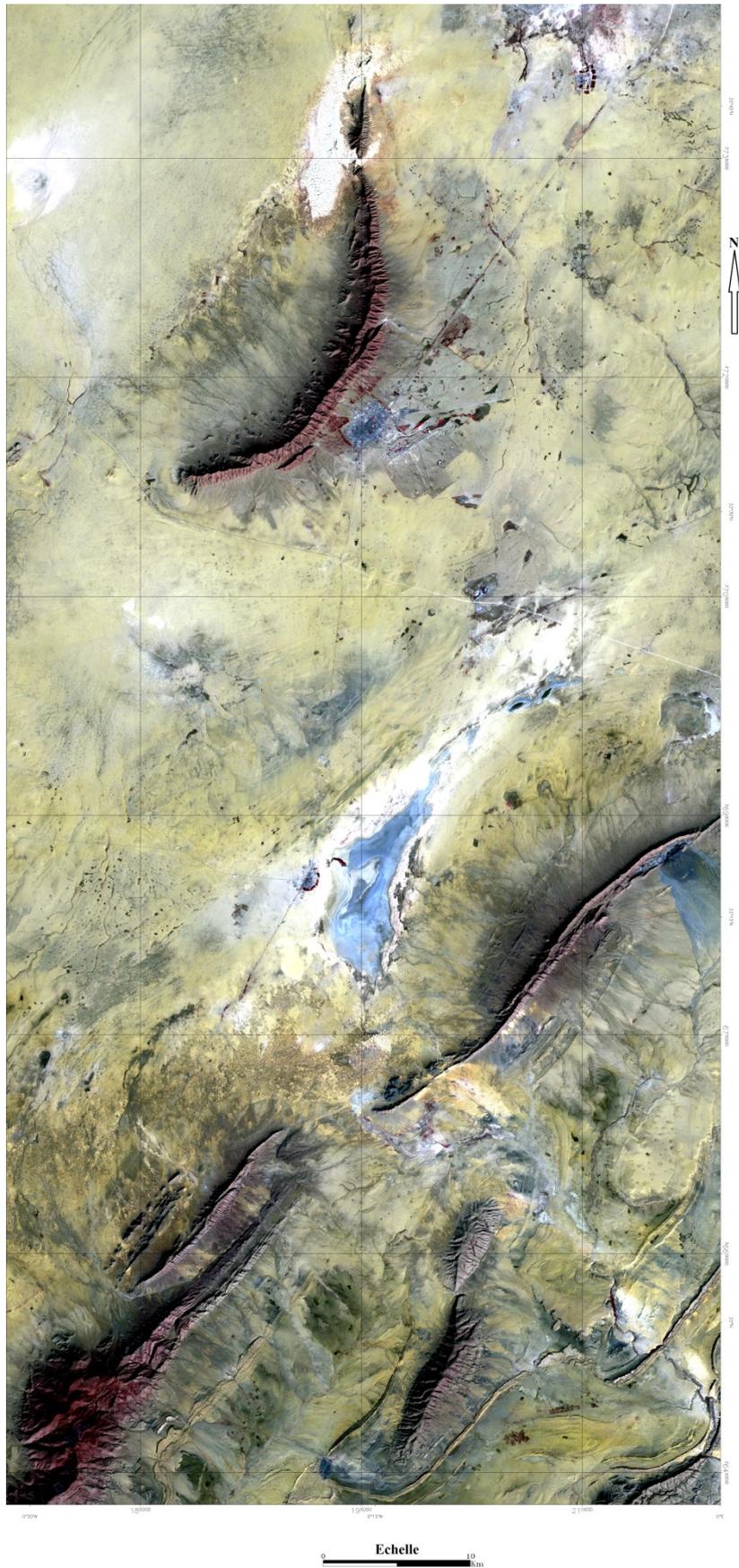


Figure 30 : Image TM 2000 géométriquement corrigée.

2- 2 – 2 La classification de l'image :

Une classification dirigée, basée sur la méthode du maximum de vraisemblance, a été effectuée sur la composition colorée combinant les canaux 4, 3 et 2 de l'image TM de Landsat avec un autre échantillonnage du plus proche voisin. La précision de cette classification exprimée par la matrice de confusion est estimée à 87,36 % dont le coefficient de Kappa est de l'ordre de 0,81.

Dans cette classification, on retiendra la nomenclature suivante :

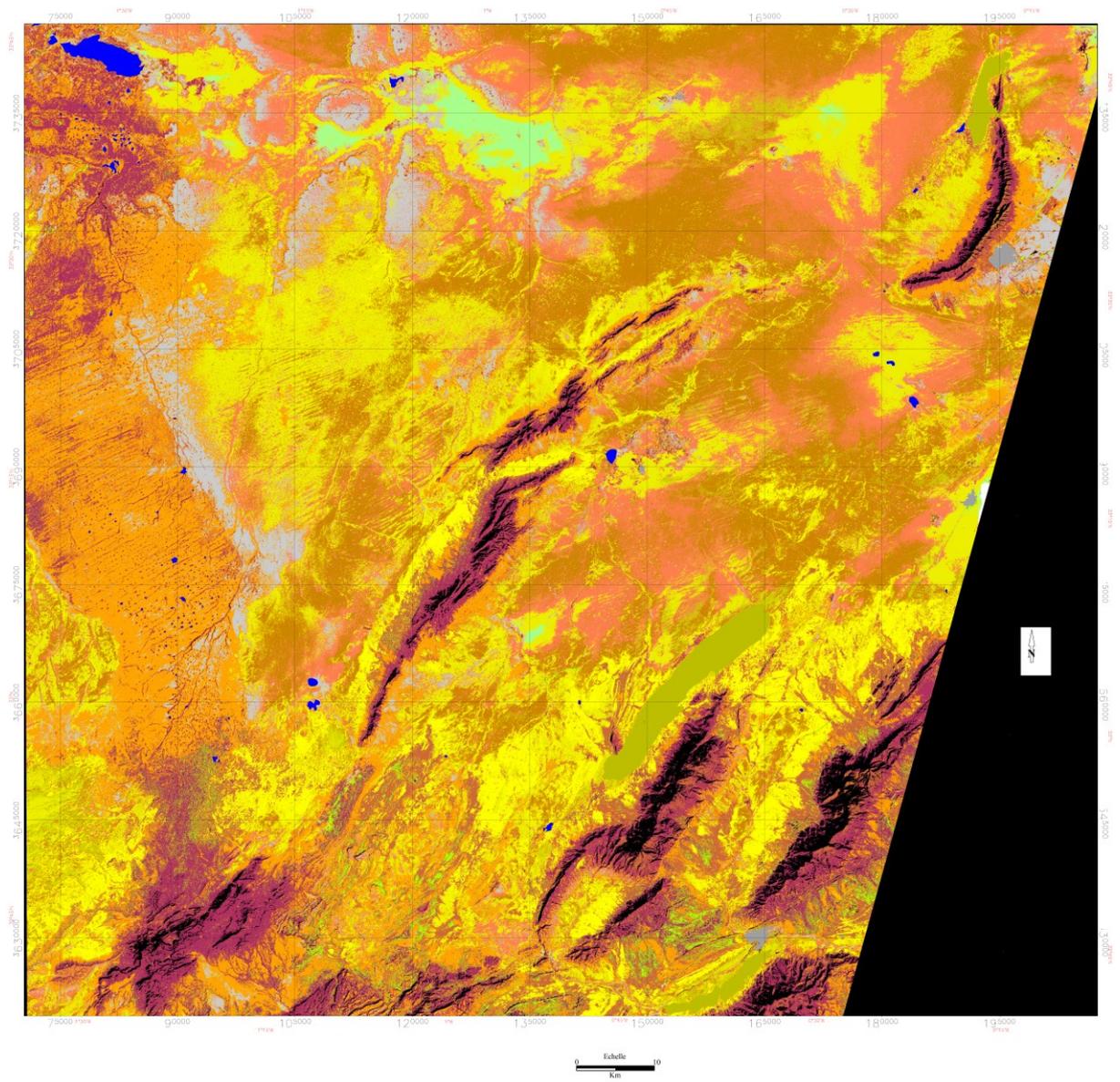
Les formations caillouteuses et les zones de déflation d'un côté et les zones d'accumulation sableuse suivant leur importance de l'autre côté. Pour les accumulations sableuses nous avons pris en considération les nappages, les amas sableux dont l'épaisseur est inférieure à 2 m, les amas et les dunes dont l'épaisseur dépasse les 2 m et les champs de barkhane. De plus nous avons pris en compte des formations gypseuses, des formations limono-sableuses ainsi que des espaces mises en défends, des terres mises en valeurs, du relief et de l'ombre.

Afin d'améliorer notre classification et lever certaines confusions entre les classes, une autre classification est appliquée sur l'image intégrant d'autres classes nettement identifiables sur la composition colorée. Ces nouvelles classes concernent la nomenclature suivante :

La Sebkha et les dayas, l'agglomération, le cordon dunaire et les ceintures verte.

Ainsi, la performance de la classification après amélioration est passée du **87.36 %** à **90.94%** (tableaux 14 et 15) où l'indice Kappa est passé de **0.81** et **0.91**.

Le résultat de cette classification est illustré dans la Fig. 31.



Légende :

- | | | |
|--|--|---|
|  Relief |  Champ de barkhane |  Rootage |
|  Formation caillouteuse |  Cordon dunaire quaternaire |  Agglomération |
|  Zone de déflation |  Daya |  Ombre |
|  Formation limono-Sableuse |  Sebkha | |
|  Formation gypseuse |  Végétation | |
|  Nappage sableux |  Mise en défens | |
|  Dunes dont la hauteur est < 2m |  Ceinture verte | |
|  Dunes dont la hauteur est > 2m |  Mise en valeur | |

Figure 31 : Carte d'occupation du sol de l'image TM2000 (198-37).

Classes	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1 : Amas<2m	96.04	0	0	0	4.31	0	0	0	0	0	2.24	0
C2 : Ombre	0	84.9	0	0	0	0	1.34	0	0	18.7	0	0
C3 : Amas>2m	0.34	0	100	0	0	0.26	0	0.08	0	0	3.83	0
C4 : Mise en valeur	0	0	0	71.17	0	0	2.74	0	0	0.42	0	0
C5 : Nappage	3.62	0	0	0	81.38	6.5	0	0	0	0	7.99	0
C6 : Déflation	0	0	0	0	11.55	80.1	0	0	0	0	3.19	2.3
C7 : Mise en défens	0	7.81	0	15.84	0	0	89.69	0	0	8.17	0	0
C8 : Formation gypseuse	0	0	0	0	0	0	0	99.92	0	0	0	0
C9 : Formation limino-sableuse	0	0	0	0	0	0	0.3	0	98.81	6.6	0	0
C10 : Relief	0	7.29	0	12.99	0	0.04	5.93	0	1.19	65.91	0	0
C11 : Champ de barkhane	0	0	0	0	2.76	0.15	0	0	0	0	82.75	0
C12 : Formation Caillouteuse	0	0	0	0	0	12.96	0	0	0	0.2	0	97.7
Précision de la classification :	87.36											

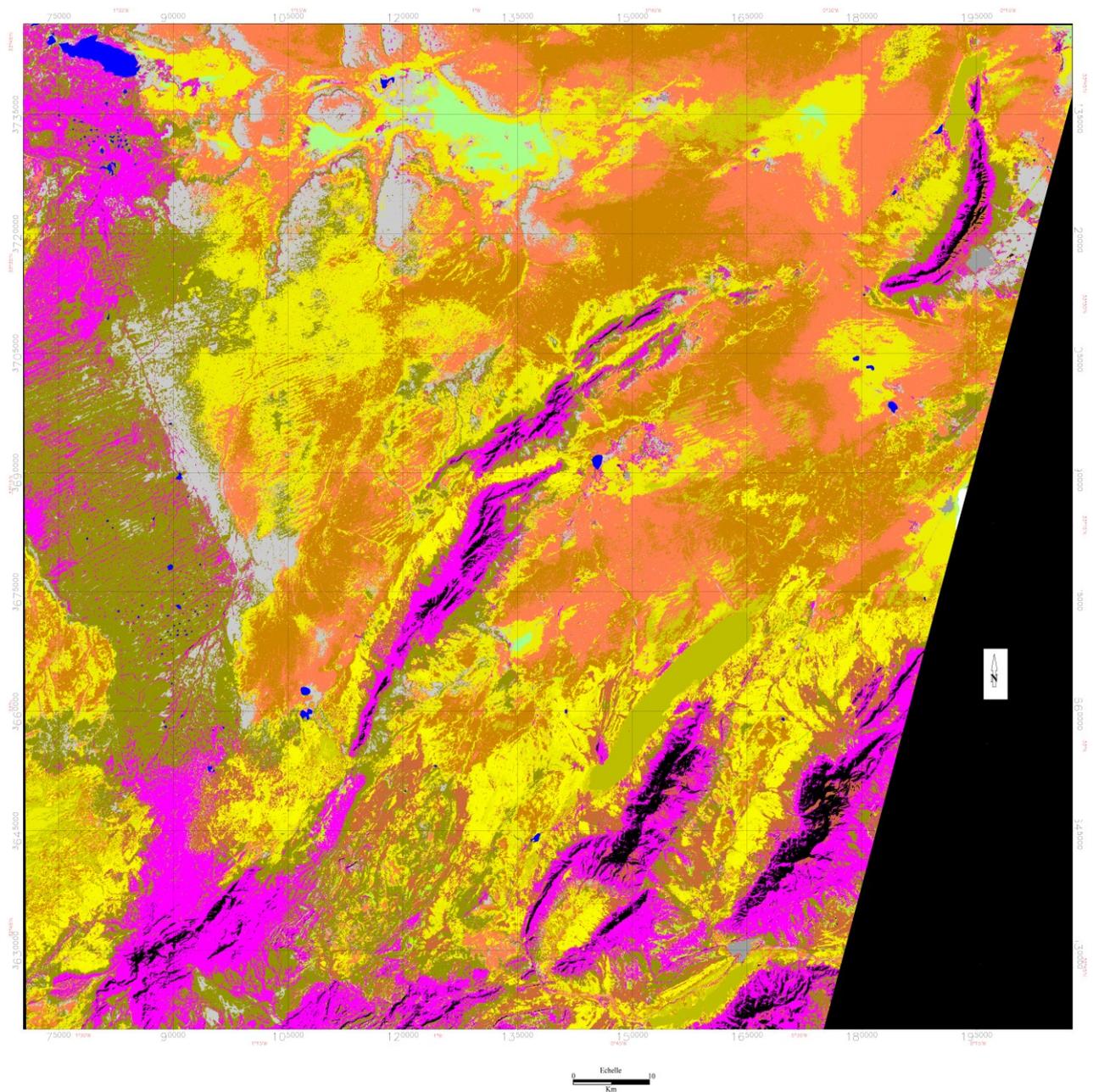
Tableau 12 : Matrice de confusion de TM2001 (198-37).

Classes	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
C1 : Amas<2m	96.04	0	0	0	4.31	0	0	0	0	0	2.24	0	0	0	0	0	0
C2 : Ombre	0	84.9	0	0	0	0	1.34	0	0	18.7	0	0	1.45	0	0	0	0
C3 : Amas>2m	0.34	0	100	0	0	0.26	0	0.08	0	0	3.83	0	0.49	0	0	0	0
C4 : Mise en valeur	0	0	0	71.17	0	0	2.74	0	0	0.42	0	0	0	0	0	0	0
C5 : Nappage	3.62	0	0	0	81.38	6.5	0	0	0	0	7.99	0	0.04	0	0	0	0
C6 : Déflation	0	0	0	0	11.55	80.1	0	0	0	0	3.19	2.3	0.42	0	0	0	0
C7 : Mise en défens	0	7.81	0	15.84	0	0	89.69	0	0	8.17	0	0	0	0	0	0	0
C8 : Formation gypseuse	0	0	0	0	0	0	0	99.92	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0
C9 : Formation limino-sableuse	0	0	0	0	0	0	0.3	0	98.81	6.6	0	0	0	0	0	0	0
C10 : Relief	0	7.29	0	12.99	0	0.04	5.93	0	1.19	65.91	0	0	0.02	0	0	0	0
C11 : Champ de barkhane	0	0	0	0	2.76	0.15	0	0	0	0	82.75	0	0	0	0	0	0
C12 : Formation Caillouteuse	0	0	0	0	0	12.96	0	0	0	0.2	0	97.7	0	0	0	0	0
C13 : Sebkha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97.56	0	0	0	0
C14 : Agglomération	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
C15 : Ceinture Verte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
C16 : Daya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
C17 : Codon Dunaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Précision de la classification :	90.94																

Tableau 13 : Matrice de confusion de TM2000 (198-37) après amélioration de la classification.

2- 2- 3 L'application du filtrage à l'image :

L'image TM issue de la classification supervisée a subie une opération de filtrage respectivement par les opérateurs Sieve, Cump et Majority/minority/analysis du logiciel ENVI afin d'éliminer le bruit ou les pixels isolés insignifiants dans l'image (Fig. 32).



Légende :

 Relief	 Champ de barkhane	 Rootage
 Formation caillouteuse	 Cordon dunaire quaternaire	 Agglomération
 Zone de déflation	 Daya	 Ombre
 Formation limono-Sableuse	 Sebka	
 Formation gypseuse	 Végétation	
 Nappage sableux	 Mise en défens	
 Dunes dont la hauteur est < 2m	 Ceinture verte	
 Dunes dont la hauteur est > 2m	 Mise en valeur	

Figure 32 : Image TM classifiée et filtrée.

2- 2- 4 Le calcul de surface :

A partir de l'image classifié et filtrée, un calcul des superficies (exprimées en pixels puis en hectares) des classes de l'occupation du sol de l'image TM2001 ainsi que leurs taux de répartitions sont effectués (Tableau 14).

Classe	Pixels	Hectares	Taux(%)
Amas<2m	4068063	91531.4175	5.28
Amas>2m	13699687	308242.958	17.78
Nappage	10128613	227893.793	13.15
Champ de barkhanes	1193357	26850.5325	1.55
Cordon dunaire	701534	15784.515	0.91
Mise en valeur	1279014	28777.815	1.66
MED	3198324	71962.29	4.15
Ceinture Verte	15247	343.0575	0.02
Déflation	9568472	215290.62	12.42
Formation gypseuse	465900	10482.75	0.61
Formation limono-sableuse	11394122	256367.745	14.79
Formation caillouteuse	3305270	74368.575	4.29
Agglomération	76113	1712.5425	0.10
Sebkha	12208	274.68	0.02
Daya	190307	4281.9075	0.25
Ombre	1681392	37831.32	2.18
Relief	7563954	170188.965	9.82

Tableau 14. Répartition des superficies des classes de l'image TM2001 198-37.

2- 3- Le traitement des images TM et ASTER :

2- 3- 1 Composition colorée des images TM et ASTER :

Les images enregistrées par les satellites de télédétection en « observation de la Terre » ne sont pas identiques à des photographies classiques. Elles se présentent, à l'origine, sous forme de valeurs numériques qui traduisent la radiométrie (quantité d'énergie) émise par des portions élémentaires (pixels) de la surface terrestre dans différentes bandes (canaux) spectrales.

Pour obtenir une restitution visible de ces valeurs numériques, on a couramment recours à la réalisation d'une composition colorée. Elle résulte de la synthèse colorée additive entre trois couleurs fondamentales (trois plans colorés) : rouge, vert et bleu. Les compositions colorées de nos images ont été réalisées à partir d'une superposition des trois canaux TM2, TM3, TM4 pour le capteur TM de Landsat et 1, 2, 3N pour ASTER auxquels des pseudos couleurs ont été attribués respectivement (Rouge, Vert, Bleu). Cette composition colorée se rapprochant d'une imitation de couleurs « naturelles » (restitution en « *fausses couleurs naturelles* »), servira pour le repérage des échantillons et l'extraction des points d'appui.

2- 3- 2 Correction géométrique de l'image TM par rapport à l'image ASTER :

Une image contient toujours des distorsions géométriques qui l'empêchent d'être utilisée comme une carte.

La correction géométrique permet de restaurer l'image sur un plan comparable à celui d'une carte dans le cas de rectification ou sur une autre image dans le cas de la superposition d'images.

Cependant, des corrections géométriques ont été appliquées aux images pour les géoréférencer dans le système de coordonnées UTM du fuseau 31 et de l'ellipse Clarke 1880 afin de les rendre superposables pour permettre la comparaison des classifications et la détection des changements entre les deux dates.

En effet, une correction image-image a été utilisée afin de rendre les images superposables entre elles. Pour le choix du référentiel, nous avons sélectionné l'image ASTER qui date de 2008 comme référence.

Dans notre travail, Le modèle polynomial d'ordre 1 est utilisé comme modèle de déformation où huit (09) points d'appui (point Amer) ont été sélectionnés sur chacune des deux images et pour l'échantillonnage radiométrique nous avons appliqué un ré-échantillonnage de type « plus proche voisin » (PPV), pour ne pas altérer les valeurs radiométriques des images. L'erreur des moindres carrés EMQ ou RMS (erreur moyenne quadratique) obtenue lors de la correction des images est donnée dans le tableau 15 :

Ainsi, La précision de cette correction a été évaluée à 0.45 pixel, donc inférieure au pixel, ce qui implique une bonne qualité de rectification.

Tableau 15 : Liste des erreurs RMS lors de la correction géométrique.

Amer	Image de Référence		Image à corriger		Image corrigée		EMQ = 0.45		
	N°	X	Y	X	Y	X	Y	Erreur X	Erreur Y
1	1626.50	381.25	2781.00	1668.50	2780.91	1668.49	-0.09	-0.01	0.09
2	2734.50	429.25	3363.60	1695.20	3363.71	1695.25	0.11	0.05	0.13
3	2542.50	3709.75	3261.50	3422.00	3261.07	3421.31	-0.43	-0.69	0.82
4	1634.71	6814.00	2782.63	5054.88	2782.95	5055.34	0.32	0.46	0.56
5	1902.14	2205.43	2925.38	2628.50	2925.18	2629.15	-0.20	0.65	0.69
6	130.00	6125.00	1993.25	4693.25	1993.11	4693.07	-0.14	-0.18	0.23
7	2252.57	1096.86	3109.75	2045.88	3109.91	2045.98	0.16	0.1	0.19
8	1515.43	2551.43	2721.38	2811.38	2721.76	2811.02	0.38	-0.36	0.53
9	1041.29	3988.86	2472.25	3567.75	2472.15	3567.73	-0.10	-0.02	0.10

2- 3- 3 La classification des images satellitaires :

La classification multi-spectrale est une des techniques de traitement et d'extraction d'informations à partir d'images satellitaires. En effet, elle permet l'obtention d'une carte thématique représentative de l'état de surface des sols.

Dans notre recherche, le mode supervisé a été choisi et appliqué sur les deux images ASTER et TM pour réaliser cette classification, en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance qui est considérée comme une technique puissante de classification.

Le choix d'une telle démarche réside dans le fait que nous connaissons parfaitement le milieu d'étude pour y avoir mené de nombreuses missions de terrain. En plus nous disposons de deux images composites qui permettent d'identifier, sans risque de se tromper, certains objets géographiques de notre zone d'étude. Douze (12) classes sont alors ciblées et des parcelles d'entraînement sont définies sur chacune des images.

2- 3- 4 La description des classes d'occupation retenues :

D'après les résultats des relevés de terrain la typologie d'occupation du sol de notre zone d'étude se distingue par 12 classes décrites ci-dessous :

En plus du cordon dunaire, du relief, de la Sebkha et des dayas, nous avons pris en considération les formations caillouteuses et les zones de déflation d'un côté et les zones d'accumulation sableuse suivant leur importance de l'autre côté. Pour les accumulations sableuses nous avons pris en considération les nappages, les amas sableux dont l'épaisseur est inférieure à 2 m, les amas et les dunes dont l'épaisseur dépasse les 2 m et les champs de barkhane. De plus nous avons pris en compte des formations gypseuses, des formations limono-sableuses, ainsi que des espaces mis en défens, des terres mises en valeurs, du relief et de l'ombre.

2-3- 5 La matrice de confusion et la validation de la classification :

La matrice de confusion montre pour chacune des classes, le niveau de fiabilité et les principales confusions faits lors de la classification des images. Les éléments de la diagonale de cette matrice dénombrent les pixels correctement classifiés alors que les autres éléments situés en dehors de la diagonale dénombrent les erreurs de commission.

Pour l'ensemble des classes définies, il y a eu des confusions c'est-à-dire les pixels de certaines unités d'occupation du sol ont été confondus à d'autres. Il est possible d'évaluer les performances de cette classification en estimant le pourcentage et le nombre de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone test. La matrice de confusion de l'estimation des images TM et ASTER illustre cette performance. Cette évaluation a été complétée par des visites de terrain visant à valider la classification effectuée sur les images.

Les **tableaux 16** et **17** illustrent cette performance.

Classe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1 : Relief	72.34	0.42	0	8.06	6.06	0	0	1.31	4.65	1.17
C2 : Amas l<2m	0.37	60.25	7.19	0	0	12.35	0	0.66	0	0
C3 : Champ de barkhane	0	13.81	90.42	0	0	0	0	1.07	0	0
C4 : Mise en défens	11.67	0.42	0	90.21	0	0	0	0	0	0
C5 : Végétation	0	0	0	0.58	93.94	0	0	0	0	0
C6 : Nappage	0	20.08	1.8	0	0	87.44	0	0	0	0
C7 : Déflation	2.65	0	0	1.15	0	0.21	99.09	0.03	0	3.02
C8 : Amas l>2m	0.84	5.02	0.6	0	0	0	0	96.69	0	0.67
C9 : Ombre	6.51	0	0	0	0	0	0	0	95.35	0
C10 : Formation Caillouteuse	5.62	0	0	0	0	0	0.91	0.24	0	95.14
Performance de la classification :	88.09 %									

Tableau 16 : Matrice de confusion de l'image TM.

Classe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1 : Relief	77.54	0	0	3.38	24.05	0	0	0.12	2.48	0.35
C2 : Amas l<2m	0	68.4	23.08	0	0	28.37	0	0.65	0	0
C3 : Champ de barkhane	0	9.52	70.67	0.32	0	0.39	0	0.12	0	1.69
C4 : Mise en défens	6.79	0.64	1.23	85.97	1.13	0	1.87	0.39	0	4.41
C5 : Végétation	4.33	0	0	1.73	74.81	0	0	0.81	0	0.24
C6 : Nappage	0	20.88	2.89	0	0	71.24	0	0.44	0	0.48
C7 : Déflation	0.27	0	0.19	1.93	0	0	91.87	0.14	0	13.05
C8 : Amas l>2m	0	0.3	0.49	0	0	0	0	92.11	0	2.41
C9 : Ombre	10.55	0	0	0	0	0	0	0	97.52	0
C10 : Formation Caillouteuse	0.51	0.27	1.45	6.66	0	0	6.27	5.22	0	77.37
Performance de la classification :					80.75 %					

Tableau 17 : Matrice de confusion de l'image ASTER.

Il ressort de cette analyse que, malgré les différents types d'images utilisées (TM et ASTER), nous arrivons à obtenir une performance moyenne de la classification de l'ordre de 88,09% et 80,75% (respectivement pour TM et ASTER) avec des coefficients de corrélations (ou indice Kappa) respectives de 0,77 et de 0,73. Cet indice de Kappa nous permet de conclure que les résultats de ces classifications sont statistiquement acceptables car selon Landis et Koch (5), cet indice est **Excellent** quand il est égal à 0.81; il est **Bon** quand il est compris entre 0.80 - 0.61; il est **Modéré** quand il est compris entre 0.60 - 0.21; il est **Mauvais** quand il est compris entre 0.20 - 0.0 et il est **Très Mauvais** quand il est inférieur à 0.0.

Il est à noter que les confusions qui existent entre les différentes catégories de l'occupation du sol de la région d'étude ont été levées grâce à une interprétation visuelle effectuée sur l'image classifiée.

2- 3- 6 L'amélioration de la classification :

Cette partie cherche à lever la confusion qui régnait dans certaines classes de l'image lors de la classification supervisée nous aider à améliorer la performance de nos images classées par l'intégration d'autres classes directement dans l'image. Ces classes étant nettement identifiées par interprétation visuelle des images brutes (composition colorée) puis numérisées et intégrées dans l'image classée. Les classes concernent les thèmes suivants :

Les formations caillouteuses et les zones de déflation d'un côté et les zones d'accumulation sableuse suivant leur importance de l'autre côté. Pour les accumulations sableuses, nous avons pris en considération les nappages, les amas sableux dont l'épaisseur est inférieure à 2 m, les amas et les dunes dont l'épaisseur dépasse les 2 m et les champs de

barkhane. De plus nous avons pris en compte des formations gypseuses, des formations limono-sableuses ainsi que des espaces mises en défends, des terres mises en valeurs, du relief, du rootage et de l'ombre.

Ainsi, la matrice de confusion des images classées montre bien l'amélioration de la performance de la classification des deux images TM et ASTER passant respectivement du **88.09 %** et **80.75 %** à **92.04%** et **87.95%** (Tableaux 18 et 19). Aussi, les coefficients de corrélation (indice de Kappa) sont passés de **0.77** et **0.73** au **0.81** et **0.80** respectivement pour les images TM et ASTER. Le résultat de cette classification est illustré dans les Figures 33 & 34.

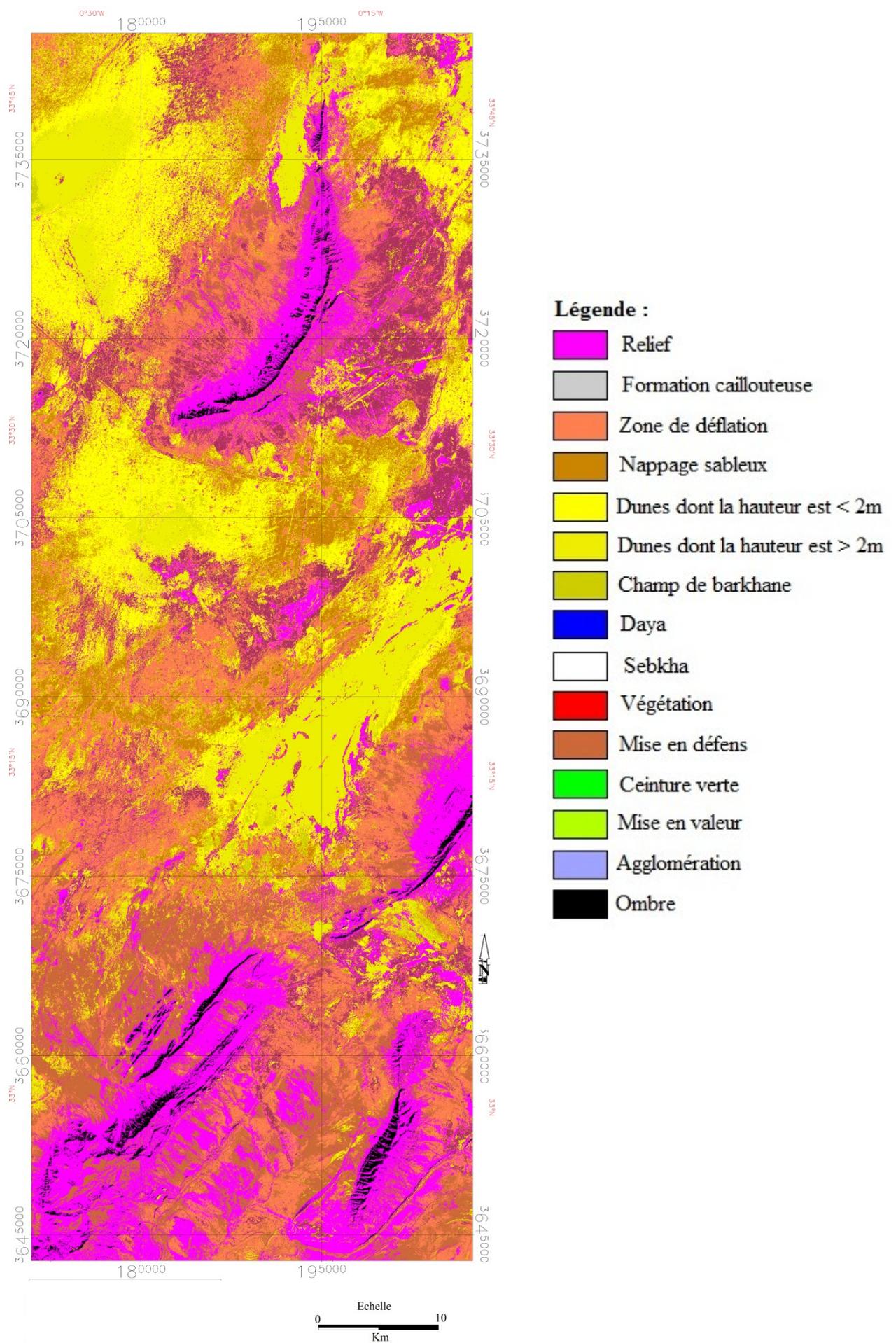


Figure 33 : Résultat de la classification de l'image TM.

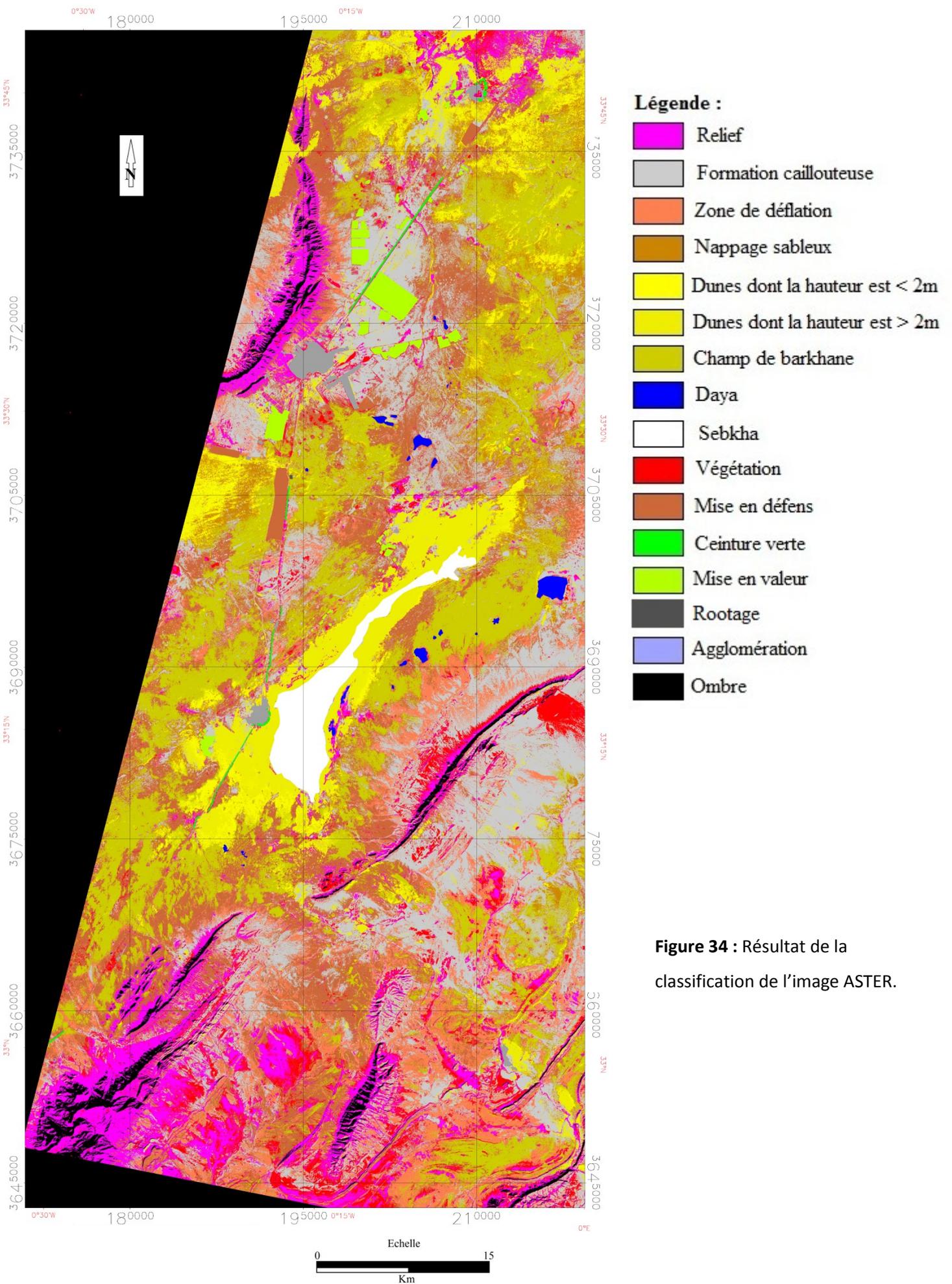


Figure 34 : Résultat de la classification de l'image ASTER.

Classe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
C1 : Formation caillouteuse	77.37	0.51	0.27	1.45	6.66	0	0	6.27	5.22	0	0	0	0	0	0	0
C2 : Relief	0.35	77.54	0	0	3.38	24.05	0	0	0.12	2.48	0	0	0	0	0	0
C3 : Amas<2m	0	0	68.4	23.08	0	0	28.37	0	0.65	0	0	0	0	0	0	0
C4 : Champ de barkhane	1.69	0	9.52	70.67	0.32	0	0.39	0	0.12	0	0	0	0	0	0	0
C5 : Mise en défens	4.41	6.79	0.64	1.23	85.97	1.13	0	1.87	0.39	0	0	0	0	0	0	0
C6 : Végétation	0.24	4.33	0	0	1.73	74.81	0	0	0.81	0	0	0	0	0	0	0
C7 : Nappage	0.48	0	20.88	2.89	0	0	71.24	0	0.44	0	0	0	0	0	0	0
C8 : Délation	13.05	0.27	0	0.19	1.93	0	0	91.87	0.14	0	0	0	0	0	0	0
C9 : Amas>2m	2.41	0	0.3	0.49	0	0	0	0	92.11	0	0	0	0	0	0	0
C10 : Ombre	0	10.55	0	0	0	0	0	0	0	97.52	0	0	0	0	0	0
C11 : Ceinture Verte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.66	0	0	0	0	0
C12 : Daya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
C13 : Mise en valeur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
C14 : Rootage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
C15 : Agglomération	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.34	0	0	0	100	0
C16 : Sebka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Précision de la classification :	87.95															

Tableau 18 : Matrice de confusion de l'image Aster après amélioration de la classification.

Classe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1 : Relief	72.34	0.42	0	8.05	6.06	0	0	1.31	4.65	1.17	0	0	0	0	0
C2 : Amas1<2m	0.37	60.25	7.19	0	0	12.35	0	0.66	0	0	0	0	0	0	0
C3 : Champ de barkhane	0	13.81	90.42	0	0	0	0	1.07	0	0	0	0	0	0	0
C4 : Mise en défens	11.67	0.42	0	90.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5 : Végétation	0	0	0	0.57	93.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C6 : Nappage	0	20.08	1.8	0	0	87.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C7 : Déflation	2.65	0	0	1.15	0	0.21	99.09	0.03	0	3.02	0	0	0	0	0
C8 : Amas1>2m	0.84	5.02	0.6	0	0	0	0	96.69	0	0.67	0	0	0	0	0
C9 : Ombre	6.51	0	0	0	0	0	0	0	95.35	0	0	0	0	0	0
C10 : Formation Caillouteuse	5.62	0	0	0	0	0	0.91	0.24	0	95.14	0	0	0	0	0
C11 : Agglomération	0	0	0	0.19	0	0	0	0	0	0	100	0.06	0	0.01	0
C12 : Ceinture Verte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.94	0	0	0
C13 : Daya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
C14 : Mise en valeur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99	0
C15 : Sebkha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Précision de la classification :	92.04														

Tableau 19 : Matrice de confusion de l'image TM de Landsat après amélioration de la classification.

2- 3- 7 L'extraction de la zone d'étude :

Les deux images ont subi un masque commun afin d'éliminer les zones de l'image qui n'ont aucun intérêt et qui pourraient influencer sur l'interprétation du résultat des traitements effectués sur les deux images. Pour cela, un masque a été créé pour éliminer la zone à l'extérieur des limites de la zone d'étude et plus particulièrement pour ne garder que la partie commune des deux scènes d'images (ASTER et TM de Landsat) (Fig. 35 & 36).

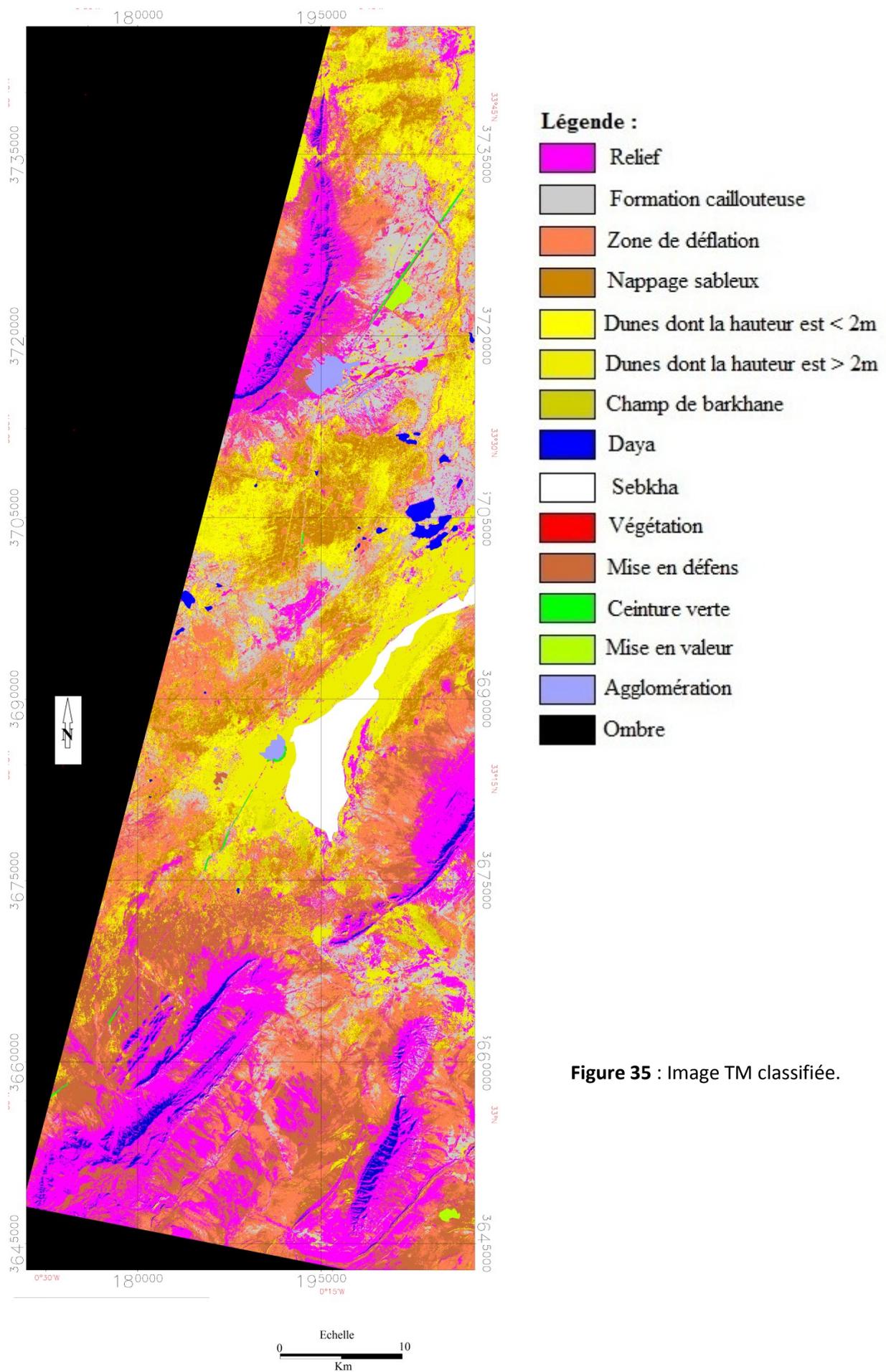
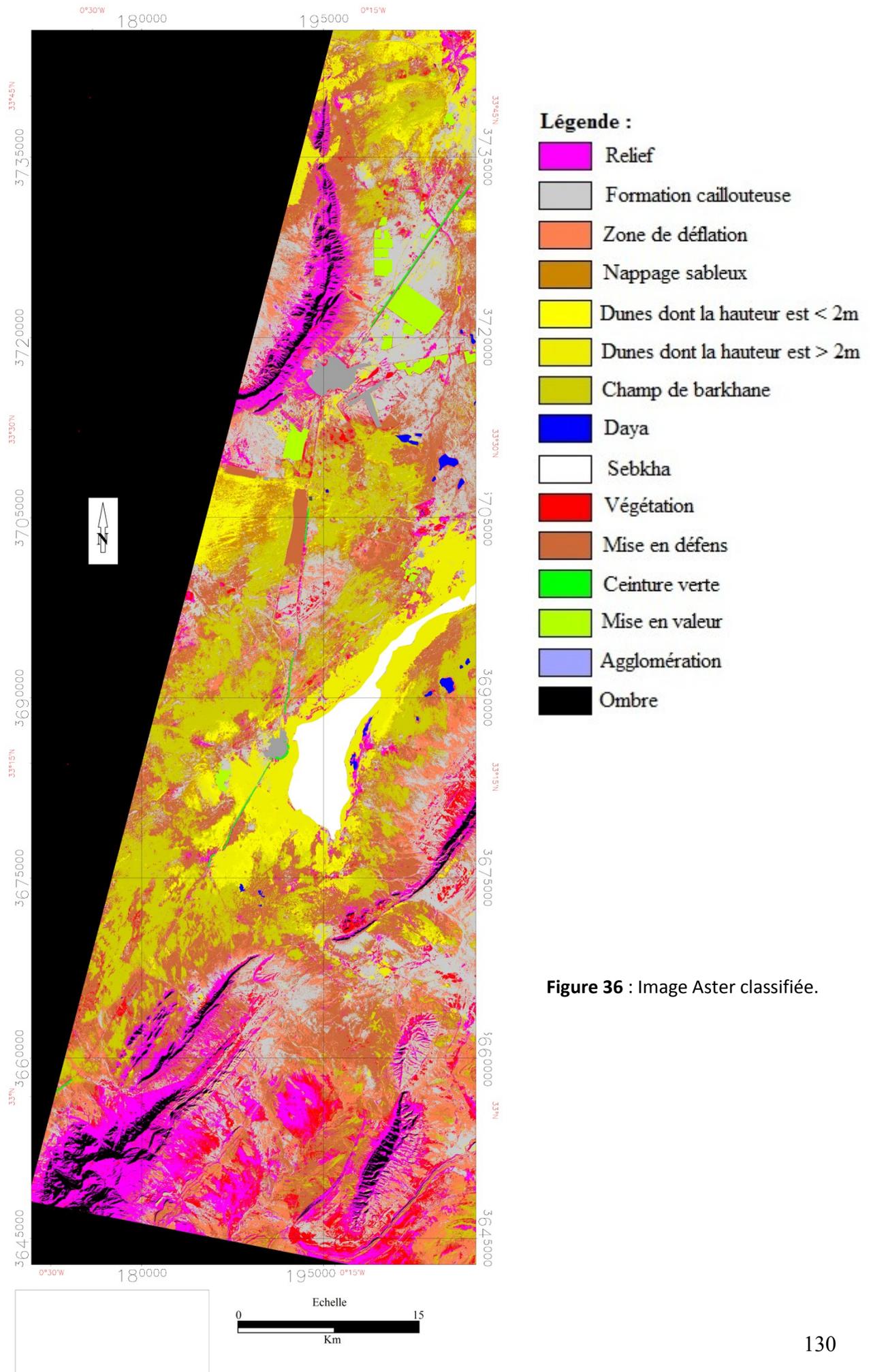


Figure 35 : Image TM classifiée.

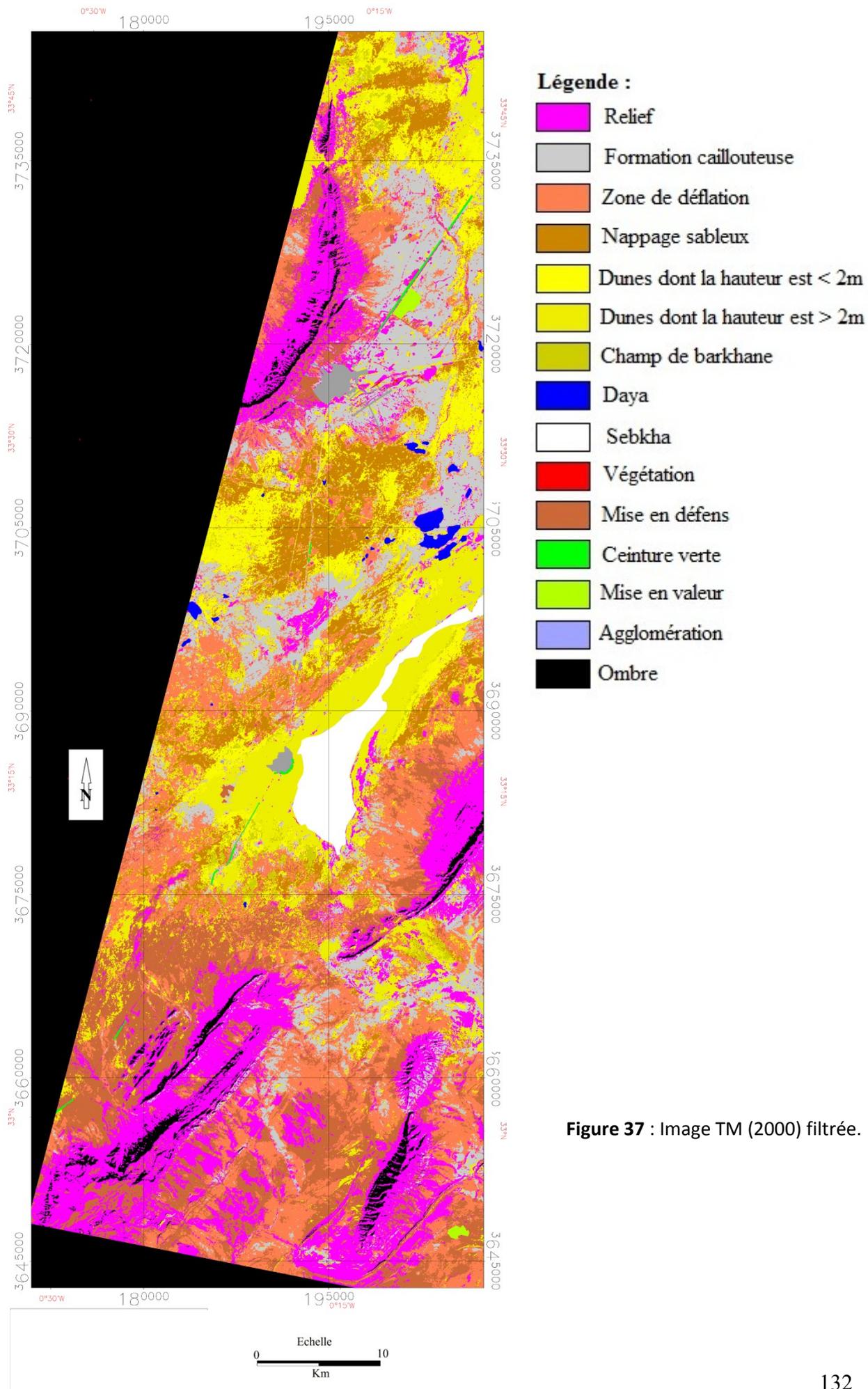


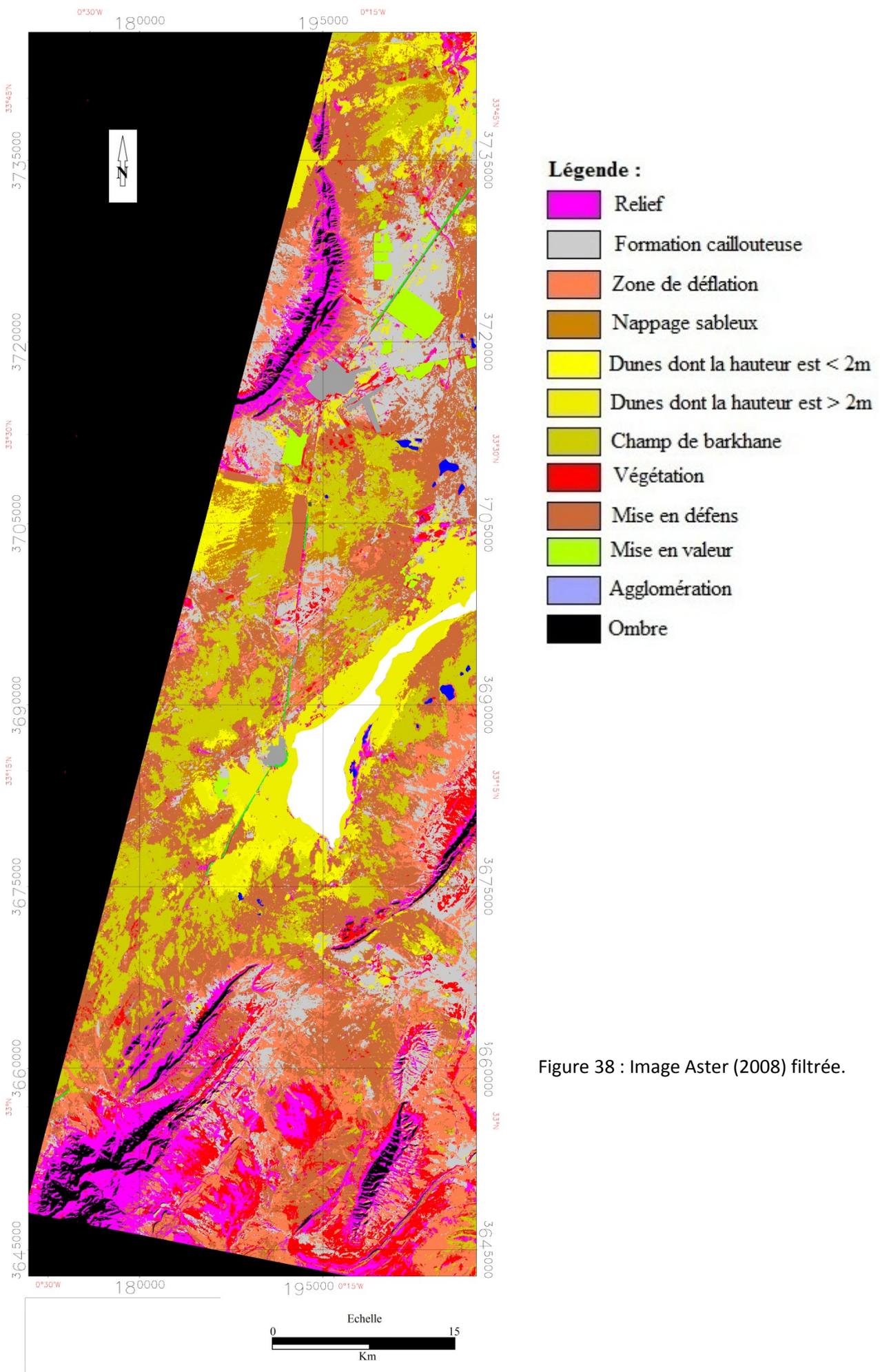
2- 3- 8 Le filtrage des images :

Nos images issues de la classification présentent des petits pixels isolés au milieu de vaste zones homogènes ce qui rend le résultat bruité. Devant cette situation et avant de commencer à détecter les différences entre les images, nous avons appliqué à chaque image classifiée pour éliminer les petits points, trois opérateurs morphologiques de filtrage utilisés par le logiciel de traitement d'image ENVI à savoir:

- **Sieve classes** (pour éliminer les pixels isolés) ;
- **Clump classes** (pour homogénéiser les classes) ;
- **Majority/minority/analysis** (pour lisser les classes après l'opération clump classes).

Les images résultant de cette analyse (Fig. 37 & 38) servent ensuite à l'étude des changements du paysage.





Par la suite, un calcul statistique est effectué sur l'ensemble des deux images classifiées afin d'extraire les surfaces et le pourcentage de chaque classe pour les deux dates (Tableaux 20 & 21).

Classe	Pixels	Hectares	%
Formation Caillouteuse	1196581	26923.07	10.75
Relief	2474754	55681.97	22.24
Amas<2m	1043592	23480.82	9.38
Champs de barkhane	121139	2725.63	1.09
Mise en défens	1591893	35817.59	14.31
Végétation	1582	35.60	0.01
Nappage	755018	16987.91	6.79
Déflation	2040617	45913.88	18.34
Amas>2m	1311258	29503.31	11.79
Ombre	207838	4676.36	1.87
Sebkha	244484	5500.89	2.20
Ceinture Verte	14632	329.22	0.13
Daya	48978	1102.01	0.44
Mise en valeur	17808	400.68	0.16
Agglomération	55662	1252.40	0.50
TOTAL IMAGE	11125836	250331.34	100

Tableau 20 : Superficies des classes de l'image TM (2000).

Classe	Pixels	Hectares	%
Formation caillouteuse	2066374	46493.42	18.57
Relief	1167453	26267.69	10.49
Amas<2m	425190	9566.78	3.82
Champs de barkhane	1650051	37126.15	14.83
Mis en défens	2552162	57423.65	22.94
Végétation	622591	14008.29	5.60
Nappage	240941	5421.17	2.17
Déflation	914184	20569.14	8.22
Amas>2m	701979	15794.53	6.31
Ombre	286862	6454.4	2.58
Sebkha	244484	5500.89	2.20
Ceinture Verte	18847	424.06	0.17
Daya	23321	524.72	0.21
Mise en valeur	138347	3112.81	1.24
Rootage	379	8.53	0.003
Agglomération	72671	1635.1	0.65
TOTAL IMAGE	11125836	250331.34	100

Tableau 21 Superficies des classes de l'image ASTER (2008).

Dans le tableau 22 est présenté l'évolution des surfaces de toutes les classes ainsi que le pourcentage de changements subies entre les deux dates. Ce que nous pouvons remarquer c'est cette grande différence enregistrée dans la végétation ainsi que les dayas. Cela pourrait être expliqué par les périodes de prise de vue des deux images. L'image TM est prise le 16 février de l'année 2000 alors que l'image ASTER est prise au 2 juin de l'année 2008. Etant donné que le mois de février est situé pendant la saison de pluie, nous pouvons supposer que les dayas puissent contenir de l'eau. Nous devons rappeler que l'année 2008 est une année pluvieuse. Au mois de juin, la végétation a pris place dans les zones supposées humides (les dayas).

Classe	2000 (ha)	2008 (ha)	Evolution (ha)	Evolution (%)
Amas<2m	23480.82	9566.78	-13914.04	-59.26
Amas>2m	29503.31	15794.53	-13708.78	-46.47
Nappage	16987.91	5421.17	-11566.74	-68.09
Champs de barkhane	2725.63	37126.15	34400.52	1262.11
Formation caillouteuse	26923.07	46493.42	19570.35	72.69
Zone de déflation	45913.88	20569.14	-25344.74	-55.20
Mise en culture	400.68	3112.81	2712.13	676.88
Mis en défens des terres	35817.59	57423.65	21606.06	60.32
Végétation	35.60	13951.80	13916.2	39112.39
Ceinture Verte	329.22	424.06	94.84	28.81
Sebkha	5500.89	5500.89	0	0.00
Daya	1102.01	524.72	-577.29	-52.39
Zone de Rootage	0.00	8.53	8.53	-----
Agglomération	1252.40	1635.10	382.7	30.56
Relief	55681.97	26267.69	-29414.28	-52.83
Ombre	4676.36	6454.40	1778.04	38.02

Tableau 22 : Taux d'extension spatiale entre 2000 et 2008.

2- 3- 9 La carte des changements :

L'analyse diachronique des changements de l'occupation du sol survenus entre les deux dates s'appuie sur un croisement des deux images issues de la classification. Lors de cette combinaison multi date, on recode les classes de sorte à pouvoir croiser les deux cartes classifiées par simple multiplication des images correspondantes. Le choix des codes pour chaque classe et pour chaque date a été minutieusement étudié selon une matrice de transition ou de changement préétablie (Tableau 23) afin d'éviter une même codification de deux

classes différentes et aussi de s'assurer que le résultat de cette multiplication entre les classes multi dates donnent certains valeurs semblables.

Les 11 premières valeurs (2, 3, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 15, 17,19) ont été données respectivement aux classes : Amas inférieure à 2 mètre (AMA1), Amas supérieure à 2 mètre (AMA2), Nappage (NAP), Champs de barkhanes (BARK), Mise en défens (MED), Déflation (DEF), Agglomération (AGG), Formation Caillouteuse (FCAI), Ceinture verte (CEV), les mises en valeurs (MEV) et Rootage (ROOT) de la date de prise vue de l'année 2008. Les dix premières classes équivalentes sur la prise de vue de l'année 2000 ont été codées par les valeurs (20, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 37, 41). Ainsi, les deux images sont croisées pixel par pixel pour obtenir une image en 110 classes porteuses elles mêmes de l'information diachronique. Il se dégage ainsi une image du changement du mode de couverture du sol survenu sur une période de 08 ans (Tableau 24). Cette matrice de transition représente un guide d'aide à l'interprétation de la carte d'évolution.

		ASTER											
		AMA1	AMA2	NAP	BARK	MED	DEF	AGG	FCAI	CEV	MEV	ROOT	
Code		2	3	5	6	9	10	11	13	15	17	19	
TM	AMA1	20	40	60	100	120	180	200	220	260	300	340	380
	AMA2	21	42	63	105	126	189	210	231	273	315	357	399
	NAP	23	46	69	115	138	207	230	253	299	345	391	437
	BARK	25	50	75	125	150	225	250	275	325	375	425	475
	MED	27	54	81	135	162	243	270	297	351	405	459	513
	DEF	29	58	87	145	174	261	290	319	377	435	493	551
	AGG	31	62	93	155	186	279	310	341	403	465	527	589
	FCAI	33	66	99	165	198	297	330	363	429	495	561	627
	CEV	37	74	111	185	222	333	370	407	481	555	629	703
	MEV	41	82	123	205	246	369	410	451	533	615	697	779

Tableau 23 : Résultat du codage de la matrice de changements.

Surface(Ha)		ASTER										
		AMA1	AMA2	NAP	BARK	MED	DEF	AGG	FCAI	CEV	MEV	ROOT
TM	AMA1	3923.84	1517.45	2716.54	4398.23	6596.35	249.46	6.41	3508.07	22.75	2.23	153.65
	AMA2	1245.26	10849.61	565.79	5019.71	5131.49	456.89	153.79	4859.35	26.33	0.00	284.42
	NAP	1516.52	107.66	892.44	8422.65	4500.14	197.21	4.28	1017.79	18.43	6.30	96.01
	BARK	1001.39	499.91	110.32	576.11	438.14	9.45	0.83	67.86	0.34	0.00	1.33
	MED	112.68	56.14	49.03	5811.23	12788.19	4913.39	6092.15	3060.43	11.14	0.00	254.00
	DEF	818.60	270.14	395.93	10194.05	13977.43	8732.75	31.05	8491.79	34.99	0.00	628.02
	AGG	0.00	18.00	0.18	0.23	20.52	1.69	1086.53	59.56	4.05	0.00	0.00
	FCAI	0.00	1328.51	443.09	1625.47	6092.15	2159.48	157.23	12401.48	19.10	0.00	1028.14
	CEV	0.00	4.46	0.09	1.35	20.77	1.53	0.20	10.69	263.09	0.00	0.00
	MEV	0.00	0.00	0.00	1.28	19.08	50.54	0.00	14.69	0.00	0.00	270.79

Taux (%)		ASTER										
		AMA1	AMA2	NAP	BARK	MED	DEF	AGG	FCAI	CEV	MEV	ROOT
TM	AMA1	16.71	6.46	11.57	18.73	28.09	1.06	0.03	14.94	0.10	0.01	0.65
	AMA2	4.22	36.77	1.92	17.01	17.39	1.55	0.52	16.47	0.09	0.00	0.96
	NAP	8.93	0.63	5.25	49.58	26.49	1.16	0.03	0.40	0.002	0.04	0.57
	BARK	36.74	9.91	4.05	21.14	16.07	0.35	0.03	2.49	0.01	0.00	0.05
	MED	0.31	0.16	0.14	16.22	35.70	13.72	17.01	8.54	8.54	0.00	0.71
	DEF	1.78	0.59	0.86	22.20	30.44	19.02	0.07	18.50	0.08	0.00	1.37
	AGG	0.00	1.44	0.01	0.02	1.64	0.13	86.76	4.76	0.32	0.00	0.00
	FCAI	0.00	4.93	1.65	6.04	22.63	8.02	0.58	46.06	0.07	0.00	3.82
	CEV	0.00	1.35	0.03	0.41	6.31	0.46	0.06	3.25	79.91	0.00	0.00
	MEV	0.00	0.00	0.00	0.32	4.76	12.61	0.00	3.67	0.00	0.00	67.58

Tableau 24 : Matrice de changement (surface et taux d'évolution spatiale) entre 2000 et 2008.

2-3- 10 - L'interprétation du changement :

L'information diachronique intégrée dans les cellules correspond à la surface en hectare d'une classe déterminée ayant subi un changement ou pas de l'occupation du sol. Cette valeur est ensuite exprimée en pourcentage pour la quantification du taux d'évolution de la superficie des classes (1 pixel équivaut à 0,02 hectare (ha) ou 225 m²).

Ainsi, l'analyse croisée des deux images montre une évolution considérable du paysage entre 2000 et 2008. Sur les 250331.34 ha concernés par notre zone d'étude, environ 119510 ha ont changé d'occupation de sol correspondant à 48% de la région global et environ 55490 ha sont

restés stables tableau 22. De plus, l'analyse des résultats issus de la matrice de transitions (Tableau 23 et 24) et du taux d'évolution spatiale du tableau 22 permet de tirer les enseignements suivants :

- la superficie de la classe Amas<2m a diminué de 81% qui a été affecté respectivement aux classes (MED = 28.09%, BARK=18.73%, FCAI=14.94%, NAP= 11.57%, AMA2=6.46%).
- La surface de la classe Amas>2m est restée stable seulement à 36.77%. La majorité de la surface a été affectée respectivement aux classes (MED = 17.39%, BARK = 17.09%, FCAI = 16.47%, AMA1 = 04.22%).
- La majorité de la classe Nappage s'est transformée aux classes (BARK= 49.58%, MED=26.49%, AMA1=8.93%).
- 21.14% de la classe champ de barkhane est restée inchangée. Le reste est affecté respectivement aux classes (AMA1= 36.74%, MED=16.09%, AMA2 = 9.91%, NAP = 4.05%).
- Environ 75% de la classe MED est répartie entre les classes (AGG=17.01%, BARK=16.22%, DEF=13.72%).
- La classe DEF a subi une diminution de 81% qui est transformée en (MED=30.44%, BARK = 22.20%, FCAI= 18.50%).
- 15% de la classe Agglomération a régressé. Ce taux est affecté aux classes (FCAI=4.76%, MED=1.64%, AMA2=1.44%), cela est dû à la légère confusion qui régnait entre ces classes au moment de l'affectation des pixels lors de la classification des images.
- Presque la moitié de la classe Formation Caillouteuse est transformée en (MED = 22.63%, DEF= 8.02%, BARK=6.04%, AMA2=4.93%, ROOT=3.82%).
- Seulement 20 % de la classe Ceinture Verte est réorientée vers les classes (MED=6.31%, FCAI=3.25%, AMA2=1.35%).
- La classe mise en valeur en 2000 est transformée en totalité vers les autres classes en 2008.
- la surface en eau telle la Sebkhah est restée quasi invariante tandis que celle de la classe Daya a subi une régression due essentiellement à l'assèchement de nature climatique (date de prise de vue de l'image 2008).
- Les changements affectés à la dynamique de la couverture végétale sont dans la logique d'une évolution normale de l'écosystème.

Ainsi, l'analyse du taux d'extension des classes d'occupation du sol entre 2000 et 2008 (Tableau 22) révèle une grande mobilité entre les classes de la région d'étude.

Par rapport à la fraction totale stable, les classes Ama1, Ama2, Nappage constituent les classes les moins stables avec plus de 50% de variation. Les surfaces de ces classes sont transformées essentiellement vers la classe Champs de barkhane et Mise en défens. Il faut rappeler que cela ne concerne que l'espace situé à l'intérieure des extractions des images établies. Et les classes perdues au sein de ce périmètre peuvent exister à l'extérieur.

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE.

Les formes d'ensablement ou accumulation de sables se répartissent en deux groupes, selon la morphologie qu'elles engendrent : plane (voiles et nappages) ou volumes évoluant vers les dunes (proto dunes, barkhanes ou aklés). Dans ce dernier cas, nous avons fait la distinction entre celles dont la hauteur est inférieure à 2 m (les plus mobiles) et celles dont la hauteur est supérieure à cette valeur (généralement, dans cette catégorie, se placent les dunes « anciennes », holocènes).

Parmi les édifices dunaires identifiés il y a les proto dunes ou dunes atypiques dont les dimensions sont en général modestes : leur hauteur est toujours inférieure 2 m. Les petites barkhanes : leur hauteur est inférieure à 2 m. Les barkhanes de hauteur supérieure à 2 m, mais atteignant rarement 5 m de haut. Les dunes en aklé, constituées de barkhanes jointives, empilées. Leur volume est plus grand, souvent elles sont organisées en petits « ergs ».

Globalement, les dépôts sableux ont presque doublé en superficie : ils occupaient un peu plus du 1/3 de la plaine de Naama en 1987, soit 36.9 % et les 2/3 de celle-ci en 2004 (63,9 %). Ce sont les petites dunes barkhanes et proto dunes de hauteur inférieure à 2 m qui ont le plus progressées spatialement : leur aire a presque triplé en 17 ans (4.9 % de la plaine en 1987 à 14,32 % en 2004). En seconde position, celle des nappages a presque doublé (18 % à 32,82 %). Les autres dépôts (cordon dunaire de Magroun, dunes de $H > 2$ m et épandages d'oued) se sont étendus sans que leur superficie double.

Les espaces récemment envahis par les sables et dans lesquels ils sont en expansion sont:

- La partie *SW de la plaine de Naama*, entre Dj Amoud à l'ouest et Dj Morhad-Mangoura à l'est. La vitesse moyenne de progression de l'ensablement est d'environ 500 m/an.

- La *partie centrale de la plaine de Naama* : envahissement par les sables à une vitesse de progression de 90 à 450 m/an et jusqu'à 2500 m/an.

- La *cluse de l'O.Saadane* (Dj. Hafid-Dj Guettob) est en continuité spatiale avec le lac Haoud Daïra (extrémité ouest de la plaine de Naama). De petites dunes y progressent à une vitesse moyenne de 500 m/an.

- Dans le *couloir orographique situé entre le Djebel Morhad et les Djebels Souiga-Aïssa*, au sud, la progression des sables s'est faite à très grande vitesse : 5000 m/an en moyenne (surtout à son extrémité nord).

Actuellement, vu la progression rapide des accumulations sableuses et la genèse de nombreuses petites proto dunes et surtout de petites barkhanes (hauteur < 2 m) très mobiles

dont elle est l'illustration la plus parlante, on peut donc avancer que la désertification des Hautes Plaines sud oranaises steppiques a atteint un stade qu'on peut qualifier de très avancé, voire d'irréversible.

TROISIEME PARTIE

Le stock de sable existe

I- UN DOMAINE ENDOREIQUE FAVORISANT LA RECEPTION DES SEDIMENTS D'OUED ET EOLIEN.

Il faut rappeler que la morphologie des Hautes Plaines sud Oranaises, correspond à une vaste plaine de 1000-1200 m d'altitude, découpée par les chaînons avancés des Mts des Ksour, orientés NE/SW en plusieurs « couloirs orographiques » parallèles. Ceux-ci sont localement fermés (entièrement ou partiellement) par des djebels WSW/ENE. L'ensemble forme ainsi un milieu à fond plat, enclavé, à maillage délimité par des montagnes très érodées et dont l'altitude dépasse rarement les 2000 m.

Cette « géométrie » du relief fait de cette région le réceptacle des apports aussi bien liquides que solides : c'est le domaine de l'**endoréisme**. En effet, les oueds qui descendent des djebels aboutissent dans la plaine qui est leur niveau de base. La surface de celle-ci est accidentée de nombreuses cuvettes (dayas ou cuvette hydro-éoliennes) et comporte trois zones humides de dimensions assez importantes : le Chott Chergui au NE, Sebkhate Naama au sud de celui-ci et un lac d'eau douce, Haoud Daïra à l'ouest.

C'est au débouché de ces ouvertures formées par cette discontinuité des djebels, que se trouvent les plus grandes accumulations sableuses. Elles constituent actuellement les principaux axes de passage des apports éoliens. En effet dans ces ouvertures, le vent est canalisé vers la plaine, sa vitesse s'accélère et l'apport du Sud-Ouest et du Sud-Est peut être accru. Par leur disposition structurale, ils offrent une voie de passage aux courants éoliens, qui à long terme, constituent des accumulations vers l'aval (autour d'Aïn Benkhelil par exemple).

Le même cas est à signaler vers l'Est, avec beaucoup plus d'ampleur. L'existence d'un petit erg au sud de Sebkhate Naama, témoigne de l'importance des courants éoliens favorisés par l'ouverture dénommée « Bine et Touaref » qui veut dire entre les bordures, située entre le djebel Souiga et le djebel El Melah.

Ce système a probablement existé dès le Pliocène : la plaine est constituée de dalles calcaires couronnant des formations plio-quadernaires d'origine aussi bien sédimentaire que lacustre ou palustre. Celles-ci fossilisent un substrat en grande partie jurassico-crétacé plissé et érodé qui affleure dans les djebels et les reliefs résiduels provenant de l'érosion de ceux-ci. Le faciès est en grande partie calcaire et gréseux avec des intercalations de marnes et d'argiles vertes ou marron. Deux grands cordons dunaires plio-quadernaires longent les piémonts ouest du Dj Morhad et nord du Dj Mekter.

II- DES FORMATIONS SUSCEPTIBLES DE PRODUIRE DU SABLE.

Hormis les accumulations sableuses existantes, le sable peut être généré sous l'action de l'érosion hydrique par la nature du substrat existant dans notre région d'étude.

Le quartz est présent dans la plupart des affleurements qui constituent les reliefs avancés des Monts des Ksour et les monts des Ksour eux-mêmes.

Comme nous l'avons cité plus haut, dans la description lithologique de la première partie, les formations gréseuses constituent la plus grande partie des massifs. On les trouve, en alternance avec des marnes et calcaires au niveau des djebels Souiga et El Melah au nord ; ils constituent la majeure partie des formations dans les Monts des Ksour.

De plus, la fragilité du milieu, accentuée par la sécheresse avec un couvert végétal dégradé, fait que le sable peut être produit « *in-situ* » par déstructuration de la formation superficielle.

Cependant, il existe des dunes anciennes comme le cordon dunaire de Magrouna, d'âge quaternaire. Il est situé les piémonts W du Dj Oumm el Ar'ar et du Dj el Hadjret Toual. Il s'étend du SW au NE sur environ 30 km de long et 3.70 km de large. Et les accumulations sableuses de Sebkhata Naâma qui sont de véritables champs de dunes. Elles sont localisées en grande partie dans la partie sud de la Sebkhata. Ce sont des akés s'étendant sur 10 km du sud au nord et sur 12 km d'ouest en est. Leurs hauteurs qui varient entre 2 et 4 m. Elles sont relayées vers le sud par deux autres champs, l'un, à l'ouest du Dj.Souiga et le second, plus important, sur le piémont occidental du Dj.Morhad.

Dans les Mts des Ksour, le cordon dunaire le plus imposant est la dune d'Aïn Séfra, située sur le piémont nord de Dj. Mekter.

III- LES APPORTS DES OUEDS ET DES EPANDAGES.

Si l'érosion éolienne joue un rôle très visible dans la morphogénèse des zones arides. L'érosion hydrique par le ruissellement a une activité aussi évidente. C. Valentin (1994), considère que le ruissellement augmente considérablement avec l'aridité passant de presque 0% en forêt tropicale humide à plus de 80% aux limites du Sahara. Il explique ce paradoxe par les états de surface tropicaux, bien protégés par la végétation et riche d'une forte activité faunique et d'autre part les zones sèches, où le faible couvert végétal, associé à une activité faunique limitée, favorise la formation de croûtes superficielles très peu perméables, facilitant ainsi le ruissellement.

Dans la région de Naama, le ruissellement est très actif sur les versants des djebels, sur les piémonts, les glacis et le long des berges d'oueds, et ce malgré la faiblesse des précipitations, qui sont de l'ordre de 186 à 235 mm/an en moyenne. Mais les fortes intensités des averses et

leur caractère orageux combinés avec les différents facteurs topographiques (inclinaison et longueur des pentes) et édaphiques (sol nu peu protégé par une végétation clairsemée), facilitent le ruissellement sous toutes ces formes dans notre secteur d'étude.

En effet, dans cette région et dans de pareilles conditions, les pluies orageuses de quelques mm seulement, sont suffisantes pour provoquer un certain ruissellement et des crues en un laps de temps très court (quelques millimètres seulement). J. Dubief, (in Dresch, 1982) a montré qu'au Sahara des averses de 5 à 8 mm, peuvent déterminer un ruissellement. Or, dans notre région d'étude, les averses intenses ne sont pas rares pendant la saison des pluies.

Le rôle morphogénique du ruissellement contribue aux transports et à l'accumulation des sédiments.

Dans la région de Naama, l'érosion hydrique se manifeste, surtout par :

- L'impact des pluies sur le sol.
- Le ruissellement diffus et concentré.

Ainsi, l'action des gouttes de pluies sur le sol de la région de Naama, a un effet de désagrégation, de destruction des structures superficielles, et un tri des éléments, argiles et limons, sables fins, sables grossiers qui sont redistribués à la surface du sol en fonction de la longueur de la pente.

Le ruissellement concentré se montre très actif, surtout sur les versants des djebels Souiga et Aissa où il a conduit généralement à la mise à nu du substrat. En effet, la raideur des pentes combinée avec des événements pluvieux de courte durée, mais très intenses, sont à l'origine des crues pendant la saison des pluies.

Ce type d'écoulement donne naissance à des formes correspondant à un balayage de piémont et de glacis dans des conditions très diverses, qui témoignent d'une fourniture excessive de matériau par érosion active.

La quantité énorme de sédiments (Photo 16 & 17) et d'alluvions en vrac, mobilisés par le ruissellement et que l'on peut observer en bordure de glacis, des versants en pentes douces des djebels Souiga, Aouinet Khaled et Tifkirte, constitue une des sources importantes de sables, contribuant ainsi à l'alimentation des différentes dunes qui menacent les activités humaines dans la région. Ce matériel étalé sera trié, repris par la déflation, qui prendra soin de sa distribution.



Photo 16 : Apport hydrique dans des champs dunaires situés sur les piémonts ouest de Djebel Tifkirte (octobre 2008) (cliché M.N Belmahi)



Photo 17 : Erosion hydrique dans des champs dunaires situés sur les piémonts ouest des Djebel Souiga-Aouinet Ouled Khaled (mai 2006) (cliché K.Dida)

Les années 2007 et 2008 (sans oublier 2006) ont connu une recrudescence des crues des oueds en particulier sur une grande partie des infrastructures routière et ferroviaire des Hautes Plaines Sud Oranaises. Nous avons voulu, par le biais de l'analyse des intensités des pluies journalières et de la corrélation avec les dates de survenu des crues, mettre en évidence la pluviométrie suffisante pour déclencher celles-ci. Ensuite, grâce à des formules empiriques, une estimation du volume potentiel de sédiments déposés par les oueds en crue a été faite, étayée par des observations sur le terrain. L'étude a concerné les 3 stations de Mécheria, Naama et Ain Sefra.

Il faut relever que la moyenne des précipitations est de 223,46 mm Mécheria (moyenne de 28 ans de 1980/81 à 2006/07), de 186,18 mm à Naama (période de 16 ans, de 1991/92 à 2006/07) et de 235 mm à Ain Sefra (période de 30 ans, de 1977/78 à 2006/07).

1. Les intensités de pluie : analyse fréquentielle des deux dernières années (2007-08).

Nous devons souligner le caractère non représentatif statistiquement de deux années seulement, cependant ils seront utiles pour comprendre les mécanismes de crues.

Nous avons considéré l'intensité comme étant le volume des pluies tombé en 24 heures. Les données sont celles relevées par l'ONM. En outre, comme limite inférieure, nous avons suivi en cela J.Dubief (1956) qui a montré qu'au Sahara et sur les Mts des Ksour (Atlas saharien occidental), des averses de 5 à 8 mm de pluie tombés en un jour sont suffisants pour générer un certain ruissellement. Dans le Tell, Seltzer (1948) a estimé qu'une pluie torrentielle est celle dont le volume > 30 mm/jour.

1-1. A Mécheria.

52.6 % des précipitations sont <2 mm et si l'on considère les tranches pluviométrique de 1 à 7 mm : 83.2 % des précipitations sont < 7 mm.

Les tranches de 7-9 mm et 9-10 mm ont chacune une fréquence de 2.29 %. Celles de 10-15 mm et 15-20 mm ont une fréquence respective de 3.05 et 3.8 %.

La tranche 20-25 mm : 2.3 %.

Quatre tranches de pluies peuvent être qualifiées de « fortement torrentielles » elles sont tombées chacune, au moins une fois au cours de ces 2 dernières années. Ce sont des quantités correspondant à : 27 mm ; 32 mm ; 34.2 mm et 36 mm (0.76 % chacune, soit 1 fois).

1-2. A Naama.

82% des précipitations journalières sont < 7 mm. Celles < 2 mm correspondent à 39 %.

Les tranches pluviométriques de 7-9 mm et 9-10 mm ont une fréquence de 4.8 %.

Une mention particulière peut être faite pour la tranche 10-15 mm : 6 %.

Les 2 classes pluviométriques suivantes (15-20 mm et 20-25 mm) ont une fréquence similaire : 1.8 et 1.9 %.

Des précipitations de 32 mm/jour ne se sont produites qu'une fois au cours de ces 2 dernières années.

1-3. A Ain Sefra.

Comme dans les 2 autres stations météorologiques, à Ain Sefra, les précipitations tombées en 24 heures et qui sont < 7 mm, sont les plus fréquentes (84.6 %), surtout celles de 1 mm (41.6 %).

Les tranches suivantes ont des fréquences moindres :

- 7a 10 mm : 6.55 %

- 10 15 mm : 1.45 %

- 15 a 20 mm : 1.45 %.

- des pluviométries de 21 mm à 98 mm/ jour ont été enregistrées 1 fois au cours des ces 2 dernières années (21.2 mm, 31.4 mm, 56 mm, 60.9 mm, 78 mm et 98 mm).

C'est à Ain Sefra (Monts des Ksour) que les intensités de pluies journalières sont les plus élevées, voir très élevées.

2- Le total des volumes de pluie tombés durant plusieurs jours consécutifs est plus significatif en terme de crue et d'apports solides.

En fait, c'est le total des précipitations tombées pendant un certain nombre de jours consécutifs qu'il faut prendre en considération: les effets s'ajoutent et peuvent soit, gonfler le volume d'eau ruisselée, soit amplifier (ou entretenir) le phénomène « crue » (Tableau 25 & 26).

Mais auparavant, il faut faire un premier constat : le régime pluviométrique de 2 dernières années se caractérise par 4 « pics » qui se placent en février, mai, septembre et octobre.

En outre, il faut noter que c'est l'année 2008 qui s'est distinguée par des intensités de pluies journalières particulières et une pluviométrie exceptionnelle qui a atteint 440,7 mm à Ain Sefra alors qu'il est tombé 295.3 mm en 2007 et que la moyenne (sur 30 ans) est de 235 mm.

Par station : (Tableau 25)

2-1. A Mécheria

(1) En février 2008, il y a 2 groupes de jours qui se dégagent :

- Les 13 et 14/02/08 : 35.2 mm (2 j)
- Du 17 au 24/02/08 dont 2 jours sans pluie, mais non consécutifs : 8.2 mm (6 j)

(2) En mai 2008 : 1 groupe de jours :

- Les 8, 9, 10/05/08 : 23.6 mm dont 19.8 mm en 1 seul jour (3 j).

(3) En septembre 2008 : 2 groupes de jours :

- Le 01/09/08 : 12 mm (1 j)
- Du 26 au 30/09/08 (avec 1 jour sans pluie) : 34 mm dont 24.3 mm le 28 (4j)

(4) En octobre, 1 groupe de jours en 2007 et 3 en 2008 :

En 2007 : du 14 au 19/10/07 : 91.3 mm dont 50.3 mm et 36 mm durant les 2 derniers jours (6 j)

En 2008 :

- Du 8 au 15/10/08 : 82.1 mm dont des intensités de pluie journalière de 27 mm ; 18.1 mm et 15.2 mm. Ces 2 dernières valeurs concernent en plus, les 2 derniers jours respectivement (8j).
- Du 18 au 25/10/08 (soit après 2 jours sans pluie) : 69.5 mm dont 16.6 mm et 32 mm les 2 derniers jours (8 j).
- Le 28/10/08 (2 jours après) : 14.6 mm. (1 j)

2-2. A Naama

(1) En février 2008 : 2 groupes de jours :

- Les 13 et 14/02/08 : 25.1 mm (2 j).
- Du 17 au 24/02/08 (avec 2 jours sans pluie intercalés) : 12.7 mm (7 j).

(2) En mai 2008: un groupe de jour :

- Les 8, 9 et 10/05/08 : 22.1 mm (3 j).

(3) En septembre 2008 : 2 groupes de jours :

- 11 et 12/09/08: 7.4 mm (2 j).
- 27, 28 et 29/09/08 : 34.2 mm (3 j).

(4) En octobre 2007 : 2 groupes de jours :

- Du 14 au 19/10/07 : 22.6 mm dont 21 mm le 19 (5 j).
- Les 24 et 25/10/07 : 9.6 mm (2 j).

En octobre 2008 : 4 groupes de jours :

- 8 et 9/10/08 : 14 mm (2 j).
- Du 11 au 15/10/08 : 43.2 mm (5 j).
- Du 19 au 25/10/08 : 78.7 mm dont 21.7 mm et 33 mm les 2 derniers jours (7j).
- Du 28 au 30/10/08 : 18.7 mm (3 j).

2-3. A Ain Sefra.

(1) En février 2008 : Un groupe de jour :

- Le 13 et 14/02/08 : 26.4 mm (2 j).

(2) En mai 2008 : 3 groupes de jours :

- Le 8 et 10/05/08 : 18.1 mm (2j).
- Le 16/05/08 : 10 mm (1j).
- Les 26 et 27 : 10.2 mm (2j).

(3) En septembre 2008 : 4 groupes de jours :

- Les 1-2 et 3/09/08 : 10.9 mm (3j).
- Le 12 : 6.2 (1j).
- Les 28 et 29 : 20.1 mm (2j).

(4) En octobre :

2007 :

- Les 17 et 18/10/07 : en 2 jours, il est tombé 158.9 mm soit 98 et 60.9 mm. 98 mm correspond à 41.7% *de la pluviométrie moyenne* d'Ain Sefra et à 33.2% *du total de l'année 2007. De même, les 60.9 mm tombés le 18/10/07 représentent 20.7%* de ce dernier.
- Les 24, 26 et 27/10/07 : 10.3 mm (3j).

2008 :

- Du 8 au 11, puis du 13 au 14 : 130.7, soit **55.61% de la pluviométrie annuelle moyenne et 29.65% du total des pluies de l'année 2008**. Ensuite, après 3 jours sans pluie.
- Du 18 au 25/10/08 (8j) : 111.9 (soit **44.61% de la pluviométrie annuelle et 25.4% des pluies tombées en 2008**) dont 21.2 mm et 56 mm (23.86% par rapport à la pluviométrie moyenne) les 2 derniers jours.
- Les 27, 28, 29 et 30/10/08 : 17 mm (4j).

Tableau 25 : Les pluies journalières des mois de l'année, les plus concernés par les pluies intenses, d'après les données ONM 2007-08.

Stations	Mécheria					Naama					Aïn Sefra				
	Fév. 08	Mai 08	Sept. 08	Oct. 07	Oct. 08	Fév. 08	Mai08	Sept.08	Oct.07	Oct.08	Fév.08	Mai08	Sept.08	Oct.07	Oct.08
1	0	0	12	0	0	0	0	4,8	0	0	0	0	5,6	1,7	0
2	0	0	0	1,6	0	0	0	0,4	2,8	0	0	0	1,7	0,9	0,6
3	0	0	0	0,7	0	0	0	0	0	2,7	0	0	3,6	0	1,6
4	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	19,8	0	0	5,2	0	18,3	0	0	4,7	0	15,5	0	1,3	0,2
9	0	2,8	0	0	6,2	0	1,4	0	0	9,3	0	0	0	0	78
10	0	1	0	0	0	0	2,4	0	0	0	0	2,6	0	0	2,1
11	0	0	0,1	0	27	0	0	0,1	0	23	0	0	0	0	4,6
12	0	0	1,6	0	4,2	0	0	7,3	0	2,2	0	0	6,2	0,1	2
13	11,4	0	0	0	6,2	10,4	0	0	0	4,2	12,7	0	0	1,2	0
14	23,8	0	0	1,6	18,1	14,7	0	0	0,8	13	13,7	0	0	0,1	31,4
15	0	0	0	0,6	15,2	0	0	0,1	0,5	0,8	0	0	0	0	0,4
16	0	0	0	2,8	0	0	0	0	0,2	0	0	10	0	0	0
17	0,8	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	98	0
18	0	1,2	0	50,3	2,1	0,2	1,2	0	0,1	0	0,2	0,2	0	60,9	0
19	1,5	0	0,6	36	3,8	0,5	0	0,7	21	4,6	0	0	0	0	8,9
20	0	0	0	0	5,1	0	0	0	0	0,6	0,5	0	0	0	4,9
21	0,3	0	3,8	0	9,3	2,5	0	5,1	0	13,5	5	0	5,3	0	12,6
22	0,6	0	0	0	0	1,5	0,6	0	0	0	1	0	0	0	0
23	1	0	0	0	0,6	0	0	0	0	4,3	1,1	0	0	0	8,6
24	4	0	0	0,4	16,6	7,8	0	0	0,1	22,7	0,9	0	0	4,4	21,2
25	0	0	0	0,1	32	0	0	0,1	9,5	33	0	0	0	0	56
26	0	1,1	0,8	0	0	0	1,5	0	0	0	0,6	0,3	0	0,7	0
27	0	0,8	6,7	2	0	0	2,1	4,8	1	0	0	9,9	0	5,2	0
28	0	0	24,3	3	14,6	1,1	0	15	7	9,8	0,7	0	11,9	0	5
29	0	0	0	2,2	0	0	0	14,4	0,2	0	0	0	8,2	0	2,5
30	-	0	2,2	0	4	-	0	0	0	7,7	-	0	0	0,5	9,2
31	-	0,2	-	0	1,8	-	0	-	0	1,2	-	0	-	0	0,9

 Pluies faiblement intenses  Pluies intenses  Pluies fortement intenses

Remarque : Pour l'année 2007, il y a que le mois d'Octobre qui enregistre des pluies intenses.

Tableau 26 : Relation durée des pluies >7mm/jour et volume ou pluviométrie enregistrée, en 2007 et 2008.

Durée et fréquence	Pluviométrie (mm)	Observations
2 jours	10.2	Ruissellement Pluviométrie
	14	ruissellement
	18.1	ruissellement avec apport solide
	20.1	Crue sur b-v du Dj. Souiga
	23.6	Crue sur b-v du Dj. Souiga et Boughallaba
	25.1	Crue sur b-v du Dj. Souiga et Boughallaba
	26.4	Crue sur b-v du Dj. Souiga et Boughallaba
	35.2	Crue sur b-v du Dj Souiga, Aissa et Mekhter (0. Ain Sefra-amont de
	158.9	Crue sur les bassins versants des Dj Souiga, Aissa, Morhad et Mekhter (0. Ain Sefra-amont de l'O. Namous)= crue sur la plupart des
	10.9	Ruissellement
3 jours 4 fois	18.7	ruissellement
	22.1	Ruissellement avec des apports solides
	34.2	Crue probable ou potentielle
	17.6	Ruissellement
4 jours 2 fois	34	Ruissellement concentré avec apports solides
	43.7	Ruissellement concentre avec apports solides
5 jours 1 fois	91.3	Crue des oueds du bassin versant du Dj. Souiga
6 jours 2 fois	130.7	Crue de la plupart des oueds des Mts des Ksour exposition Ouest et N).exposition Ouest et N).
	12.7	Néant
	78.7	Ruissellement concentré avec apport solides et débit conséquent decertains oueds des bassins versants à exposition Ouest et N.
	111.9	Crues probables de certains oueds des bassins versants étudiés

3- Corrélation précipitations intenses et crues et estimation des débits maxima.

3-1. Corrélation précipitations intenses et crues (Tableau 27).

Des crues se sont produites en 2007 et 2008 durant 4 mois : février, mai, septembre et octobre (Fig. 39, 40 & 41).

En Février :

Une crue s'est produite les 13 et 14 février 2008. La pluviométrie responsable est de :

- 35,2 mm enregistrés à Mécheria,
- 25.1 mm et 26.4 mm, respectivement à Naama et Ain Sefra.

En mai :

3 crues se sont produites avec des intensités variables :

- Le 9 mai 2008. La pluviométrie était de
- 23.6 mm dont 19.8 mm en 1 jour à Mécheria.
- 22.1 mm à Naama et
- 18.1 mm à Ain Sefra.

Des dépôts sableux de +1 m d'épaisseur (1.20 m) se sont faits sur l'ancienne voie ferrée aux environs de Souiga. D'autres ont été relevés aux environs de Mékalis, mais peu épais. Cependant, les écoulements sont passés en certains points au-dessus de la voie ferrée en voie de construction. Dans d'autres, ils se sont faits parallèlement au tracé de celle-ci en érodant les talus de la plate forme ferroviaire.

- Les 23-24 mai 2008 : 60 mm (Naama) et
- Les 27-28 mai : 34.2 mm (Naama).

En septembre 2008 :

Les 28-29 septembre 2008 : crue après des intensités de pluie de 34 mm dont 24.3 mm en 1 jour (le 28) à Mécheria, 34.2 mm à Naama et 20.1 mm à Ain Sefra.

En octobre :

Crue du 18-19 octobre 2007 avec des intensités de pluie très variables :

- 91.3 mm dont 86.3 mm les 18 et 19 relevés à Mécheria et
- 22.6 mm dont 21 mm le 19, à Naama.
- 158.9 mm en 2 jours dont 98 mm en 1 jour ont été enregistrés à Ain Sefra.

Crues échelonnées dans le temps et l'espace en octobre 2008 :

- 9/10: crue à Ain Sefra (P=78 mm) et certains oueds de Souiga (27 mm à Mécheria et 14 mm à Naama)
- 13-14/10 : idem, Ain Sefra (P=52.7 mm) et les oueds descendant du djebel Souiga et Aissa

(18.1 et 15.2 mm)

- 24-25/10 : crues généralisées à tous les bassins versants des tronçons N, centre et sud, avec

- Un total de pluie tombé en 6-7 jours consécutifs de 78.7 mm dont 21.7 et 33 mm les 24-25/10/08 (Naama)
 - Un total de 69.5 mm tombé en 7 jours consécutifs dont 16.6 +32 mm les 24-25/10/08 (Mécheria)
 - Idem : 111.9 mm de pluie du 18 au 25/10/08 dont 21.2+56 mm les 24-25/10/08 (Ain Sefra).
- Cette dernière crue a été « renforcée » en fin de mois avec des précipitations de
- 17.6 mm à Ain Sefra,
 - 18.7 mm à Naama et
 - 14.6 mm à Mécheria.

Fig. 39 : Pluie quotidienne que nous pouvons corrélérer avec la survenue des crues entre le 06 Février et le 31 octobre pour la station de Mécheria (d'après les données ONM 2007-08).

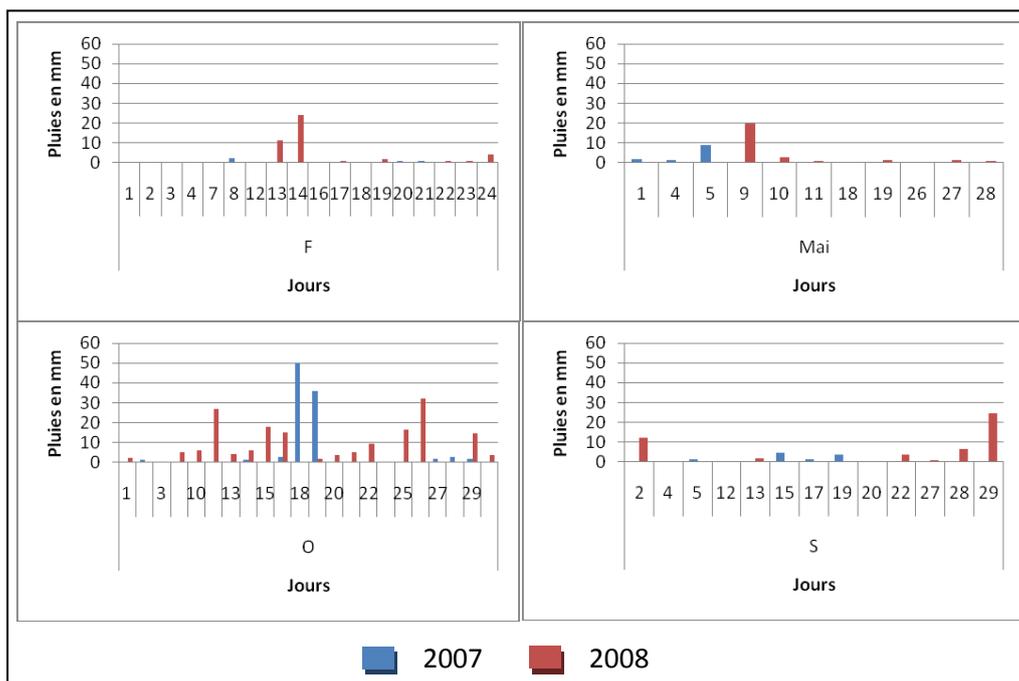


Fig. 40 : Pluie quotidienne que nous pouvons corrélérer avec la survenue des crues entre le 06 Février et le 31 octobre pour la station de Naama (d'après les données ONM 2007-2008)

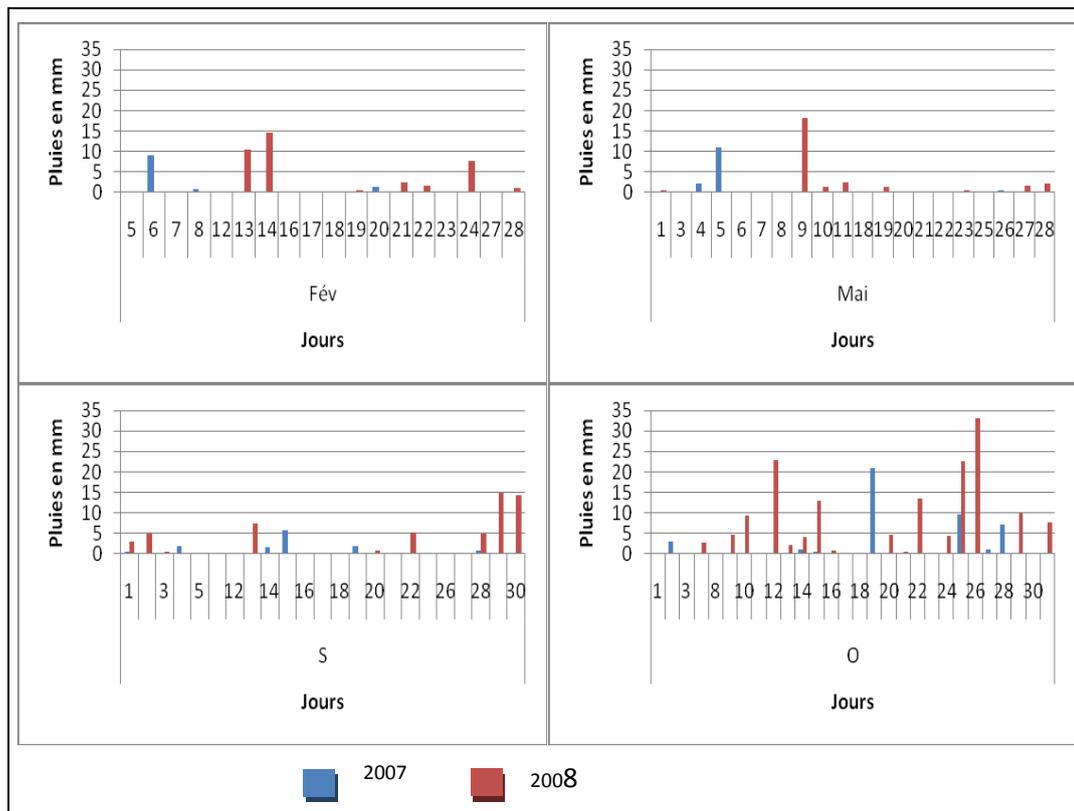


Fig. 41 : Pluie quotidienne que nous pouvons corréler avec la survenue des crues entre le 06 Février et le 31 octobre pour la station d'Aïn Sefra (d'après les données ONM 2007-08).

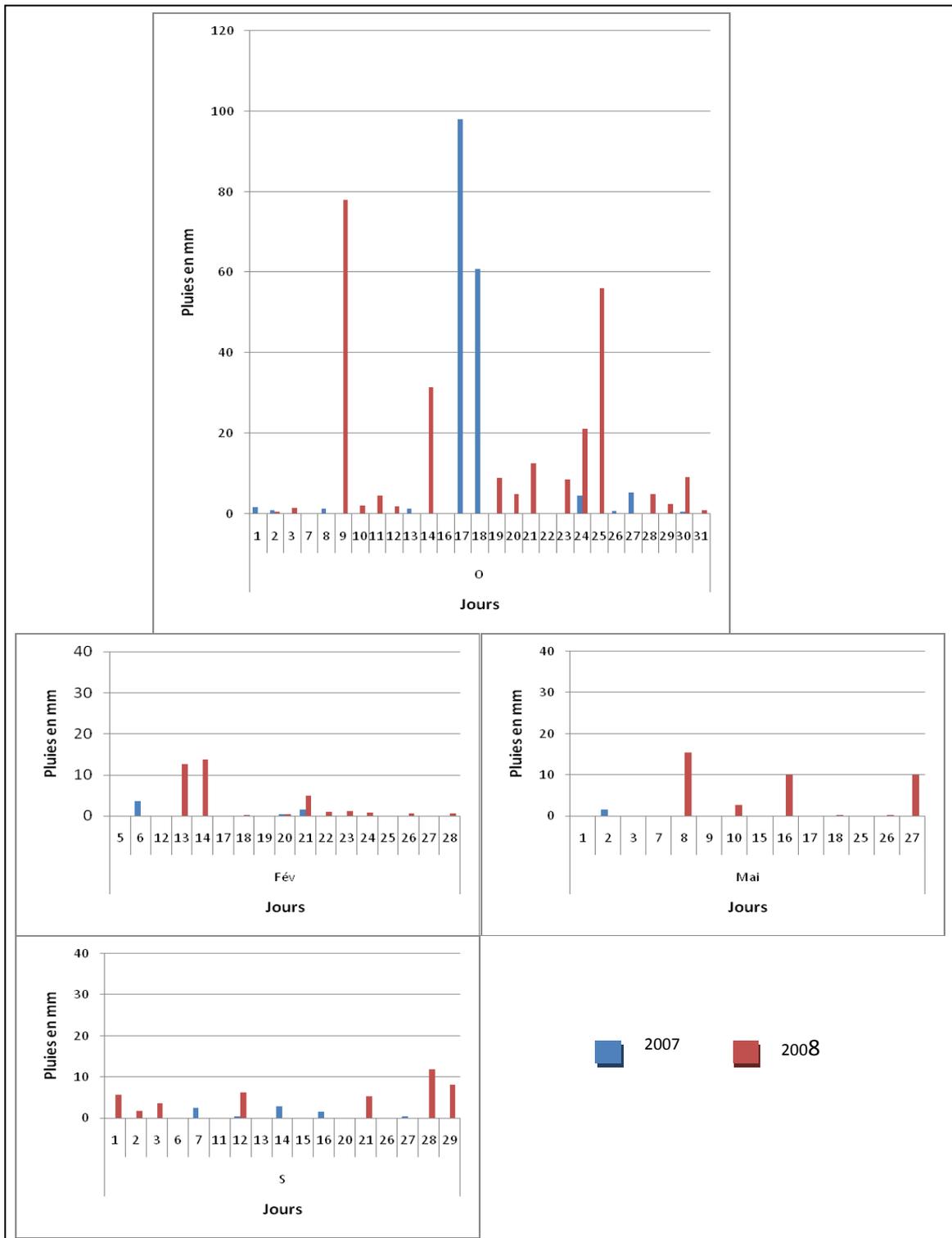


Tableau 27 : Corrélation Pluviométrique concentrée et ruissellement-cruée en 2007 et 2008 dans les Monts des Ksour.

Station	Date	Volume des pluies en mm	Durée en jours	Conséquences
Mécheria	13-14/02/08	35.2	2	Crués des oueds des bassins versants des Dj. Souiga et du versant ouest du Dj. Aissa (Bassin versant de Boughallaba).
Naama		25.1		
Ain Sefra		26.4		
Mécheria	17 au 24/02/08	8.2	7	Ruissellement diffus.
Naama		12.7		
Mécheria	8-9-10/05/08	23.6	2-3	Crués des oueds des bassins versants du Dj. Souiga (à exposition ouest) avec apport solides.
Naama		22.1		
Ain Sefra		18.1		
Mécheria	27 au 30/09/08	34 dont 24.3 en 1 jour	4	Crués des bassins versants du Dj. Antar, Dj. Souiga et Dj. Aissa (Oued d'Ain Sefra)
Naama		34.2	3	
Ain Sefra		20.1	2	
Mécheria	14 au 19/10/07	91.3	6	Crués généralisées à tous les bassins versants des Monts des Ksour.
Naama		22.6		
Ain Sefra		158.9 en 2 jours		
Mécheria	8 au 15/10/08	82.1	8	Crués généralisées à tous les bassins versants des Monts des Ksour (y compris ceux du Dj. Antar).
Naama	8-9/10/08	14	2	
Ain Sefra	8 au 14/10/08	130.7	4-6	
Mécheria	18 au 25/10/08	69.5	8	Crués généralisées à tous les bassins versants des Monts des Ksour (y compris ceux du Dj. Antar).
Naama		78.7		
Ain Sefra		111.9		
Mécheria	27-28/10/08	14.6	1	Ruissellement concentré
Naama		18.7	2	Petite crue des oueds des bassins versants du Dj. Souiga (ceux à exposition ouest).
Ain Sefra		17.6	3	Oued Ain Sefra débit conséquent.

3-2. Estimation des débits maxima

3-2-1 Méthodologie

Nous avons choisi deux ensembles de sous bassins versants, situés sur les versants à exposition ouest des djebels Aouinet Khaled-Souiga (« bassin de Souiga ») et Aissa (« bassin de Boughallaba ») pour lesquels il n'y a pas de station de jaugeage.

En l'absence des résultats des observations et relevés (jaugeages) hydrométriques, nous avons procédé à des méthodes et des formules qui vont nous permettent de quantifier les apports liquides et solides au niveau des bassins versant étudiés.

- Pour l'estimation de l'apport annuel moyen (A) et de la lame d'eau écoulée (Le), s'est faite d'après un certain nombre de formules empiriques (soit huit formules utilisées) répondant aux caractéristiques hydrologiques de ces sous bassins versants. Ensuite nous avons jugé utile qu'il est préférable de calculer la moyenne des différents résultats obtenus. Les formules concernées par le calcul des apports liquides sont :

a. Formule ANRH :

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_0 \text{ (Hm}^3\text{)} = 0,513 * (\text{Pa}/1000)^{2,683} * \text{Dd}^{0,5} * \text{S}^{0,842}$$

S: superficie du bassin versant en Km².

Pa : précipitation moyenne annuelle en mm

Dd : densité de drainage Km/Km².

b. Formule de Samie :

La lame d'eau écoulée (Le) est donnée par la relation suivante :

$$\text{Le} = (293 - 2,2 \times \sqrt{S}) P^2$$

$$A_0 = (\text{Le} \times \text{S})/1000 \text{ (en hm}^3\text{)}$$

c. Formule de Deri I :

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_o = 0.915 P_o^{2.684} S^{0.842} \text{ (en hm}^3\text{)}$$

Avec $P_0 = \text{Pa}/1000$

d. Formule de Deri II :

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_0 = (Le \times S)/1000 \text{ (en hm}^3\text{)}$$

$$\text{Avec } Le = M_0 * 31,56$$

$$M_0 = 11.8P_o^{2.82} \text{ (en l/s.km}^2\text{)}$$

e. Formule de Mallet-Gautier :

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_0 = (Le \times S)/1000 \text{ (en hm}^3\text{)}$$

$$\text{Avec } Le = 0,6*(Pa/1000)*(1 - (10)^{-0,36*(Pa/1000)^2}))*1000$$

f. Formule de Turc :

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_0 = (Le \times S)/1000 \text{ (en hm}^3\text{)}$$

$$\text{Avec } Le = h = P_o - D$$

Où :

$$D = \frac{P_o}{(0.9 + (\frac{P_o}{L})^2)^{0.5}} \text{ (en mm)}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \text{ (en } ^\circ\text{C)}$$

g. Formule de Chaumont :

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_0 = (Le \times S)/1000 \text{ (en hm}^3\text{)}$$

$$Le = (1 - 10^{-0,36 Pa^2}) Pa$$

h. Formule de Padoun :

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_0 = (Le \times S)/1000 \text{ (en hm}^3\text{)}$$

$$Le = M_0 * 31,56$$

$$M_0 = 1.54(0.0019P_o)^{3.57} \text{ (en l/s.km}^2\text{)}$$

Pour les formules Mallet-Gautier, Turc et Chaumont, les coefficients de variation Cvq ont été calculés à l'aide de la formule de Chebotariev :

$$Cvq = \frac{Cvp}{C_e^{0.35}}$$

Pour les formules Deri I et II, le Cvq a été calculé avec la formule Sokolovsky – Cheveliev

$$Cvq = 0.78 - 0.29 \lg_g M_o - 0.063 \lg (S + 1)$$

Pour la formule Sami, le Cv a été calculé par la relation de Sokolovsky

$$Cvq = 0,78 - 0,291 * (\text{LOG}(M_0))$$

$$\text{Et } M_0 = Le / 31,56$$

- Pour ce qui est de l'apport fréquentiel, il est déterminé après estimation du débit spécifique ($l/s/Km^2$) et le coefficient de variation.

Le débit spécifique, quant à lui, correspond à tout débit rapporté à l'unité de superficie du bassin ; il est exprimé en général en litres par seconde par kilomètre carré. L'intérêt de cette notion, appliquée aux modules, est de faciliter la comparaison entre les bassins d'étendues différentes. Le coefficient de variation moyen sera calculé à l'aide des formules de Padoun, Sokolovsky – cheveliev et Chebotariev ci-dessus détaillées.

Par ailleurs, l'utilisation de la loi exponentielle, suivante, nous permettra de prévoir les équations d'apports des différents cours d'eau.

$$A_{pp80\%} = \frac{A_0}{\sqrt{Cv^2 + 1}} e^{-u \sqrt{\text{Ln}(Cv^2 + 1)}}$$

Où :

U : variable de Gauss (pour une fréquence de 80%, $u = 0,84$).

Cv : coefficient de variation, dépendant du module M_0 (apport en $l/s.Km^2$).

K : Coefficient variant linéairement avec l'altitude

- Pour l'étude des crues et la détermination des débits maxima, il fallait connaître le temps de concentration dans les bassins versants, pour cela nous avons utilisé les formules suivantes :

a. **Formule de Kirpich Californienne :**

$$T_C (h) = [0.019395 * L / (I^{0.5})]^{0.77}$$

L : longueur du Talweg le plus long en km ;

I : Pente moyenne du talweg en m/m

b. Formule espagnole :

$$T_c(h) = 0.3 \times (L / I^{0.25})^{0.77}$$

L : longueur du Talweg le plus long en km

I : pente moyenne du plus long Talweg en m/m

c. Formule de VENTURA :

$$tc(h) = 0,1272 \cdot \sqrt{S/I}$$

S : Surface du bassin en km²

I : Pente moyenne du talweg en m/m

- Ensuite, nous avons utilisé la formule de Turazza et celle de Mallet- Gautier pour estimer le débit maximum.

a. La formule de Turaza :

Elle se traduit par l'équation suivante :

$$Q_{\max} \% = (ptc \% \cdot S \cdot C) / (3,60 \cdot tc)$$

Avec :

Q max %: débit de crue de période de retour voulue (en m³/s).

tc: temps de concentration du bassin (en heure).

ptc % : pluie de durée tc et de période de retour voulue

C : coefficient de ruissellement du bassin.

S: superficie du BV en km²

Nous avons adopté, la valeur du coefficient C = 0,6 généralement admise en Algérie. Nous supposons que l'averse est généralisée sur l'ensemble du bassin versant et que son intensité est constante. L'ajustement des valeurs est établi par la loi généralisée des valeurs extrêmes sur une période de 50 ans (de 1958 à 2008) et l'estimation des paramètres de la loi de probabilité est réalisée par la méthode du maximum de vraisemblance.

b. La Formule de Mallet- Gautier :

Le débit de crues est donné par la relation suivante :

$$Q_{\max} = 2 \times K \times \text{Log} (1 + A \times P_{\text{moy}}) \times \frac{S}{\sqrt{L}} \times \sqrt{1 + 4 \times \text{Log} T - \text{Log} S}$$

P_{moy} : Précipitations moyennes annuelle,

K, A : Coefficients qui dépendent de la topographie du bassin

(K = 2.5, A = 25).

S : superficie du BV en Km²

T: Période de retour voulue, dans notre cas 10, 20, 50 et 100 ans.

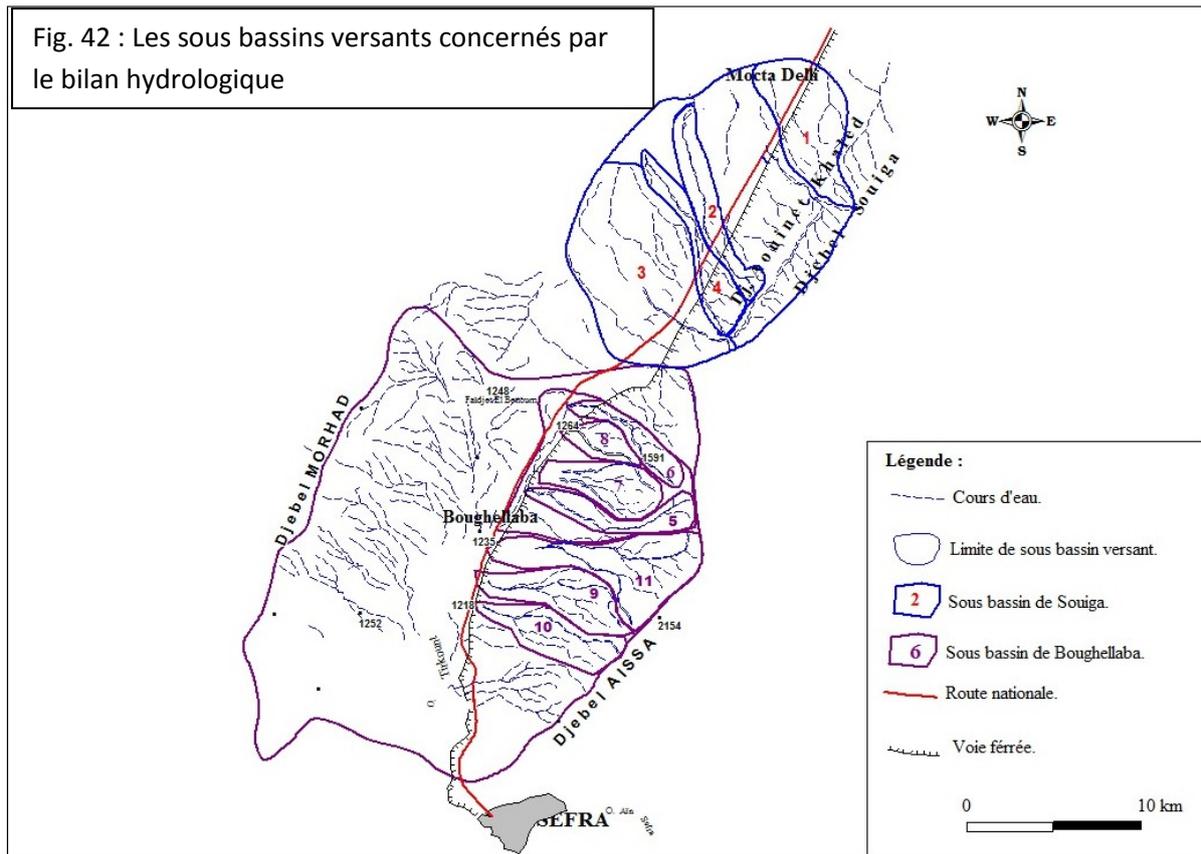
3-2-2 Les sous bassins étudiés (Fig. 42).

Les sous bassins de Souiga : ils sont en nombre de 4. Le plus grand est le sous bassin n°3 avec 17,9 Km².

Les sous bassins de Boughallaba : 7 sous bassins versants constituent ce 2^{ème} ensemble que nous avons nommé « sous bassins de Boughallaba ». Leur superficie est variable, de 2,1 à 21,5 km².

Tableau 27 : Les sous bassins versants étudiés.

	n° du bassin versant	Périmètre en Km	Surface enKm ²
Sous Bassin Versant de Souiga	1	15,1	5,8
	2	7,9	2,6
	3	23,8	17,9
	4	9,6	5,1
Sous Bassin Versant de Boughellaba	5	11,60	4,2
	6	6,46	2,1
	7	15,44	7,5
	8	11,12	7,4
	9	18,42	17,2
	10	24,54	15,1
	11	27,51	21,5



3-2-3 **Les temps de retour** des pluies journalières maxima (Tableau 28).
 Estimation du temps de retour des pluies journalières maximales à Mécheria et Ain Sefra d'après les données ONM de 1958 - 2008.

Tableau 28 : Temps de retour des pluies journalières maximales (1958-2008)

Durée de retour (années)	Mécheria	Aïn Sefra
	Pluie journalière maximale (mm)	Pluie journalière maximale (mm)
2	27.53	22.69
4	37.81	34.04
5	41.13	37.88
10	52.02	50.99
20	64.14	66.48
50	82.70	91.84
100	99.10	115.76

3-3 Résultats :

3-3-1 Le temps de concentration :

Les valeurs des intensités estimées, permettent, entre autres, d'indiquer le degré potentiel de production des crues en fonction de leurs temps de concentration (début des averses).

Tableau 29 : Le temps de concentration moyen dans les sous bassins versants d'après

les trois formules :

	n° BV	S	Lt	Pente	Kirpich Californienne	Espagnole	Ventura	Tc La moyenne
BV SOUIGA	1	5,85	7,37	0,04	59,4	61,5	NA	60,5
	2	2,66	3,62	0,02	45,8	41,3	NA	43,5
	3	17,9	10,86	0,04	79,3	82,1	145,8	102,4
	4	5,1	4,23	0,05	37,2	39,5	NA	38,4
BV BOUGHELLABA	5	4,18	5,51	0,12	32,3	40,7	NA	36,5
	6	2,07	3,07	0,08	24,6	28,5	NA	26,6
	7	7,49	7,34	0,11	43,1	52,4	NA	47,7
	8	7,39	5,02	0,06	39,2	43,2	NA	41,2
	9	17,18	8,76	0,08	53,7	62,4	106,6	74,3
	10	15,11	11,57	0,08	67,4	77,6	101,8	82,3
	11	21,46	12,77	0,07	78,1	86,7	133,1	99,3

BV : Bassin versant ; S : surface du BV en Km² ; Lt : longueur du talweg en Km ; P : Pente du BV en m/m ; Tc : temps de concentration en minutes. NA : Non applicable.

3-3-2 L'apport liquide annuel :

Dans notre région, ce coefficient, estimé sur plusieurs séries d'apports annuels, a été évalué entre 0,02 et 0,2 hm³. Ces valeurs demeurent relativement importante vue la superficie des sous bassins étudiés. Pour les différents sous bassins versants, on obtient les valeurs des apports annuels fréquentiels suivants :

Tableau 30 : L'apport liquide estimé en hm³, d'après les huit formules empiriques :

n° BV	INRH	Sami	Deri I	Deri II	Mallet- Gautier	Chaumont	Padoun	Moyenne
1	0,07	0,08	0,07	0,03	0,03	0,03	0,01	0,05
2	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
3	0,23	0,25	0,18	0,09	0,09	0,09	0,04	0,14
4	0,05	0,07	0,06	0,02	0,02	0,02	0,01	0,04
5	0,06	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,01	0,041
6	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
7	0,1	0,11	0,1	0,04	0,04	0,04	0,02	0,07
8	0,11	0,11	0,1	0,04	0,04	0,04	0,02	0,07
9	0,26	0,27	0,2	0,1	0,1	0,10	0,05	0,16
10	0,19	0,23	0,18	0,09	0,09	0,09	0,04	0,13
11	0,27	0,33	0,24	0,13	0,13	0,13	0,06	0,2

Tableau 31 : L'apport liquide fréquentiel à 80% en hm³, d'après les huit formules empiriques :

n° BV	INRH	Sami	Deri I	DerI II	Mallet- Gautier	Chaumont	Padoun	Moyenne
1	0,03	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,004	0,02
2	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,002	0,01
3	0,12	0,1	0,1	0,05	0,04	0,04	0,01	0,07
4	0,03	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,003	0,02
5	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,003	0,02
6	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,002	0,01
7	0,06	0,06	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03
8	0,06	0,06	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03
9	0,14	0,13	0,11	0,05	0,05	0,05	0,01	0,08
10	0,1	0,12	0,1	0,05	0,04	0,04	0,01	0,06
11	0,1	0,16	0,13	0,06	0,06	0,06	0,02	0,09

3-2-4 Les débits maxima: (Tableau 29 & 30)

Les débits maxima nous donnent une idée sur les crues potentielles. En effet, la crue dépend essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie et son évolution spatio-temporelle des autres facteurs que sont la couverture végétale, la structure géologique et la valeur de la pente.

Les crues des oueds des bassins étudiés, s'apparentent à celles provoquées par les averses de types orageux dans toute la région des Hauts Plaines Sud Oranaises. Elles sont généralement brusques et violentes d'origine atlantique sud, et accentuées par l'effet continental où les pluies génératrices, de durées limitées, engendrent des intensités d'écoulement remarquables.

Les averses sont rarement généralisées sur la région, mais le bassin est peut être exposé aux crues assez importantes. Dans ces conditions, les crues sont catastrophiques et provoquent des inondations en aval particulièrement dans les plaines jusqu'à l'exutoire. S'il on se réfère aux différents profils en travers des lits majeurs, de sections assez larges d'au moins 500 m environ, les crues sont considérables malgré la faiblesse de la pente au voisinage des points névralgiques.

(1) L'ensemble de sous bassins versants de Souiga.

Dans les sous bassins de Souiga, le temps de concentration varie entre 102 minutes pour les sous bassins les plus grands et 38 minutes pour les petits.

Le débit maximum estimé sur une durée de retour de 10 ans varie entre 31,7 m³/s pour le sous bassin n°2 et 90,88 m³/s pour le sous bassin n°3.

Les débits calculés sur la base d'une période de retour de 50 ans, sont compris entre 50 m³/s pour le bassin n°2 et 144 m³/s pour le sous bassin n°3.

(2) L'ensemble de sous bassins versants de Boughallaba.

Le taux de concentration des sous bassins de Boughallaba varie entre 26 minutes pour le plus petit sous bassin versant (n°6), et 99 minutes pour le plus grand (n°11). Nous avons obtenu pour les 7 sous bassins de Boughallaba un débit maximum variant entre 39 m³/s et 117 m³/s pour une période de retour de 10 ans et entre 71 m³/s et 212 m³/s pour une période de retour de 50 ans.

En temps normal et selon la formule de Mallet-Gautier, les débits varient entre 27 m³/s et 66 m³/s dans les sous bassins versants de Souiga et entre 1(m³/s et 75 m³/s pour les sous bassins versants de Boughellaba.

Tableau 31 : Les débits maxima estimés d'après les pluies journalières maximales à Mécheria d'après la formule de Turaza.

N° du BV	S (km ²)	P (km)	L (km)	S (Ha)	Tc (H)	Qmax10 (m ³ /s)	Qmax20 (m ³ /s)	Qmax50 (m ³ /s)
1	5,85	15,11	7,37	585	1,00	50,32	62,05	80,00
2	2,66	7,91	3,62	266	0,72	31,77	39,17	50,51
3	17,90	23,80	10,86	1790	1,71	90,88	112,06	144,49
4	5,10	9,60	4,23	510	0,64	69,09	85,19	109,84
5	4,18	11,60	5,51	418	0,61	58,30	76,02	105,01
6	2,07	6,46	3,07	207	0,44	39,71	51,77	71,52
7	7,49	15,44	7,34	749	0,79	80,00	104,31	144,1
8	7,39	11,12	5,02	739	0,69	91,37	119,13	164,58
9	17,18	18,42	8,76	1718	1,24	117,95	153,78	212,44
10	15,11	24,54	11,57	1511	1,37	93,62	122,06	168,62
11	21,46	27,51	12,77	2146	1,65	110,20	143,68	198,49

Tableau 32 : Les débits maxima estimés d'après la formule de Mallet-Gautier :

N° BV	P (km)	S (km ²)	H max	H min	H moy	Lth	Débit selon Mallet-Gautier (m ³ /s)
Bv01	15,11	5,85	1578	1226	1402	7,37	27,35
Bv02	7,91	2,66	1310	1228	1269	3,62	18,11
Bv03	23,80	17,90	1774	1242	1508	10,86	66,87
Bv04	9,60	5,10	1476	1252	1364	4,23	31,58
Bv05	11,60	4,18	2030	1315	1672,5	5,51	23,38
Bv06	6,46	2,07	1550	1299	1424,5	3,07	15,79
Bv07	15,44	7,49	2091	1289	1690	7,34	35,74

4- Estimation du stock de sédiments potentiellement déposé par les crues.

4-1 Méthodologie.

En premier lieu, il s'agit d'établir un bilan hydrologique des sous bassins versants non jaugés (le bassin de Souiga et celui de Boughellaba). Le calcul, a été fait spécialement pour les sous bassins versants à exposition ouest des djebels Aouinet Khaled et Souiga au nord et du djebel Aissa au sud.

L'évaluation des apports solides s'est faite grâce aux relations empiriques, que nous présentons ci-dessous :

a. Formule de Tixeront :

Elle est donnée par : $A_S = \alpha \times A_0^{0,15}$

α : Paramètre caractérisant la perméabilité du Bassin Versant. Classification ORSTOM

A_0 : module écoulé en mm

b. Formule de Gravelovic :

Cette relation fait intervenir un autre indice climatique (Coefficient de Température) et des caractéristiques de B.V. Elle est donnée par :

$$A_S = A_{Sq} \times C_{RM}$$

A_{Sq} : Taux de production annuel de matériaux (charriés et en suspension) m³/Km²/an,

Il se calculera à partir de la relation suivante : $A_{Sq} = T \times P_{MOY} \times \Pi \times Z^{1,5}$

Z: Coefficient d'érosion relatif, pour un terrain faiblement érodé en profondeur et en nappe

T: Coefficient de température donnée par : $T = 0,1 + \text{racine}(t/10)$ où t est la température moyenne annuelle.

C_{RM} : Coefficient de rétention tenant compte des discontinuités spatio-temporelles dans le flux de matériaux arrachés au versant :

$$C_{RM} = \frac{\sqrt{P}}{0.2 \times (L + 10)} \times H_{MOY}$$

P: Périmètre du bassin versant (en Km).

L: Longueur du Talweg Principal (en Km).

4-2 Les résultats.

En ce qui concerne la région des Hautes Plaines Sud Oranaises, la dégradation spécifique tombe à moins de 100 T/km² en plaine après avoir été estimée à plus de 350 T/km² par an, si l'on se réfère aux résultats trouvés dans les études de l'ANRH, donnant la moyenne de la dégradation spécifique des bassins de l'ordre de 300 T/km² par an.

Les apports solides dans les sous bassins étudiés, sont tout de même assez importants. Ils varient selon la formule de Tixeront-Sogreah, entre 505 T/km²/an et 513 T/km²/an dans les bassins de Souiga et 512 T/km²/an et 531 T/km²/an dans les bassins de Boughellaba. Ces résultats confirment bien la quantité des sédiments déposée à la base des versants juste après les crues enregistrées dans la région.

Tableau 33 : Les apports solides dans les sous bassins versants de Souiga et de Boughellaba

n° BV	Gavrilovic	Tixeron-Sogreah
1	425,8	507,5
2	278,7	510,9
3	480,0	513,3
4	403,9	505,7
5	538,8	531,3
6	405,2	526,0
7	562,6	522,9
8	464,9	530,1
9	546,6	527,1
10	584,5	514,3
11	571,8	512,1

CONCLUSION.

Dans les Hautes Plaines Sud oranaises, le ruissellement est très actif, sur les versants des djebels, sur les piémonts, les glacis et le long des berges d'oueds, et ce malgré la faiblesse des précipitations, qui sont de l'ordre de 186 à 235 mm en moyenne. Mais les fortes intensités des averses et leur caractère orageux combinés avec les différents facteurs topographiques (inclinaison et longueur des pentes) et édaphiques (sol nu peu protégé par une végétation clairsemée), facilitent le ruissellement sous toutes ces formes dans notre secteur d'étude.

En effet, dans cette région et devant de pareilles conditions, les pluies orageuses de quelques mm seulement, sont suffisantes pour provoquer des crues en un laps de temps très court (quelques mm seulement), sont suffisantes pour provoquer un certain ruissellement. Le rôle morphogénique du ruissellement contribue aux transports et l'accumulation des sédiments.

Le ruissellement concentré se montre très actif, surtout sur les versants des djebels Souiga, Aouinet Khaled et Tifkirt où il a conduit généralement à la mise à nu du substrat. En effet, la

raideur des pentes combinée avec des événements pluvieux de courte durée, mais très intenses, sont à l'origine des crues pendant la saison des pluies.

Le type d'écoulement existant, donne naissance à des formes correspondant à un balayage de piémont et de glaciis dans des conditions très diverses, qui témoigne d'une fourniture excessive de matériau par érosion active.

La quantité énorme de sédiments et d'alluvions en vrac, mobilisés par le ruissellement et que l'on peut observer en bordure de glaciis, des versants en pentes douces des djebels citées ci-dessus, constitue une des sources importantes de sables, contribuant ainsi à l'alimentation des différentes dunes qui menacent les activités humaines dans la région. Ce matériel étalé sera trié, repris par la déflation, qui prendra soin de sa distribution.

IV- LA MOBILITE DES SABLES ET DYNAMIQUE EOLIENNE.

La déflation éolienne a largement contribué, et contribue encore, au balayage des pentes et des surfaces caillouteuses. Elle est surtout efficace et très active dans les couloirs étroits et sur les versants des djebels, où les vents sont canalisés et violents. Elle assure un vannage important des sables et des particules de roches sur les surfaces dénudés. Ainsi, on constate qu'au niveau des ouvertures données par les djebels avancés des Monts des Ksour, la dynamique éolienne est plus importante (le vent du sud s'accélère à ce niveau et la déflation est importante), cela s'explique par les grandes accumulations observées au sud de Sebkhat Naama. Le même phénomène s'observe aux alentours d'Aïn Benkhelilou des accumulations sableuses forment des barkhanes et des nebkhas.

D'après les transects réalisés sur le terrain, nous constatons une très nette domination des dynamiques de déflation sur l'ensemble de la plaine de Naama.

Dans les lits sableux des chenaux parcourant le couloire d'Aïn Sefra-Tiout, on rencontre aussi de nombreuses formations dunaires allant du voile sableux de quelques centimètres d'épaisseur aux dunes pouvant atteindre 5 m de hauteur. Il est à souligner que la vitesse et le volume du sable en déplacement dans cette vallée, sont aujourd'hui considérables à tel point que certaines zones d'activités humaines, se trouvent vouées à un enfouissement total. Les phénomènes éoliens, étant apparemment en pleine phase d'activité, activité favorisée par la sécheresse persistante qui sévit depuis de deux décennies.

1 - Régime des vents :

Dans le secteur de Naama, représenté ici, par la station de Mécheria et celle d'Aïn Sefra, les vents efficaces sont les plus fréquents au printemps et en été, avec une légère dominance au printemps, à Aïn Sefra avec un taux de 54% au printemps et 49% en été (Fig. 27). Il en est de même dans le secteur de Nord. Sauf que les vents efficaces, enregistrent un taux presque similaire, au printemps avec 55% comme en été avec 55,6%. Mais le mois de l'année où les vents efficaces enregistrent le taux le plus élevé, est le mois d'avril avec

64% à Mécheria et 57,8% à Aïn Sefra. L'automne et l'hiver représentent les saisons les plus calmes de l'année (Fig. 43).

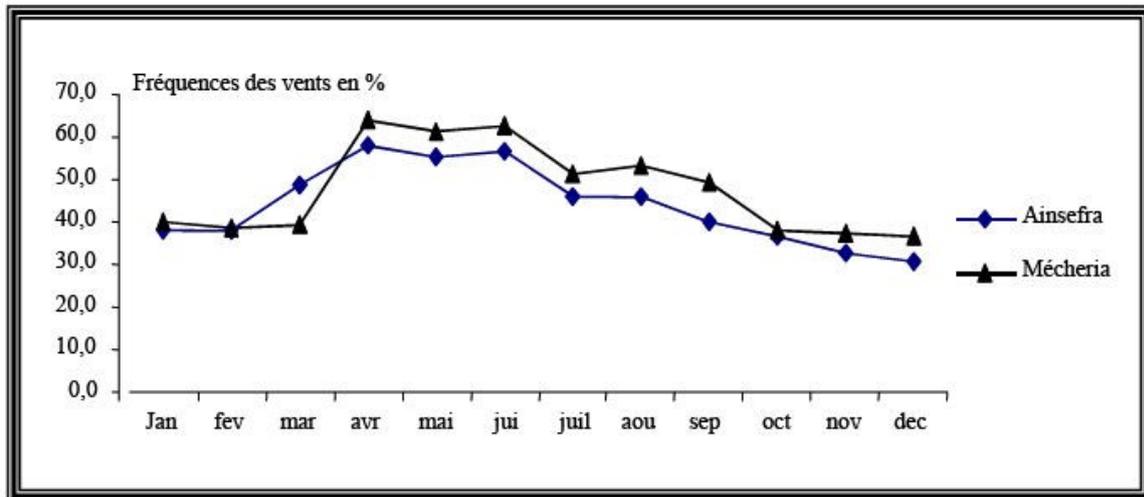
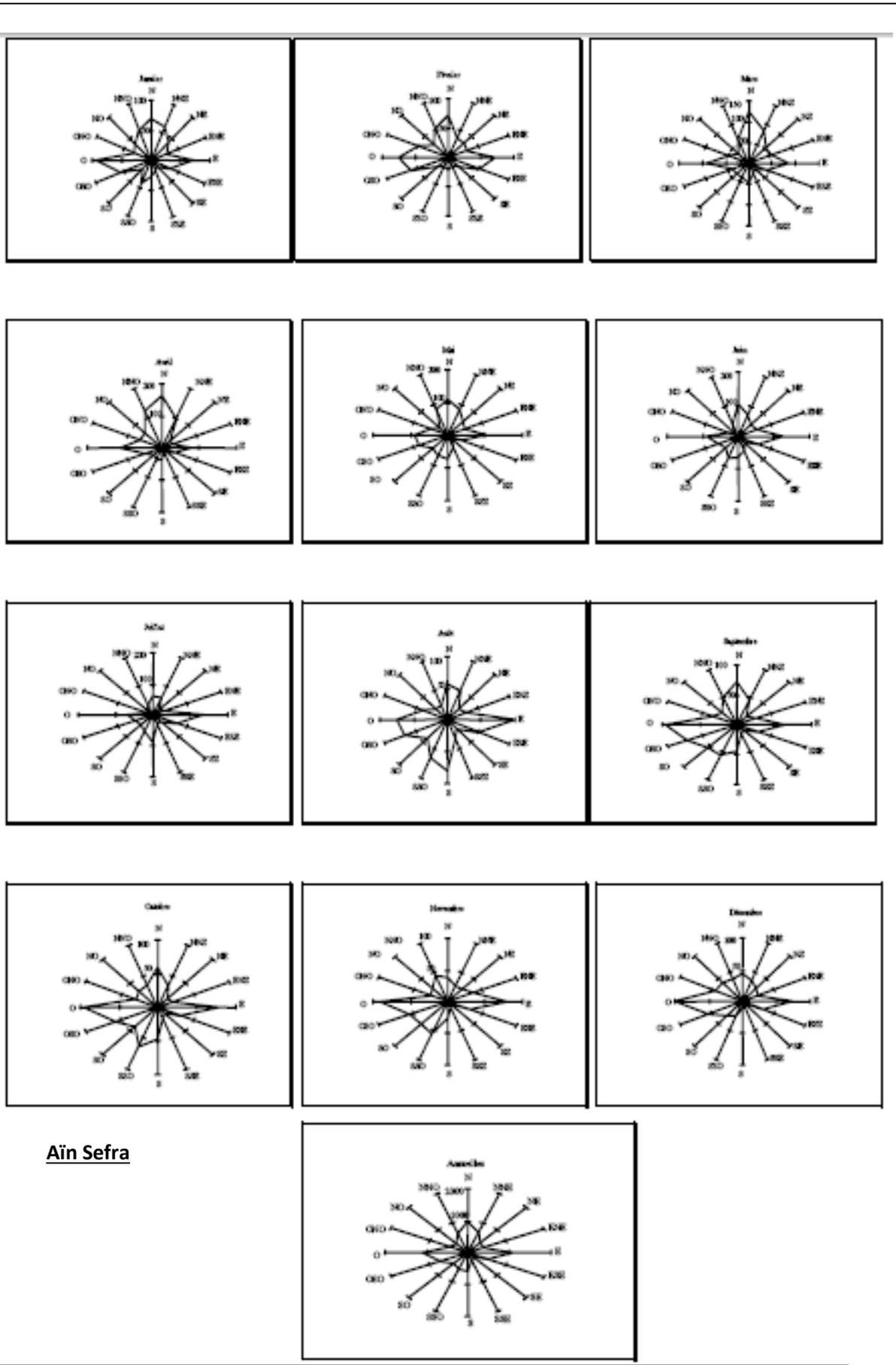


Fig. 43 : Régime des vents dynamiques calculés pour la période 1985-2000 dans les deux stations de région de Naâma.

2 - Directions prédominantes par saison et par an :

La comparaison, entre les roses des vents saisonnières et annuelles, dans les deux stations, révèle, une différence entre le régime annuel et le régime saisonnier. Par exemple, à Aïn Sefra, les vents proviennent plus tôt du N et du NE au printemps et du N, de l'E et du S en été. Alors que la rose des vents annuelle, montre bien la dominance des secteurs W, N et E. A Mécheria, ce sont toutes les saisons, qui enregistrent des différences avec la rose des vents annuelle. Cette dernière, illustre bien une dominance du secteur W, ensuite le secteur NE et NNO. Les saisons d'automne et d'hiver, enregistrent quand à elles la prédominance du secteur W, alors que la saison de printemps, représente surtout le secteur NE et le secteur W, la saison d'été est caractérisée par le secteur NE (Fig. 44a & 44b).

On remarque donc, que la dynamique saisonnière, ne reflète pas la dynamique annuelle.



Aïn Sefra

Fig. 44a : Roses des fréquences des vents efficaces dans les stations de Aïnsefra et de Mécheria pendant la période 1985 à 1996.

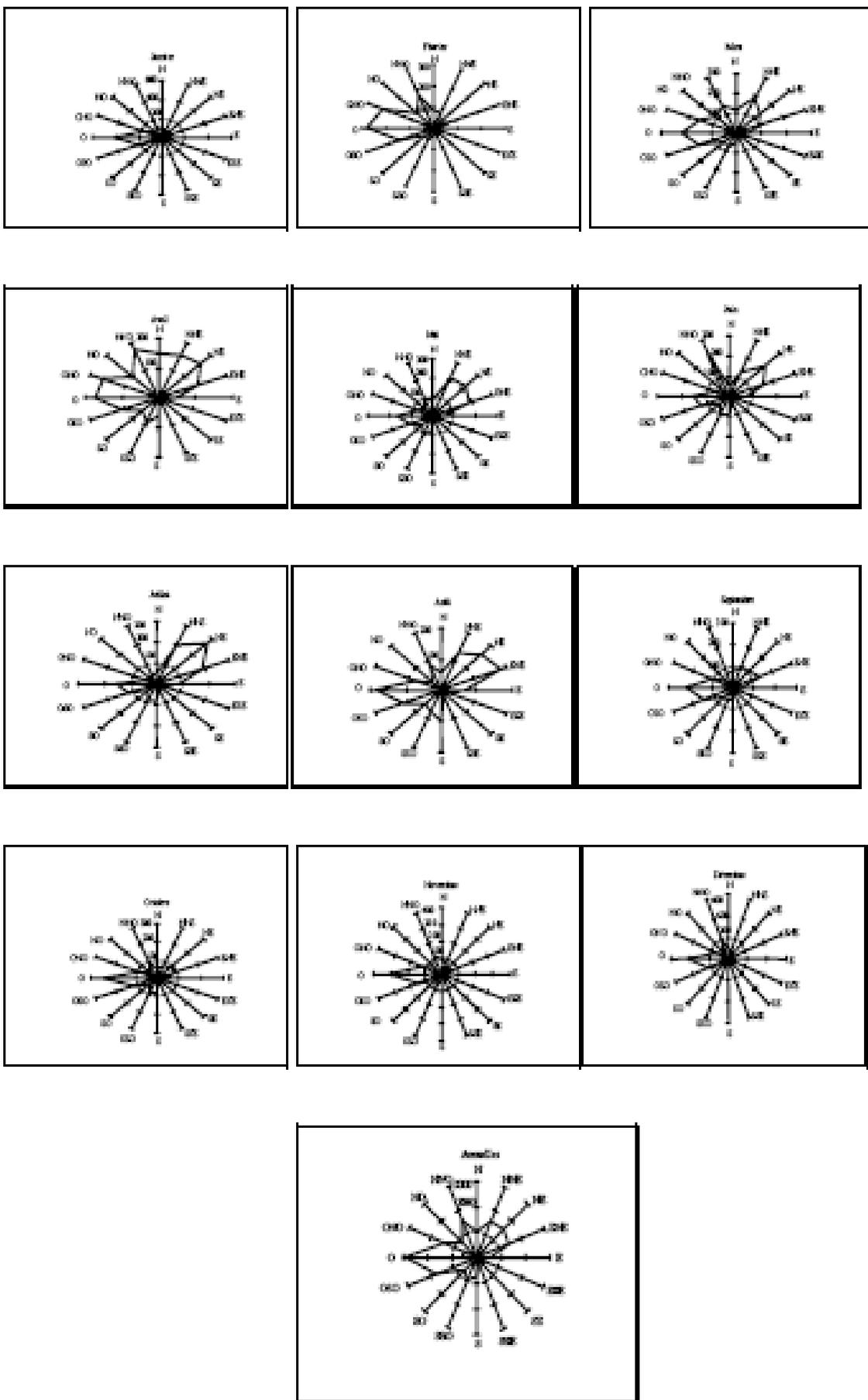


Fig. 44b : Roses des fréquences des vents efficaces dans les stations de Ainsefra et de Mécheria pendant la période 1985 à 1996.

- **Dynamique des mouvements des sables** : le déplacement potentiel des sables.

Pour déterminer le sens de déplacement effectif des masses sableuses dans notre secteur d'étude, il ne faut plus considérer les roses de vitesse des vents qui provoquent le déplacement des particules sableuses mais le déplacement potentiel des sables (DPS) qui s'obtient en convertissant la vitesse du vent en force du vent. « Sachant cependant, qu'en toute rigueur, l'efficacité des vents dépend non seulement de la vitesse, mais aussi de la turbulence des vents » (M. Benalla, 2003).

Il faut noter, que les résultats utilisés dans ce travail, sont ceux obtenus par MAHBOUBI B. 2001. Contrairement aux roses des vents classiques, les roses de déplacement potentiel des sables (DPS) montrent non pas la direction des vents dominants mais la direction de migration du flux sableux.

Nous rappelons que la résultante de toutes les directions de DPS indique alors le sens de migration du sable.

Nous avons aussi : la capacité de transport (CT) de sable qui est la somme des modules des 16 directions ; le potentiel de migration (MR) qui indique la direction et le sens de migration par rapport au nord et enfin le rapport MR/CT, ou variabilité directionnelle, traduit le degré d'orientation du déplacement sableux. Lorsque ce rapport tend vers 1, la variabilité est faible et les vents gardent la même direction, provoquant ainsi des déplacements sur une longue distance ; lorsque cette valeur tend vers 0, les vents proviennent de plusieurs directions et les sables subissent un déplacement faible et une dispersion dans tous les sens.

3 - **Interprétation des résultats** :

3 – 1 - **Pour l'ensemble de la période 1985 – 1996** :

Direction résultante de déplacement du sable :

Dans le secteur d'étude, pour les deux stations concernées de Mécheria et d'Aïn Sefra, les roses de déplacement potentiel indiquent un sens de migration des sables en provenance du secteur WNW ; les directions résultantes sont respectivement 293° et 286° pour la période allant de 1985 à 1996 (Tableau 32).

Capacité de transport total

La capacité de transport total correspond à 847,32 pour Mécheria et à 378,3 pour Aïn Sefra. Ces résultats montrent que le secteur nord (c'est-à-dire le secteur de Naama) de notre région d'étude, est relativement une zone de forte énergie par rapport au secteur sud ou la dite « zone d'Aïn Sefra », où la valeur enregistrée, la place dans la catégorie des milieux de moyenne à faible énergie.

Tableau 34 : Coefficients d'énergie potentielle du déplacement de sable pour la période 1985-1996.

Coefficients d'énergie potentielle du déplacement de sable	AIN SEFRA (1985- 1996)	MECHERIA (1985-1996)
Capacité de transport CT en %	378,3	847,32
Potentiel de migration MR	95,3	352,62
Direction résultante de déplacement DRD en degré.	286	293
Variabilité directionnelle MR/CT.	0,20	0,42

Rose des déplacements potentiels :

La rose des sables à Mécheria présente une certaine différence comparée à celle d'Aïn Sefra, même si toute les deux, ont la même direction de résultante. La première est presque uni-modale, l'essentiel des transports de sable se fait selon une direction comprise entre NNW (335°) et W (266°), on enregistre aussi des composantes secondaires pratiquement opposées, il s'agit du secteur NE et celui du secteur SSW. Alors que la seconde est une rose où le potentiel de migration de sable s'effectue à partir de plusieurs directions, avec une direction dominante, celle du secteur N ; vient ensuite la direction W et en dernier la direction SSW.

Variabilité directionnelle (rapport MR/CT) :

Le rapport MR/CT annuel, nous laisse dire que la variabilité directionnelle du vent à Aïn Sefra est plus forte (avec une valeur de 0,20) qu'à Mécheria où la valeur trouvée est de 0,42. Selon N. Lancaster (1981), la valeur 0,66 du rapport MR/CT correspond à une faible variabilité directionnelle du transport et caractérise les régions où le mouvement des sables favorise la formation de barkhanes et de dunes transverses (in T. Oulehri, 1992). C'est justement ce type de dunes qu'on observe dans le secteur de Naama (voir chap. II : les dunes à arêtes vives).

3 – 2 - Année par année

Direction résultante de déplacement du sable :

On constate que la migration se fait toujours dans la direction WNW vers l'ESE pour l'ensemble de la région, à l'exception des années 1993 et 1996 où la migration est de direction S-W (Fig. 45).

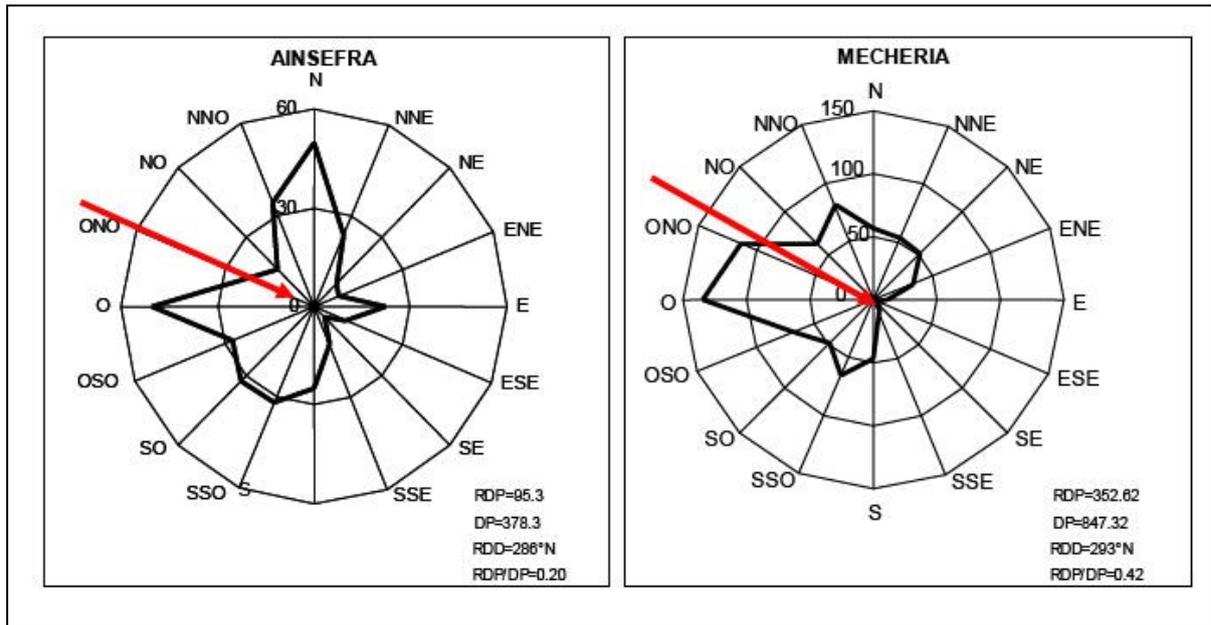


Fig. 45 : Rose de déplacement potentiel de sable à Aïn Sefra et à Mécheria pour la période (1985-1996) pour une vitesse seuil de 6 m/s ; la résultante est marquée en rouge.

Capacité de transport total

Dans le secteur d'Aïn Sefra, la capacité de transport a connue ces plus grandes valeurs pendant les années 1987, 1992, 1993 et 1994. Dans le secteur de Mécheria, la capacité de transport a enregistré sa plus forte valeur en 1985.

Variabilité directionnelle (rapport MR/CT) :

Que ce soit dans le nord ou le sud de la région de Naama, le sens de la résultante de migration potentielle s'effectue selon la direction NW-SE.

Le rapport MR/CT varie entre 0,64 et 0,3, à Mécheria et entre 0,47 et 0,20 à Aïn Sefra, ce qui correspond à une variabilité directionnelle *moyenne* à forte pour Mécheria et plutôt forte à Aïn Sefra.

3-3 - Mois par mois

Direction résultante de déplacement du sable (Tableau 34).

A Mécheria :

On distingue deux époques dans l'année :

- de novembre à avril où les déplacements sableux se font selon une direction WNW-ESE.
- de mai à octobre, on assiste à un basculement graduel, où les déplacements se font selon la direction NW en mai, puis selon la direction W pour le reste des mois. Il y a que le mois de

juillet, qui marque l'exception, où les déplacements s'effectueront selon la direction du NNE vers le SSW.

A Aïn Sefra :

On constate qu'il y a plusieurs directions qui ressortent :

- La direction WNW pendant les mois de décembre et de janvier.
- La direction NW, durant les mois de février et d'avril.
- La direction WSW, en mai et en octobre et novembre.
- La direction W, en juin et juillet.
- La direction SSW en août et SW en septembre.

On assiste donc, à un basculement qui s'effectue à travers les différents mois, entre la direction WNW et SSW.

Capacité de transport total

Ce coefficient permet de distinguer deux époques de l'année :

A Mécheria :

- De janvier à juin: la capacité de transport est supérieure à la moyenne ; les plus grandes valeurs sont enregistrées pendant les quatre premiers mois de l'année, de janvier à avril.
- De juillet à décembre : la capacité de transport est inférieure à la moyenne avec un minimum en octobre.

A Aïn Sefra :

- De mars à juin : la capacité de transport est relativement faible comparée à Mécheria avec des valeurs supérieurs à la moyenne.
- De juillet à février : la capacité de transport est inférieure à la moyenne.

La capacité de transport est toujours élevée au printemps et basse en été et en automne pour les deux stations.

Roses de déplacement potentiel du sable

La variabilité des directions indiquées par la résultante des roses de sables à l'échelle mensuelle est différente que celle déduite à partir de l'analyse interannuelle (A. Bensaïd, 2006).

L'analyse mensuelle de déplacement potentiel de sable met en évidence trois modes de migrations pour l'ensemble de la région étudiée :

- une migration de direction ouest-nord-ouest à nord-ouest qui s'effectue durant la période novembre à mai pour Mécheria et entre décembre et avril pour Ain Sefra.
- une migration de direction ouest qui se manifeste à la fin de la saison estivale et pendant la saison automnale. Au sud cette composante est présente uniquement en juin et juillet.

- une migration de direction sud-ouest dominante dans le secteur sud. Il est fort probable que cette direction est issue de l'influence des conditions topographiques locales (présence de plusieurs massifs montagneux de l'Atlas) de la zone sur la composante de direction ouest. La composante sud-ouest prend de l'importance à partir de juillet jusqu'en novembre, juste au moment de la descente en latitude de l'anticyclone des Açores. De plus, en été la transgression des dépressions venant des ouvertures du sud de l'Atlas a une influence non négligeable sur la migration de sable. D'ailleurs, les vents du sud (sirocco) ont une direction sud-ouest et se manifestent dans la plus part des cas l'été (DUBIEF J., 2001).

Variabilité directionnelle (rapport MR/CT) :

Là aussi le rapport MR/CT nous permet de dégager deux périodes pour la station de Mécheria :

- d'avril à octobre, on enregistre une forte variabilité directionnelle, cela varie entre 0,40 en avril et 0,11 en juillet.

- de novembre à mars, la variabilité directionnelle est moyenne, elle varie entre 0,70 en janvier et 0,58 en mars.

Pour ce qui est d'Aïn Sefra, la variabilité directionnelle est forte pendant toute l'année, le rapport MR/CT varie entre 0,48 en février et 0,15 enregistrée en mai et juillet.

Avril est le seul mois de l'année, où la variabilité directionnelle est moyenne, et où le rapport MR/CT correspond à 0,53.

Tab. 35 : Coefficients de migration et orientations de migration de sables à Mécheria et à Aïn Sefra pendant la période 1985-1996.

Mois et période	AINSEFRA					MÉCHERIA				
	Angle (degré)	Orientation	Module de la résultante En (%)	Coefficient de migration (RDP/DP)	Déplacement potentiel (DP) en (%)	Angle (degré)	Orientation	Module de la résultante En (%)	Coefficient de migration (RDP/DP)	Déplacement potentiel (DP) en (%)
Janvier	337	NNO	7.42	0.33	22.38	288	ONO	72.81	0.70	104.5
Février	320	NO	13.71	0.48	28.57	295	ONO	65	0.67	97
Mars	318	NO	17.54	0.35	49.68	297	ONO	55	0.58	94.62
Avril	326	NO	23.3	0.53	44	303	ONO	38.72	0.40	96.69
Mai	252	OSO	7.34	0.15	49.73	322	NO	19.13	0.23	84.1
Juin	262	O	14.37	0.30	48.4	274	O	9.22	0.12	79.75
Juillet	266	O	4	0.15	26.66	18.3	NNE	6.32	0.11	56.94
Août	199	SSO	5.1	0.23	21.87	266	O	11.8	0.20	58.2
Septembre	219	SO	12	0.41	29.42	281	O	19.47	0.40	48.38
Octobre	248	OSO	10.49	0.41	25.55	278	O	16.35	0.38	42.98
Novembre	245	OSO	5.48	0.31	17.59	284	ONO	32.04	0.59	54.17
Décembre	285	ONO	6.67	0.46	14.4	286	ONO	39	0.59	65.76
Hiver	317	NO	26.34	0.40	65.36	290	ONO	177	0.66	267.3
Printemps	314	NO	43.7	0.30	144	304	NO	111.51	0.40	275.4
Été	251	OSO	21.1	0.22	96.9	287	ONO	20	0.10	194.9
Automne	235	SO	27	0.37	72.61	282	ONO	67.81	0.47	145.54
Année	286	ONO	95.3	0.20	378.3	293	ONO	352.62	0.42	847.32

V- CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES DES SABLES MOBILISES.

1- Introduction.

Le but de cette étude granulométrique des formations éoliennes de la zone d'étude, est d'abord de déterminer la nature et les constituants des sédiments éoliens qui participent à l'ensablement des Hautes Plaines Sud Oranaises, ensuite de localiser leurs différentes sources d'origine à travers l'étude granulométrique des échantillons prélevés sur le site.

Pour cela nous avons procédé à un échantillonnage systématique du matériel éolien des édifices dunaires et des apports hydriques.

L'étude et l'analyse de ce matériel et de ses variations granulométriques, nous permettront de d'aborder :

- les précisions sur la mise en place du matériel et son évolution au cours de son déplacement ;
- le rôle de la dynamique éolienne et hydrique dans l'ensablement des Hautes Plaines Sud Oranaises ;
- les caractéristiques du matériel sableux au sein des accumulations les plus représentatives de la zone d'étude ;

2- Méthodes de travail et analyses.

2-1. Prélèvement et échantillonnage :

Du mode d'échantillonnage dépend en grande partie la confiance que l'on accorde à l'interprétation des analyses. Pour cela une importance particulière a été donnée au choix des zones d'échantillonnage.

C'est ainsi que nous avons défini des transects d'échantillonnages, d'Ouest en Est, du Nord au Sud et d'amont en aval des cours d'eau et des affluents d'oueds (Fig. 46).

Les prélèvements ont été systématiques sur les différentes formes dunaires des Hautes Plaines Sud Oranaises. Cependant une attention particulière a été accordée aux formes vives qui ont fait l'objet d'un échantillonnage plus important.

Des prélèvements ont été effectués sur tous les types de sédiments contenant suffisamment de sables (ou à matrice sableuse) susceptibles d'être remobilisés par les processus éoliens. Sur les accumulations dunaires, les prélèvements ont été faits selon leur morphologie. Pour une barkhane par exemple, l'échantillonnage a été effectué au niveau de la traine, à mi-versant au vent, au sommet, ensuite à mi-versant et à la base du versant sous le vent, puis à 50-100 m de celui-ci, en zone de déflation. Les prélèvements des dépôts de crue d'oued et les nappages ont été effectués superficiellement sur les 5 cm affleurant, puis à 25

cm et 50 cm de profondeur à l'aide d'une tarière de pédologue. Le poids des échantillons prélevés est en moyenne de 300 à 500 g.

Les échantillons ont été numérotés de la manière suivante :

La lettre « O » pour les sédiments d'oueds et la lettre « E » pour les sédiments éoliens.

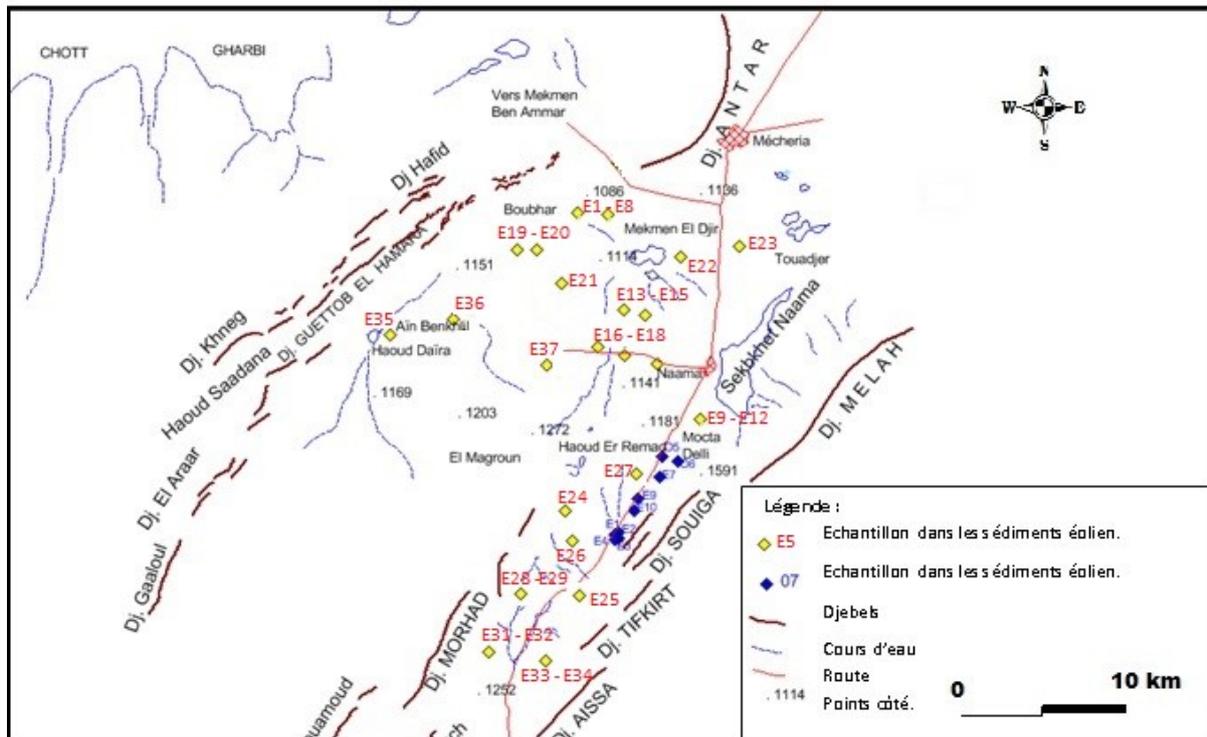


Fig. 46 : Situation des échantillons des sédiments éoliens et d'oueds

2-2. Méthodes d'analyses granulométriques et indices granulométriques.

2-2 -1 Le traitement des échantillons.

Au laboratoire, et après séchage de l'échantillon, nous avons opté pour un poids de 200g. Ensuite, et à l'aide d'un tamis, à maille de 0,040 μm , nous avons procédé au lavage de l'échantillon pour éliminer la fraction fine (argile et limons fins).

Après chaque opération, nous avons procédé à une décantation et enfin un dernier séchage de l'échantillon. Le pourcentage du matériel fin éliminé est calculé par rapport au poids initial (200 g).

Le tamisage est un travail qui s'effectue par l'emploi d'une colonne de tamis série A.F.N.O.R., dont les mailles, décroissent de haut en bas en progression géométrique. L'échantillon a été mis en haut de colonne dans le tamis 2 mm puis agité à l'aide d'une secoueuse électrique pendant une durée de 15 mn. Selon Gulink (1943 in L. BERTHOIS,

1975), cette durée de tamisage, semble être la mieux conçue pour un échantillon de poids de 200g. L'erreur ne pouvant dépasser sur les différentes fractions 6 % du poids total. Cela dans le but d'avoir une bonne répartition des fractions. Pour que chaque tamis ayant retenu les grains dont le diamètre est compris entre sa maille et la maille du tamis immédiatement supérieur. Une fois le tamisage fini, nous avons pesé le résidu de chaque tamis.

2-2-2 Les résultats granulométriques.

Ensuite, nous avons calculé le pourcentage cumulé et non cumulé des refus afin de dresser des courbes de fréquences simples et des courbes cumulatives de la fraction grossière (> 40 μ). Ensuite nous avons calculé les paramètres à partir des courbes construites.

La courbe obtenue sera la courbe : pourcentage cumulé = f (diamètres) ; elle présente pour chaque valeur de diamètre le pourcentage de particules de diamètre supérieur. Si on avait un cumulatif dans le sens inverse, des particules les plus fines aux plus grossières, le (%) cumulé représenterait pour chaque diamètre le (%) des particules de diamètre inférieur.

Le traitement des données granulométriques s'est effectué à l'aide du logiciel GRADISTAT 4.0. Il nous a permis de faire automatiquement le calcul des différents indices comme : La médiane (Md), ETF de Folk et Word, le So de Trask, la fraction < 63 μ m, la fraction <125 μ m, l'asymétrie ou Skewness Sk et l'acuité ou Kurtosis Kg. Ainsi que la réalisation des courbes canoniques de A. Rivière et les courbes cumulatives de probabilité.

a- Les courbes canoniques de A. Rivière, 1952, expriment selon la forme de la courbe, l'état du sédiment de la manière suivante :

- Faciès paraboliques : sédiments peu évolués.
- Faciès logarithmiques : sédiments plus évolués ; transport important.
- Faciès hyperboliques : dépôts de décantation.

b - Les courbes de probabilité :

- Les ordonnées de probabilité sont choisies de telle sorte que la courbe cumulative devient une droite si la représentation granulométrique suit la loi de Gauss.
- En abscisse sont portés les diamètres minimaux de chaque classe sur une échelle des ϕ .

La démarche consiste en l'analyse des courbes granulométrique de la fraction comprise entre 40 μ m et 2 mm, complétée dans certains cas, par la morphoscopie des grains de quartz.

Pour l'interprétation granulométrique des formations sédimentaires, les indices et paramètres suivants ont été utilisés :

- La médiane (Md).

- Le $\phi 1$, ici représentant le grain le plus grossier de la fraction comprise entre 2 mm et 40 μm , le plus caractéristique de l'agent de transport d'après Passéga (1957) car il exprime la limite supérieure de la compétence totale du cours d'eau.

- ETF de Folk et Word (1957) et qui : $(\phi 84 - \phi 16) / 4 + \phi 95 - \phi 5) / 6,6$ mieux représentatif du tri que le So de Trask.

- L'asymétrie ou Skewness $Sk = Q1.Q3 / Md^2$ (en mm) et l'acuité ou Kurtosis $Kg = (\phi 95 - \phi 5) / 2,44. (\phi 75 - \phi 25)$ de Folk et Word (1957) avec comme référence la forme et le type de courbe granulométrique. Ces deux indices (Sk et Kg) mettent en évidence le mélange de deux types de populations, les proportions de celui-ci et la dominance ou non d'un type sur un autre. De plus, Sk permet de préciser sur quelle fraction le classement est maximum. Ainsi, quand :

$Sk = 1$, il y a symétrie parfaite ; $Sk > 1$, le classement est maximum du côté des fines et $Sk < 1$, le classement est maximum du côté de la fraction grossière.

Kg caractérise le "redressement" ou la pente de la courbe granulométrique. Ainsi, quand:

$Kg = 1$, la courbe granulométrique est "normale".

Kg est compris entre 0,6 et 1,4; la courbe est "platykurtique" (courbe à distribution bimodale avec deux modes d'égales valeurs séparées : une population est dominante par rapport à une autre). Kg est compris entre 1,5 et 3 et plus : la courbe est "leptokurtique" avec deux extrémités allongées soit vers les fractions très fines, soit/et vers les fractions très grossières.

Tableau n°36 : Paramètres granulométrique de sédiments issus de divers environnements. Tableau de référence établi par Füchtbauer et Muller.

1- Environnement fluvatile.
<p>a - <u>Lit d'oued (lit mineur).</u></p> <p>Sorting (tri) (Q3/Q1) le plus souvent >1,2 ; en cours irrégulier il est souvent >1,3.</p> <p>Le Skewness est <1, rarement >1. L'affinage en amont de la séquence est typique.</p> <p>b - <u>Lit majeur (plaine d'inondation).</u></p> <p>Sorting le plus souvent >2. Skewness toujours <1 (la distribution de la taille des grains présentent une extrémité à grain fin).</p>
2 - Environnement éolien.
<p>a - <u>Dunes.</u></p> <p>Bon tri (Sorting bon), Skewness est le plus souvent < 1 (le grain grossier vers l'extrémité est généralement absent). Le diamètre médian est le plus souvent situé entre 0,15 et 0,35 mm.</p> <p>b - <u>Sédiments limoneux.</u></p> <p>Pauvrement triés, le Skewness est le plus souvent < 1 (le classement maximal étant du côté des fins), avec une Médiane généralement < 0,1 mm.</p>

Valeur génétique des coefficients pondéraux granulométriques.

- L'augmentation de la dimension moyenne des grains indique l'augmentation de la capacité de mouvement du milieu de dépôt.
- La diminution de la déviati on standard indique une amélioration du triage, liée le plus souvent à un long remaniement.
- En règle générale, à mesure du remaniement du matériel détritique, les valeurs de la dimension moyenne des grains et du coefficient de tri diminuent de plus en plus.

3- Analyse granulométrique des sédiments d'oued. (Tableau 37)

Les dépôts charriés par les cours d'eau et leurs affluents, qui sont déposés sous forme de couche assez épaisse, montrent des histogrammes le plus souvent bimodaux comme les échantillons O2, O4, O5, O7 et O8. Les échantillons O1, O3 et O6 sont unimodaux, il n'y a que les échantillons O8 et O10 qui sont trimodaux (Fig. 47a ; 47b et 47c)

Les modes principaux varient de 0,75 mm à l'amont à 0,18 mm à l'aval. Les moyennes simples de 0,50 mm à 0,14 mm et les moyennes graphiques de 1,16 à 2,65.

Les valeurs de l'ETF sont celles des sédiments moyennement bien classés (O2, O3, O4, O5, O6 et O7), mal classés (O4, O5, O6, O8 et O9). Il n'y a que l'échantillon O1 qui présente un bon classement.

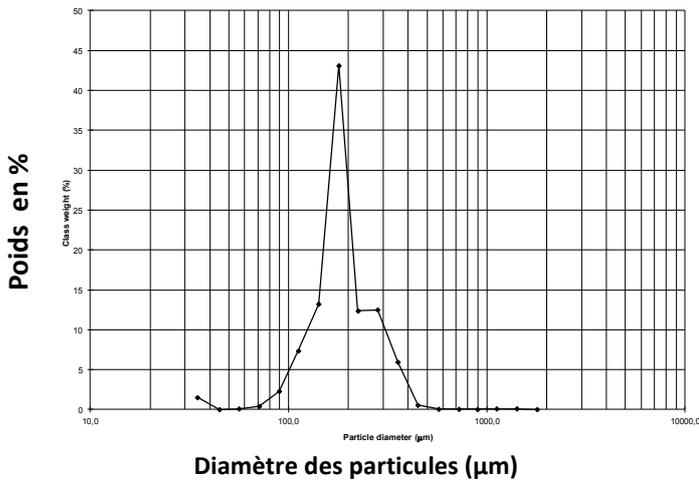
Les sédiments d'oued : 3 types d'échantillons ont été prélevés, à la base (à 30 cm de profondeur), au milieu (à 15 cm de profondeur) et en surface.

A la base les échantillons (O1, O3, O8 et O10) (Fig. 48a), le sédiment est un sable fin pour les trois premiers échantillons avec une médiane qui varie entre 0,17 et 0,18 mm. Seul l'échantillon O10 présente un sable moyen avec ($Md = 0.32$ mm). L'échantillon O1 présente un bon tri (ETF = 0,37) avec un taux en fraction < 0.125 mm de 13,3% et celui des sables fins, très élevé (78,5%). Les sables moyens ont un taux faible (7,1%). Ici le tri est maximum du côté des particules fines. Pour le reste des échantillons, les sables présentent un tri moyen pour l'échantillon O3, (ETF = 0,62) à faiblement trié pour les échantillons O8 et O10 (ETF = 1,38 et 1,50). Le taux en fraction fine est respectivement de 12,6%, 23,5% et 11,8%. Le taux des sables fins est de 61,6% pour le sédiment O3, de 41,9% pour le sédiment O8 et de 28,5% pour l'échantillon O10. Le tri est maximum du côté des particules grossières pour les échantillons O3, O8 et O10 (Sk varie entre 0,18 et 0,21), indicatif de « dépôts agitées » : dépôts de crue remaniant des sables éoliens (absence de galets). Le taux en fraction < 0.125 mm est relativement faible (aux alentours de 10%) et celui des sables fins, assez élevé (pouvant atteindre 61% pour l'échantillon O3). Le sable moyen existe aussi avec des proportions allant de 17 à 27 %.

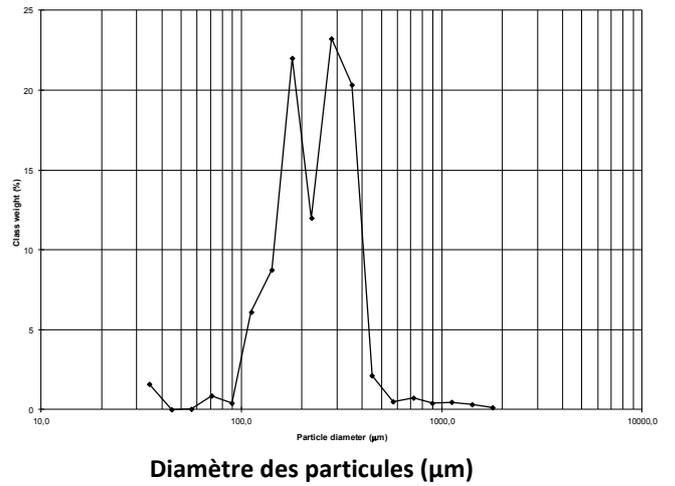
Tableau 38 : Les caractéristiques granulométriques des sédiments des oueds :

Type dépôt	Echantillon	Indices calculés	μm	Φ	Description	
Couloir orographique Djebels Souiga-Aissa/Djebel Morhad	Dépôt de crue d'oued prélevé à 30 cm de profondeur	O1	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	174,1 1,3 -0,199 1,707	2,52 0,378 0,199 1,707	Fine Sand Well Sorted Fine Skewed Very Leptokurtic
	Dépôt d'épandage d'oued prélevé superficiellement	O2	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	181,6 1,432 0,082 1,353	2,46 0,518 -0,082 1,353	Fine Sand Moderately well Sorted Symmetrical Leptokurtic
	Dépôt de crue d'oued prélevé à 30 cm de profondeur	O3	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	183,5 1,541 0,205 1,205	2,44 0,624 -0,205 1,205	Fine Sand Moderately well Sorted Coarse Skewed Leptokurtic
	Dépôt d'épandage d'oued prélevé à 15 cm de profondeur	O4	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	179,6 1,485 0,121 0,939	2,46 0,570 -0,121 0,939	Medium Sand Moderately Well Sorted Coarse Skewed Mesokurtic
	Dépôt d'épandage d'oued prélevé superficiellement	O5	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	244,1 1,511 -0,201 0,877	2,03 0,595 0,201 0,877	Fine Sand Moderately Well Sorted Fine Skewed Platykurtic
	Zone d'épandage (lit d'oued)	O6	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	191,2 1,416 0,284 1,292	2,38 0,502 -0,284 1,292	Fine Sand Moderately Well Sorted Coarse Skewed Leptokurtic
	Dépôt d'épandage d'oued prélevé superficiellement	O7	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	295,3 1,781 -0,025 1,658	1,76 0,832 0,025 1,658	Medium Sand Moderately Sorted Symmetrical Very leptokurtic
	Dépôt d'épandage d'oued prélevé à 30 cm de profondeur	O8	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	176,8 2,610 0,210 1,883	2,50 1,384 -0,210 1,883	Fine Sand Poorly Sorted Coarse Skewed Very leptokurtic
	Dépôt d'épandage d'oued prélevé superficiellement	O9	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	235,3 2,225 0,353 1,332	2,08 1,154 -0,353 1,332	Medium Sand Poorly Sorted Very Coarse Skewed Leptokurtic
	Dépôt d'épandage d'oued prélevé à 30 cm de profondeur	O10	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	324,7 2,847 0,186 0,629	1,62 1,509 -0,186 0,629	Medium Sand Poorly Sorted Coarse Skewed Very Platykurtic

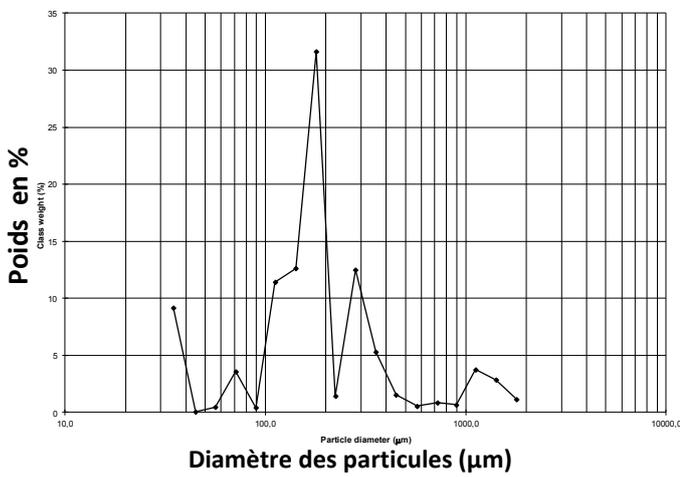
O1



O3



O8



O10

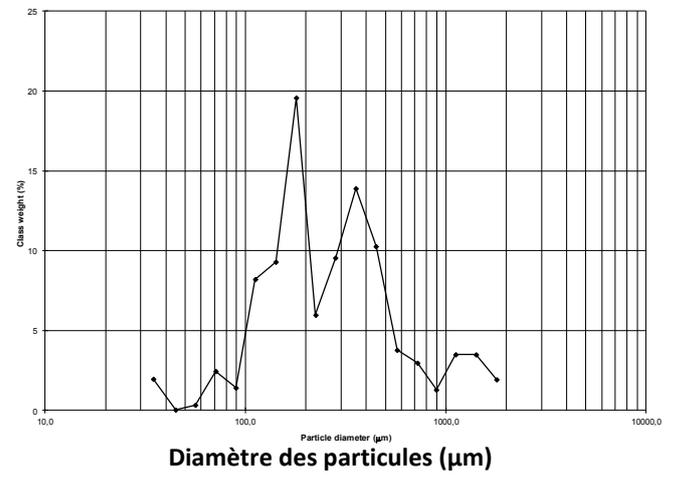


Fig. 47a : Les histogrammes de fréquences des sédiments d'oued prélevés à 30 cm de profondeur.

A 15 cm de profondeur l'échantillon (O4), garde à peu près les mêmes caractéristiques : le sable est fin ($Md = 0,17$ mm), moyennement bien trié ($ETF = 0,57$), avec un tri maximum du côté des particules grossières ($Sk = - 0.12$), significatif de dépôts « agités » (crue ou écoulement rapide, turbulent). La fraction < 0.125 mm correspond à 12,4% et les sables fins ont un taux relativement élevé soit 61% (Fig. 48b).

O4

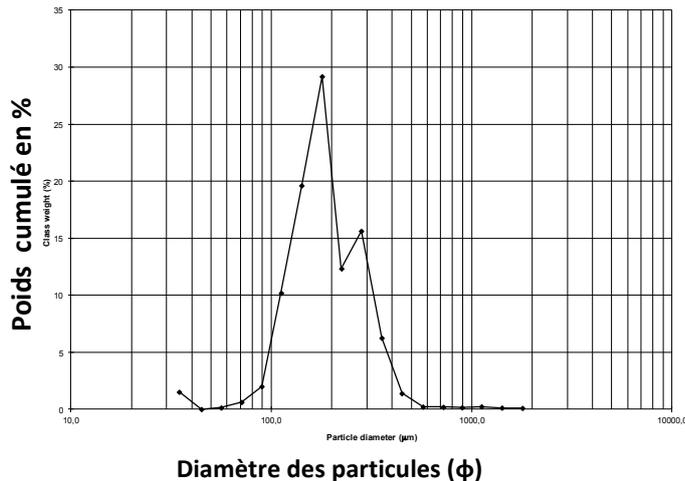
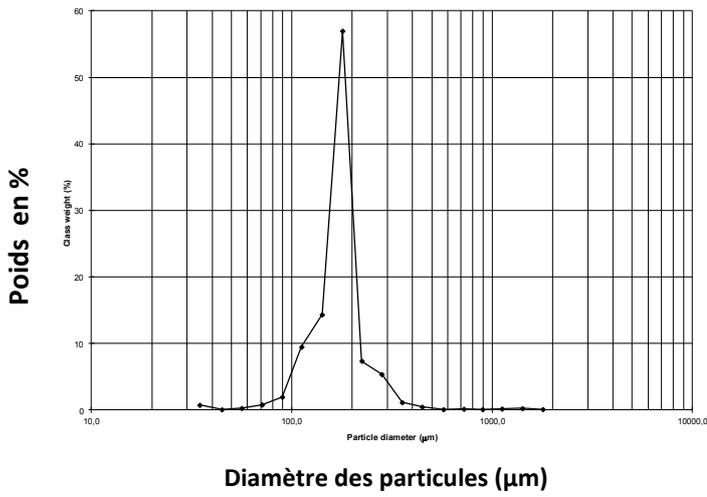


Fig. 47b : Histogramme de fréquence du sédiment d'oued prélevé au milieu (à 15 cm de profondeur).

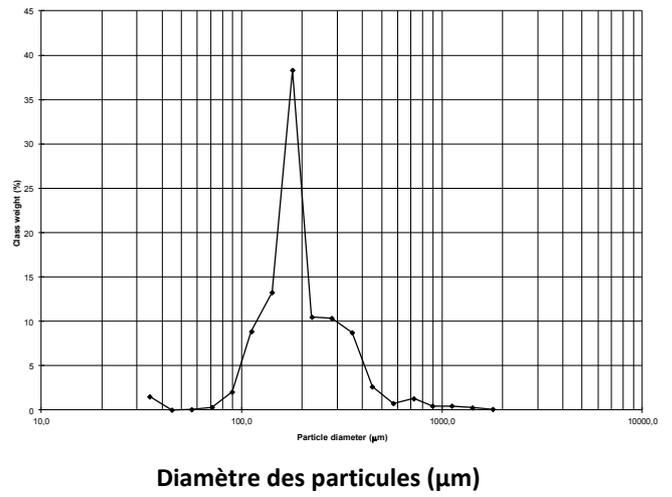
En surface les échantillons (O2, O5 et O6) (Fig. 48c), sont constitués d'un sable fin (Md varie entre 0,18 et 0,24 mm), moyennement bien trié (ETF varie entre 0,50 et 0,59). Le taux en fraction < 0.125 mm est relativement faible, elle varie entre 5 et 9 %, significatif d'un dépôt par décantation en phase de décrue. Celui des sables fins varie entre 44 et 68%. Il y a donc enrichissement en particules fines (limons et sables très fins) du sédiment en surface. Ces particules peuvent être significatives de 3 processus :

- Soit dépôt par décantation de particules fine en fin de décrue.
- Soit dépôt de particules fines qui étaient en suspension dans l'air après un vent particulièrement dynamique (tempête de sable).
- Soit les deux à la fois.

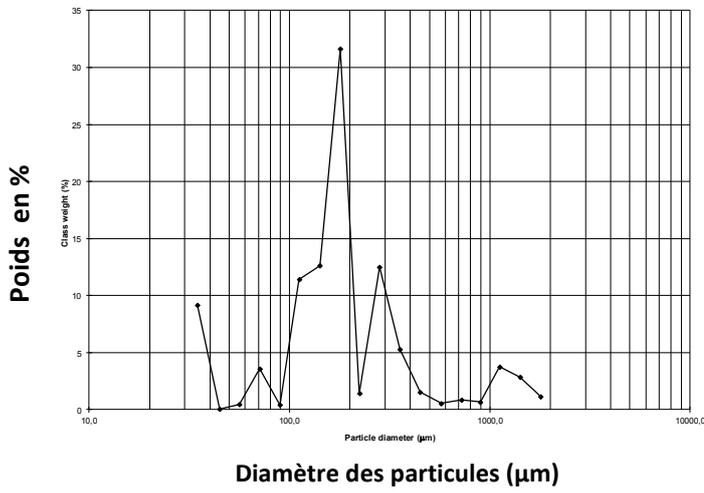
O2



O5



O7



O9

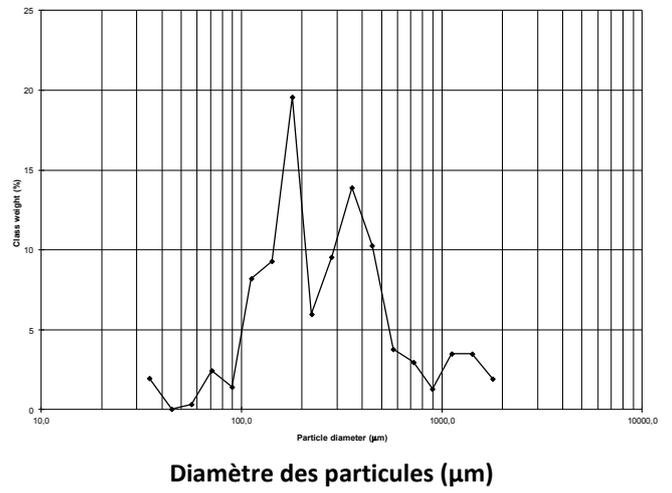
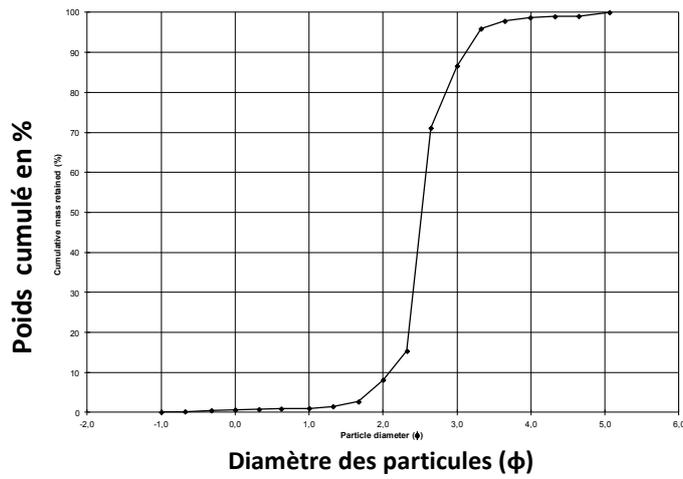
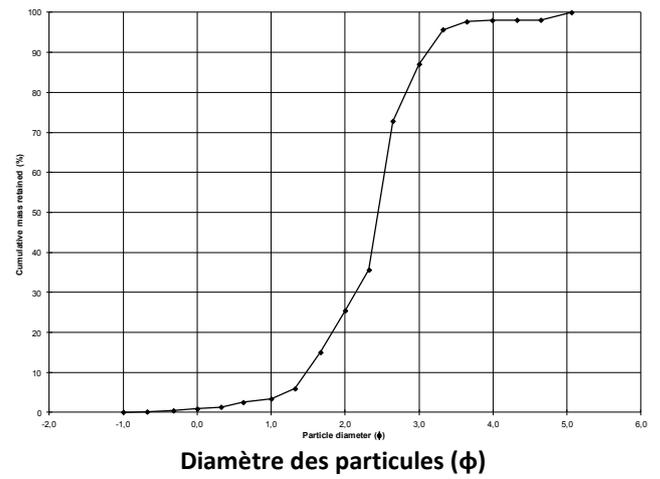


Fig. 47c : Les histogrammes de fréquences des sédiments d'oued prélevés en surface

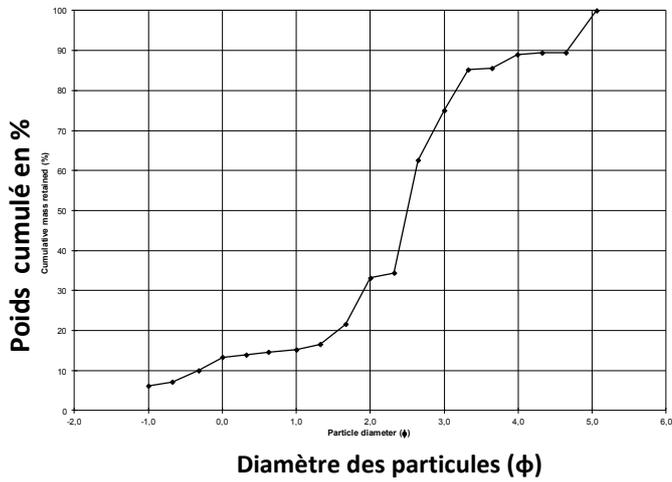
O1



O3



O8



O10

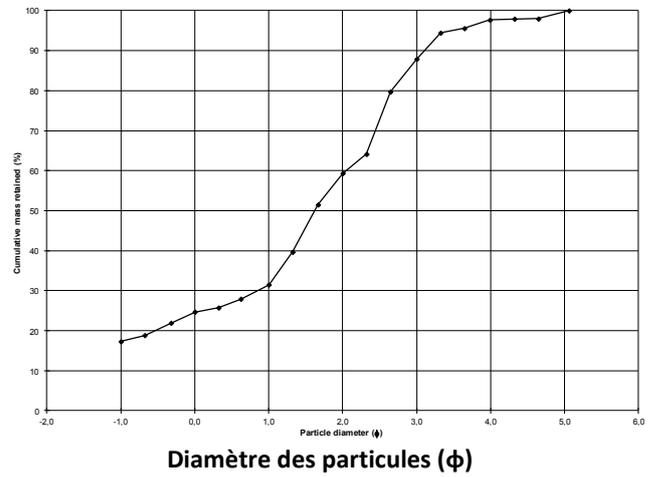


Fig. 48a : Les courbes cumulatives des sédiments d'oued prélevés à 30 cm de profondeur.

O4

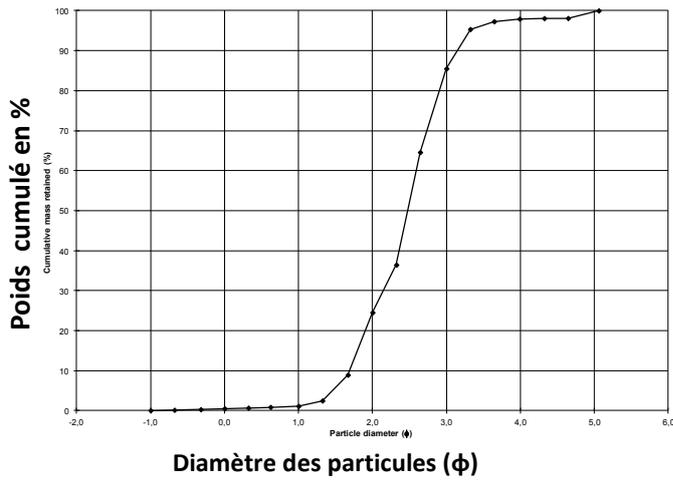
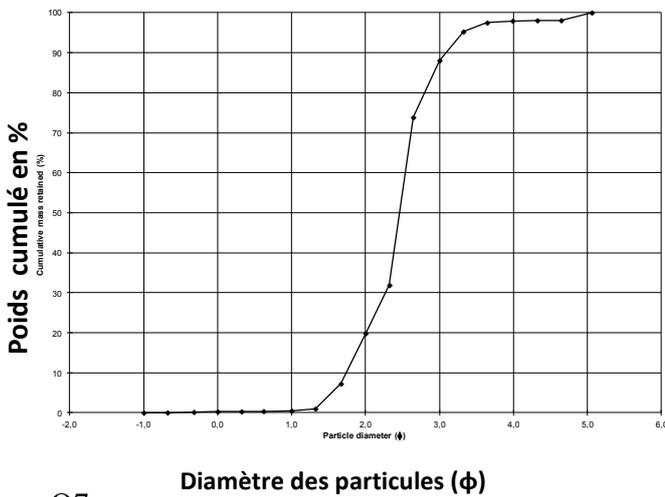


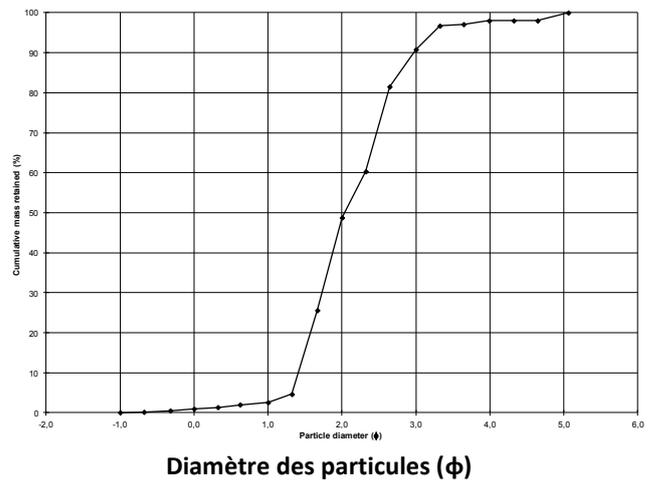
Fig. 48b : Courbe cumulative des sédiments d'oued prélevé (à 15 cm profondeur).

O2



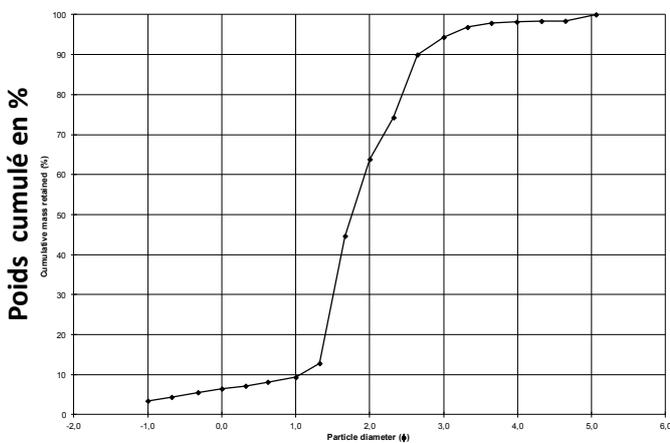
Diamètre des particules (φ)

O5



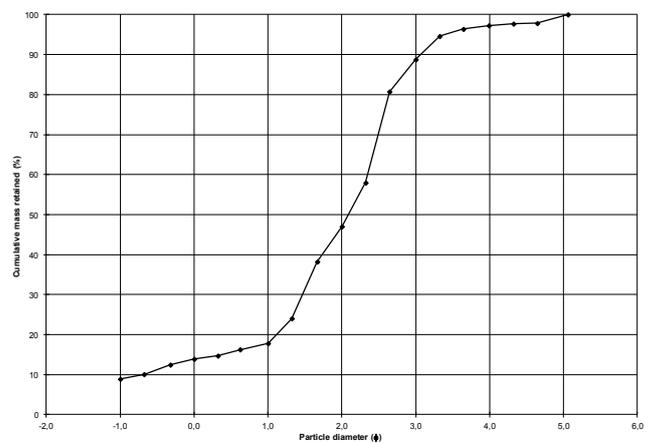
Diamètre des particules (φ)

O7



Diamètre des particules (φ)

O9



Diamètre des particules (φ)

Fig. 48c : Les courbes cumulatives des sédiments d'oued prélevés en surface.

4- Granulométrie des dépôts éoliens (Tableau 39).

Comme nous l'avons précisé dans le chapitre II, les dépôts éoliens échantillonnés concernent trois grandes catégories d'accumulation sableuses, à savoir :

- les nappages et les microdunes ; - les dunes en partie fixées par la végétation ; - les dunes vives (barkhanes, sifs). Notre échantillonnage a concerné toutes ces catégories, sans être toutefois systématique en raison de la grande étendue du secteur d'étude.

Les échantillons prélevés se répartissent comme suit :

- les zones interdunaires ou de déflation : 8 échantillons ont été récoltés.
- les nappages et les microdunes : 5 échantillons récoltés au niveau des nappages et des microdunes.
- Les dunes semi fixées par la végétation : 4 échantillons ont été prélevés dans les dépôts piégés par les touffes.
- Les dunes vives : 12 échantillons ont été prélevés dans les barkhanes et 8 au niveau des amas sableux ou « protodunes ».

Nous avons d'une manière délibérée, multiplié l'échantillonnage au niveau des formations éoliennes, comme les barkhanes car ce sont ces dernières qui constituent les formes les plus dominantes dans les Hautes Plaines Sud Oranaises, et aussi par la vraie menace qu'elles représentent.

Les barkhanes constituent l'édifice sableux qui se déplace en masse et qui représente le danger le plus grave, n'étant arrêtées ni par les plantations ni par les constructions. En effet ces édifices (barkhanes) sont capables de se déformer au niveau d'un obstacle pour se modifier immédiatement à l'aval de ce dernier.

- En zone inter dunaire et de déflation (E30, E31, E32, E33, E34, E35, E36 et E37) (Fig. 49a ; 50a) les sables sont de teinte ocre foncé à ocre clair (reddish yellow-yellowish red-reddish yellow). Ce sont généralement des sables moyens, (Md) comprise entre 0,26 et 0,39, trois échantillons (E32, E35 et E37) correspondent à des sables fins (Md) varie entre 0,17 et 0,20. Le tri de ces sables est dans la plupart des cas moyennement bien trié, ETF varie entre 0,5 et 0,9, à mauvais pour certains échantillons (E31, E35 et E36), ETF est comprise entre 1,14 et 1,5. Le tri ou classement est généralement maximum du côté des particules grossières, mais il peut l'être aussi du côté de la fraction fine. Le taux de la fraction < 0.125 mm est variable : de 5 à 27% et la proportion des sables fins varie de 17 à 44% pour l'ensemble des échantillons, il y a uniquement l'échantillon E37 où elle atteint 62%. Les sables moyens sont relativement élevés, pour certains échantillons comme (E33 et E34) on enregistre respectivement (57 et 74%).

- Les nappages et les microdunes : Les nappages (E21, E22, E23, E24, E25) (Fig. 49b ; 50b) ont une teinte, ocre clair à jaune foncé (reddish yellow). En moyenne, les sables des nappages sont fins (Md, comprise entre 0,13 et 0,19 mm), bien triés (ETF > 0.45), avec un tri maximum du côté des particules fines et une fraction < 0.125 mm de 20 à 39 %. L'échantillon E25 et mis à part le Skewness (sk), il présente des caractéristiques légèrement différentes aux restes des échantillons. Il s'agit d'un sable moyen (Md = 0,33 mm), moyennement bien trié et un taux en fraction < 0.125 mm équivalent à 3,8%.

- Les nebkhas : Les analyses granulométriques de la fraction sableuse des nebkhas, (E26, E27, E28, E29) (Fig.49c ; 50c) montrent des médianes faibles : avec des valeurs allant de 0,18 mm à 0,24 mm. Ce sont donc des sables fins. Les valeurs de l'ETF sont celles de sédiments moyennement bien classés, à caractère éolien bien marqué. Le Skewness est indicateur de courbe symétrique (E26, E27, E28) à légère asymétrie positive (E29). Quant aux valeurs du Kurtosis graphique, elles sont toutes inférieures à 1,18, soulignant ainsi des courbes platykurtiques à leptokurtosiques.

Tableau 36 : Les caractéristiques granulométriques des sédiments éoliens :

Type dépôt	Echantillon	Indices calculés	μm	ϕ	Description	
La plaine de Naama	la traine	E1	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	190,1 1,387 0,052 1,023	2,39 0,472 -0,052 1,023	Fine Sand Well Sorted Symmetrical Mesokurtic
	milieu du flanc au vent	E2	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	172,5 1,468 -0,065 1,365	2,53 0,554 0,065 1,365	Fine Sand Moderately well Sorted Symmetrical Leptokurtic
	sommet de la dune	E3	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	210,2 1,553 -0,168 0,826	2,25 0,617 0,168 0,826	Fine Sand Moderately well Sorted Fine Skewed Platykurtic
	flanc sous le vent	E4	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	125,4 1,378 -0,287 0,974	2,99 0,462 0,287 0,974	Very fine Sand Well Sorted Fine Skewed Mesokurtic
	la traine	E5	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	182,1 1,535 -0,174 0,935	2,45 0,618 0,174 0,935	Fine Sand Moderately Well Sorted Fine Skewed Mesokurtic
	milieu du flanc au vent	E6	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	184,6 1,292 -0,051 1,597	2,43 0,370 0,051 1,597	Fine Sand Well Sorted Symmetrical Very Leptokurtic
	sommet de la dune	E7	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	197,8 1,396 0,184 1,658	2,33 0,481 -0,184 1,658	Fine Sand Well Sorted Coarse Skewed Very leptokurtic
	flanc sous le vent	E8	Médiane ETF (σ)	198,2 1,407	2,33 0,493	Fine Sand Well Sorted

			Skewness (sk) Kurtosis (k)	0,192 1,543	-0,192 1,543	Coarse Skewed Very leptokurtic
Couloir Orographique Morhad/Souiga	la traine	E9	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	232,3 1,601 -0,047 0,845	2,1 0,679 0,047 0,845	Fine Sand Very Well Sorted Symmetrical Platykurtic
	milieu du flan au vent	E10	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	275,4 1,467 -0,341 0,793	1,86 0,553 0,341 0,793	Medium Sand Moderately Well Sorted Very Fine Skewed Platykurtic
	sommet de la dune	E11	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	229,5 1,427 -0,099 0,951	2,12 0,513 0,099 0,951	Fine Sand Moderately Well Sorted Symmetrical Mesokurtic
	flanc sous le vent	E12	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	227,8 1,507 -0,165 0,884	2,13 0,591 0,165 0,884	Fine Sand Moderately well Sorted Fine Skewed Platykurtic
La Plaine de Naama	flanc au vent	E13	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	169,6 1,238 -0,466 1,242	2,55 0,308 0,466 1,242	Fine Sand Very well Sorted Very Fine Skewed Leptokurtic
	sommet de la dune	E14	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	185,7 1,616 -0,224 0,822	2,42 0,692 0,224 0,822	Fine Sand Moderately Well Sorted Fine Skewed Platykurtic
	flanc sous le vent	E15	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	136,2 1,422 -0,097 1,392	2,87 0,508 0,097 1,392	Fine Sand Moderately Well Sorted Symmetrical Leptokurtic
	flanc au vent	E16	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	201,0 1,509 0,123 1,097	2,31 0,594 -0,123 1,097	Fine Sand Moderately Well Sorted Coarse Skewed Mesokurtic
	sommet de la dune	E17	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	327,0 1,394 -0,513 0,984	1,61 0,479 0,513 0,984	Medium Sand Well Sorted Very Fine Skewed Mesokurtic
	flanc sous le vent	E18	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	176,8 1,423 -0,035 1,168	2,11 0,509 0,035 1,168	Fine Sand Moderately well Sorted Symmetrical Leptokurtic
	flanc au vent	E19	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	230,9 1,546 0,090 0,884	2,11 0,629 -0,090 0,884	Fine Sand Moderately Well Sorted Symmetrical Leptokurtic
	sommet de la dune	E20	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	334,0 1,681 -0,469 0,898	1,58 0,749 0,469 0,898	Medium Sand Moderately Sorted Very Fine Skewed Platykurtic
	Surface de nappage sableux	E21	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	178,9 1,437 -0,244 0,775	2,48 0,523 0,244 0,775	Fine Sand Well Sorted Fine Skewed Platykurtic
	Surface de nappage sableux	E22	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	135,0 1,373 -0,151 0,884	2,88 0,457 0,151 0,884	Medium Sand Moderately Well Sorted Fine Skewed Platykurtic
	Surface de nappage	E23	Médiane ETF (σ)	171,1 1,485	2,54 0,570	Fine Sand Moderately Well Sorted

	sableux		Skewness (sk) Kurtosis (k)	-0,013 1,299	0,013 1,299	Symmetrical Leptokurtic
Couloir Orographique Morhad/Souiga	Surface de nappage sableux	E24	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	190,1 1,387 0,052 1,023	2,39 0,472 -0,052 1,023	Fine Sand Well Sorted Symmetrical Mesokurtic
	nappage sableux	E25	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	335,4 1,801 -0,085 0,956	1,57 0,849 0,085 0,956	Medium Sand Moderately Sorted Symmetrical Mesokurtic
	Nebkha	E26	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	207,6 1,599 0,041 0,906	2,26 0,677 -0,041 0,906	Fine Sand Moderately well Sorted Symmetrical Mesokurtic
	Nebkha	E27	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	207,6 1,541 0,075 0,840	2,26 0,624 -0,075 0,840	Fine Sand Moderately well Sorted Symmetrical Platykurtic
	Flèche sableuse	E28	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	246,6 1,644 -0,082 0,893	2,02 0,717 0,082 0,893	Fine Sand Moderately well Sorted Symmetrical Platykurtic
	Flèche sableuse	E29	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	182,7 1,601 0,214 1,188	2,45 0,679 -0,214 1,188	Fine Sand Moderately well Sorted Coarse Skewed Leptokurtic
	Zone interdunaire	E30	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	397,0 1,878 -0,303 0,968	1,33 0,909 0,303 0,968	Medium Sand Moderately Sorted Very Fine Skewed Mesokurtic
	Zone interdunaire	E31	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	261,3 2,640 0,388 0,616	1,93 1,400 -0,388 0,616	Medium Sand Poorly Sorted Very Coarse Skewed Very Platykurtic
	Zone interdunaire	E32	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	172,1 1,671 -0,032 1,385	2,53 0,740 0,032 1,385	Fine Sand Moderately Sorted Symmetrical Leptokurtic
	Zone interdunaire	E33	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	266,5 1,432 -0,287 0,929	1,90 0,518 0,287 0,929	Medium Sand Moderately Well Sorted Fine Skewed Mesokurtic
Zone interdunaire	E34	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	417,8 1,593 -0,750 1,085	1,25 0,672 0,750 1,085	Medium Sand Moderately Well Sorted Very Fine Skewed Mesokurtic	
La Plaine de Naama	Zone interdunaire	E35	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	225,1 2,216 0,342 1,513	2,15 1,148 -0,342 1,513	Fine Sand Poorly Sorted Very Coarse Skewed Very Leptokurtic
	Zone interdunaire	E36	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	369,4 2,88 -0,040 0,407	1,43 1,526 0,040 0,407	Medium Sand Poorly Sorted Symmetrical Very Platykurtic
	Zone interdunaire	E37	Médiane ETF (σ) Skewness (sk) Kurtosis (k)	181,1 1,850 0,257 3,854	2,46 0,887 -0,257 3,854	Fine Sand Moderately Sorted Coarse Skewed Extremely leptokurtic

- Les sables des proto dunes ou des dunes atypiques de hauteur $< 2 \text{ m}$ (E13, E14, E15, E16, E17, E18, E19, E20) (Fig. 49d ; 50d) ont la même teinte que les nappages. Les sables des flancs au vent (E13, E16 et E19) sont fins ($Md=0,16$ à $0,23 \text{ mm}$), ils sont moyennement bien triés à très bien triés ($ETF < 0,35$, le tri maximum étant du côté des particules grossières ($Sk < 1$)). Le taux de la fraction $< 0,125 \text{ mm}$ est de 8-10 %. Les sables des versants sous le vent sont fins à moyens ($Md=0,20-0,25 \text{ mm}$), très bien triés ($ETF < 0,35$, le tri maximum étant du côté des particules grossières ($Sk < 1$)). Le taux de la fraction $< 0,125 \text{ mm}$ est de 8-10 %. Les sommets des proto dunes sont constitués de sables très fins ($Md=0,1 \text{ mm}$) à moyen, ($Md=0,25 \text{ mm}$), à très bon tri ($ETF < 0,35$). Le tri est maximum : pour les sables fins et très fins, du côté des particules fines ($Sk > 1$: dépôts dits « tranquilles ») et pour les sables moyens, du côté des particules grossières ($Sk < 1$: dépôts dits « agités »).

- Les barkhanes ((E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11, E12) (Fig. 49e ; 50e).

L'observation des résultats d'analyses granulométriques montre tout d'abord une grande variation au niveau des sédiments des barkhanes. Cette hétérogénéité traduit justement la variation du lieu de prise de l'échantillon sur une barkhane donnée. Les médianes de ces sédiments varient en effet entre $0,12 \text{ mm}$ et $0,27 \text{ mm}$. Il s'agit de sables en général fins à très fins parfois moyen (E10).

On constate aussi, que pour toutes les barkhanes, les sédiments les plus fins sont ceux pris au niveau du flanc au vent. Ceux de la traîne, de la crête et du pied sont relativement grossiers.

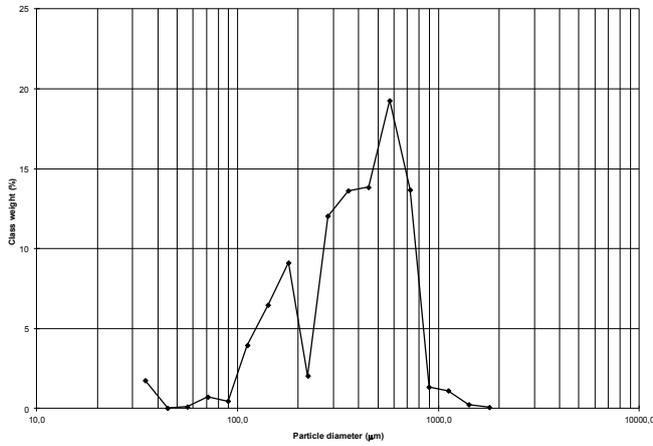
Les sédiments de la traîne montrent des médianes variant entre $0,18$ et $0,23 \text{ mm}$. Ce sont des sables fins bien triés. Les sables de crête admettent des médianes qui varient entre $0,19$ et $0,22 \text{ mm}$, mais avec tri bon à moyen comme le montrent les valeurs de leurs écarts types. Les sables de pied de barkhane (c'est-à-dire sous le vent) ont des médianes qui vont de $0,12 \text{ mm}$ à $0,22 \text{ mm}$. Le bon tri est toujours présent, le sédiment (E12) présente un tri moyen.

Pour ce qui est des sédiments de dos de barkhanes (c'est-à-dire au milieu du flanc au vent), les valeurs de médianes varient entre $0,17$ et $0,27 \text{ mm}$ et les sables sont fins avec un bon tri, sauf pour l'échantillon (E10), où les sables sont moyen avec un tri moyen.

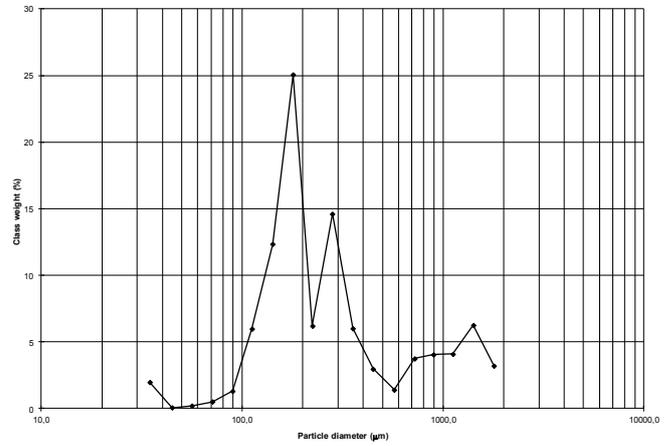
La différence entre les valeurs des médianes des sédiments de dos et de crête de barkhane s'explique par des phénomènes aérodynamiques de la barkhane qui font que des phénomènes de succion (J. Bourcart, 1928), se développent au niveau de la crête et exportent hors de celle-ci les particules les plus fines, laissant uniquement les plus grossières en place (F. Melton, 1940). Selon certains auteurs, cette augmentation de la taille des grains est proportionnelle à l'augmentation de la hauteur de la barkhane (H.J Finkel, 1959).

Dans les Hautes Plaines Sud Oranaises, la hauteur des barkhanes n'est pas importante, c'est ce qui explique, cette légère différence entre les valeurs des médianes de l'arrière des barkhanes vers la crête.

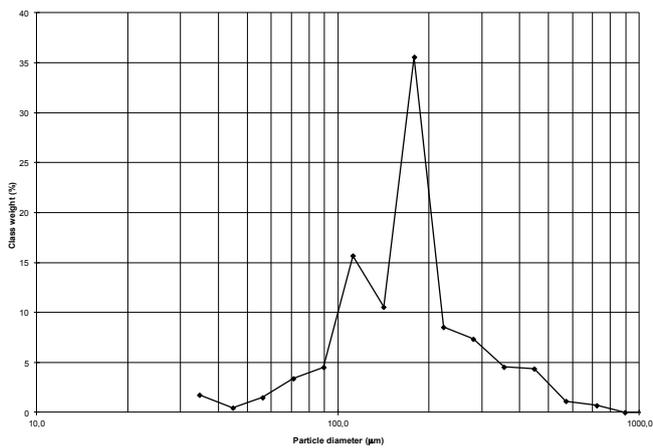
E30



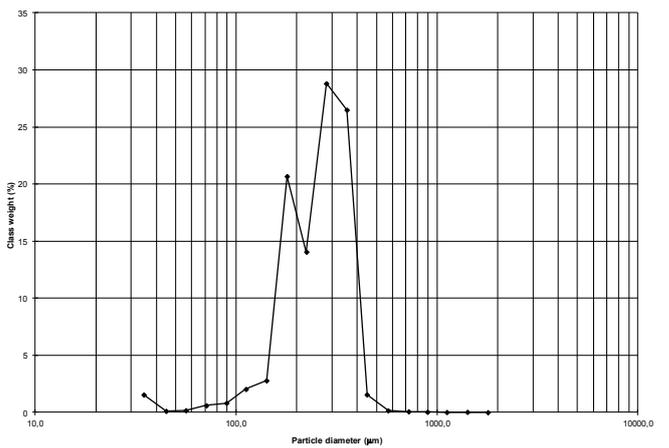
E31



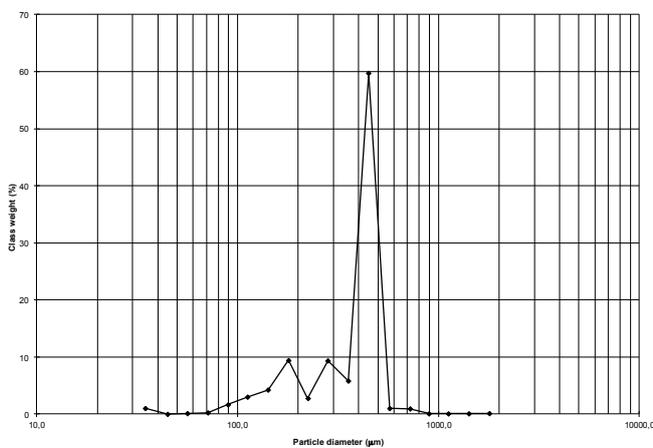
E32



E33



E34



E35

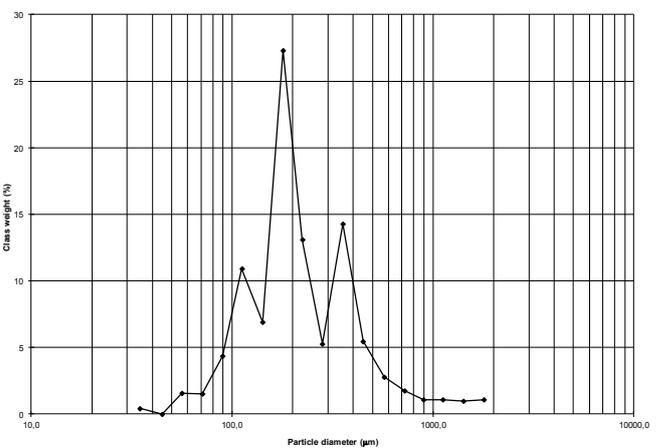
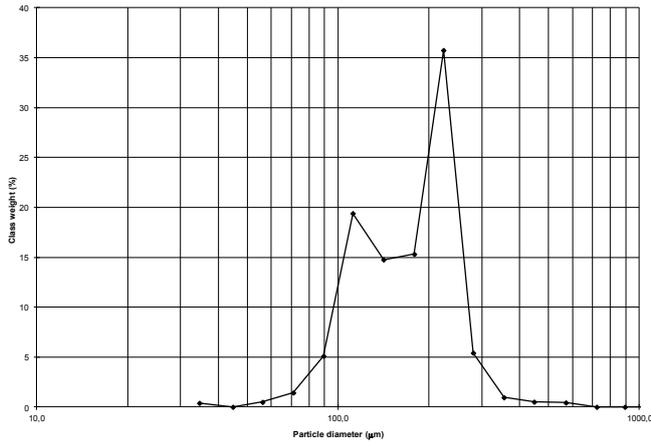
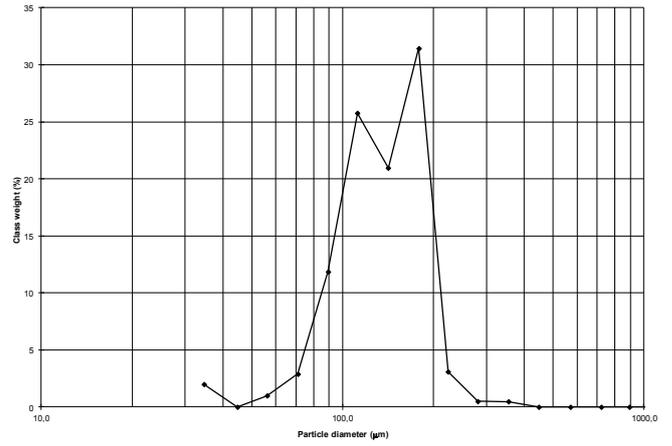


Fig. 49a : Les histogrammes de fréquences des sédiments éoliens en zone inter-dunaire et de déflation.

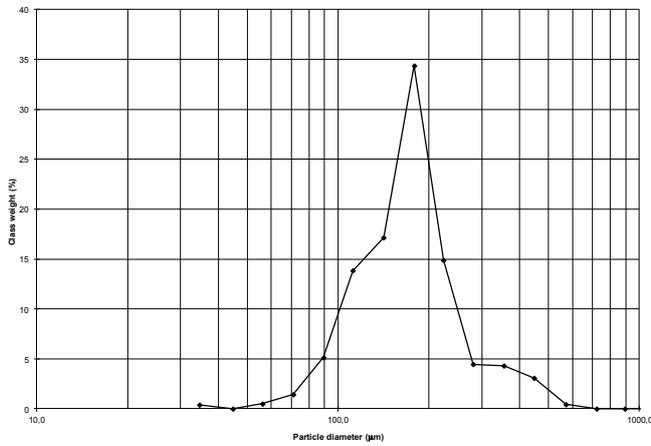
E21



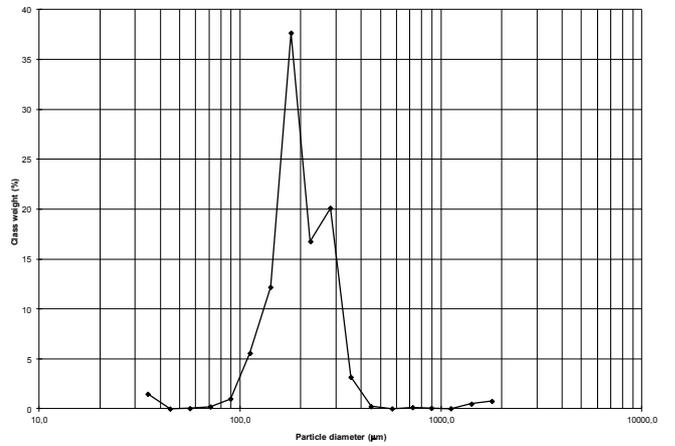
E22



E23



E24



E25

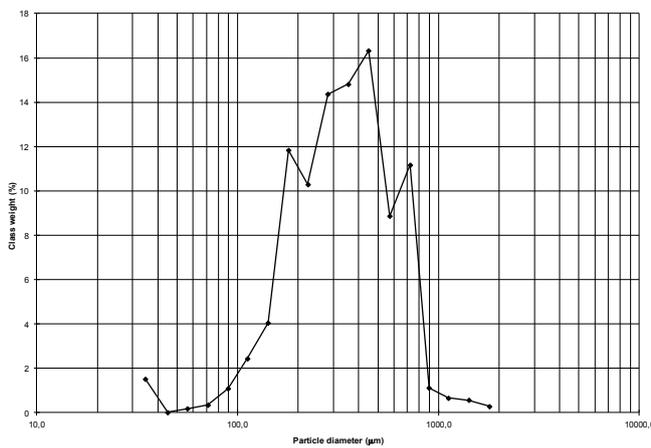
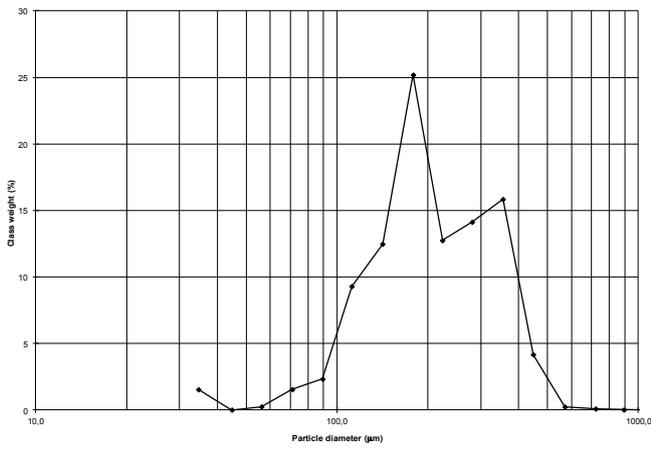
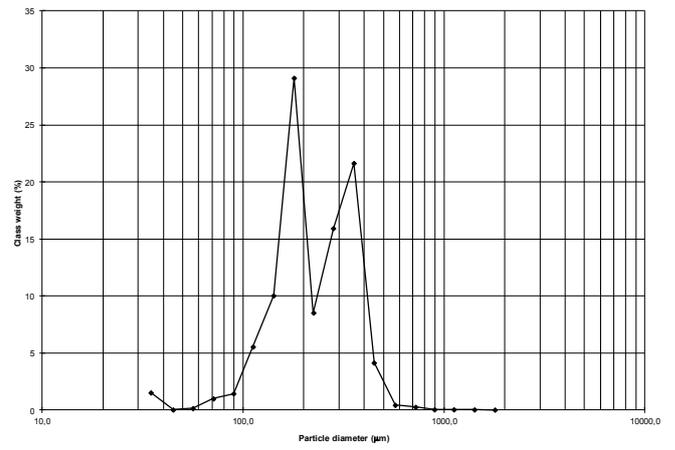


Fig. 49b : Les histogrammes de fréquences des sédiments éoliens en zone de nappage.

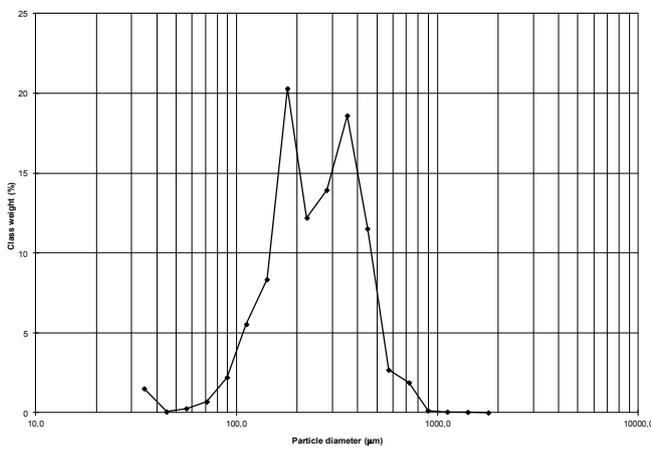
E26



E27



E28



E29

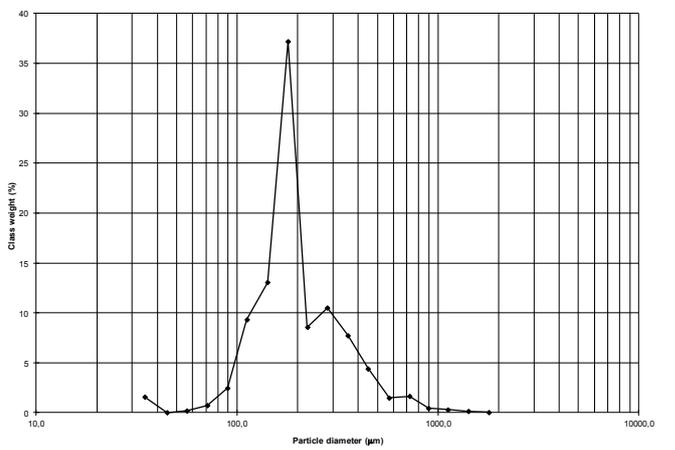
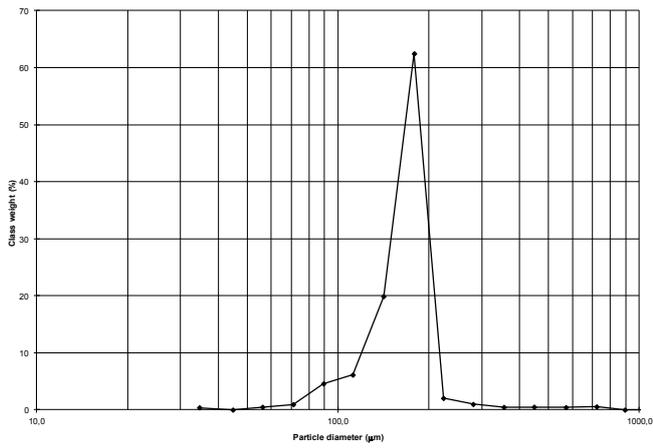
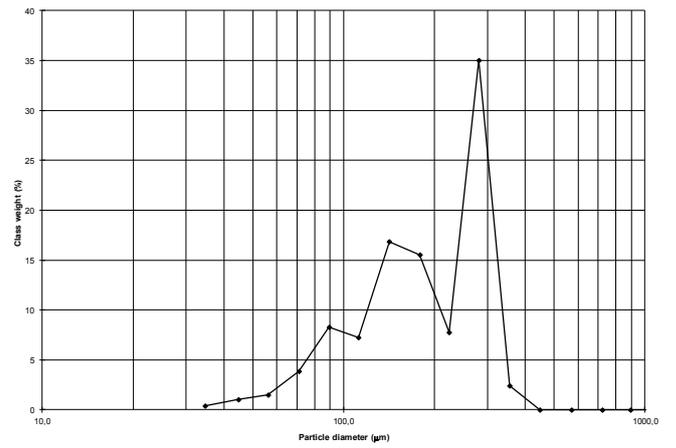


Fig. 49c : Les histogrammes de fréquences des sédiments éoliens (nebkha).

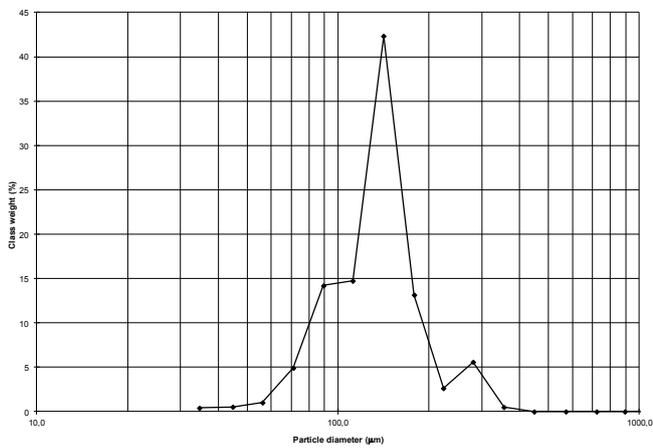
E13



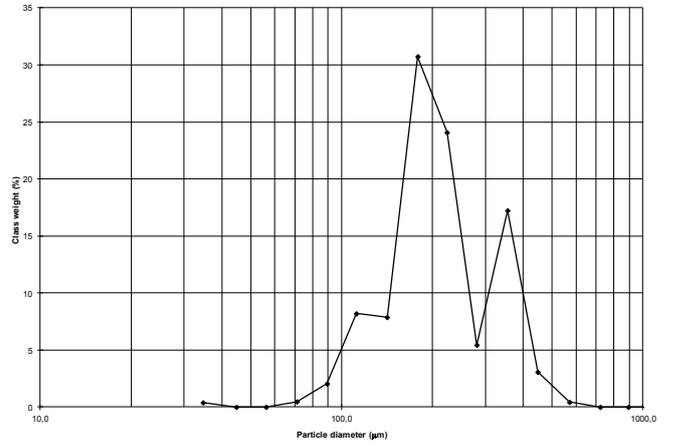
E14



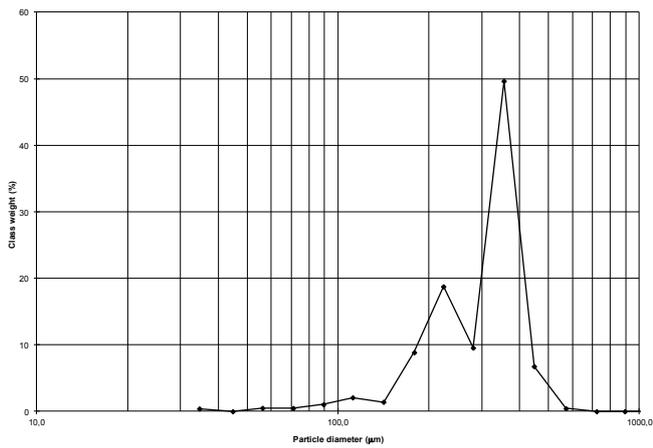
E15



E16



E17



E18

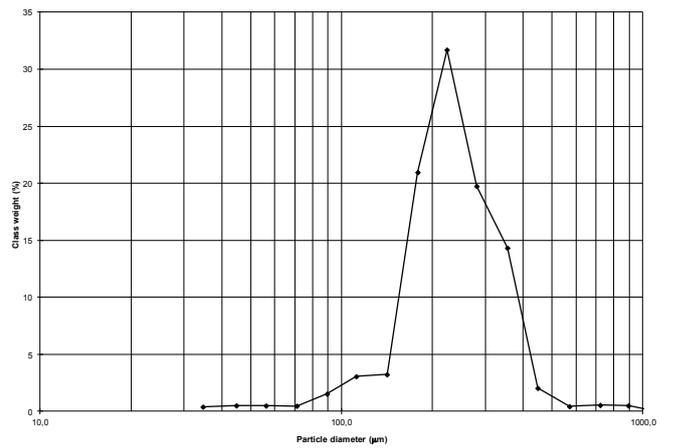
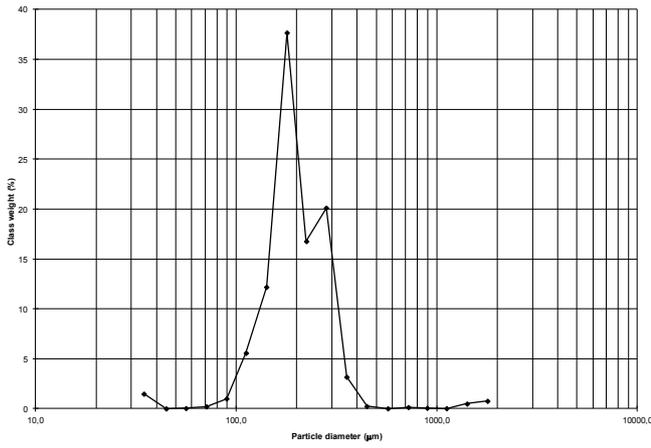
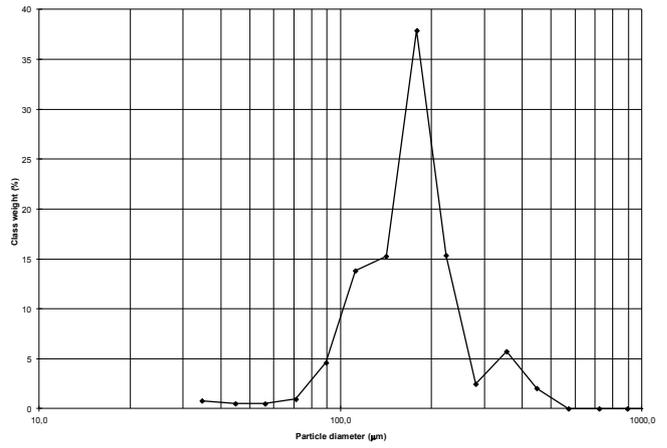


Fig. 49d : Les histogrammes de fréquences des sédiments éoliens en zone de protodune.

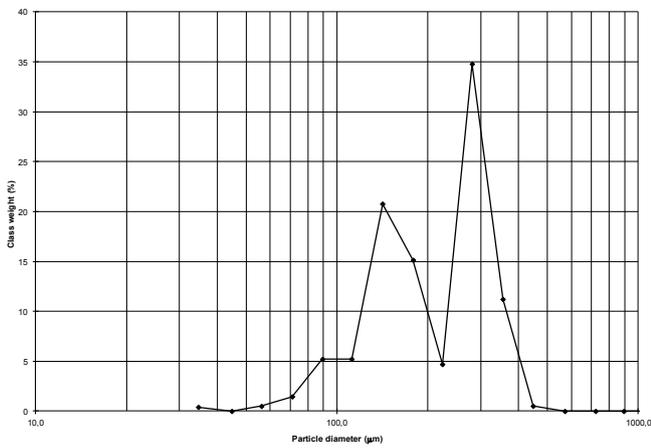
E1



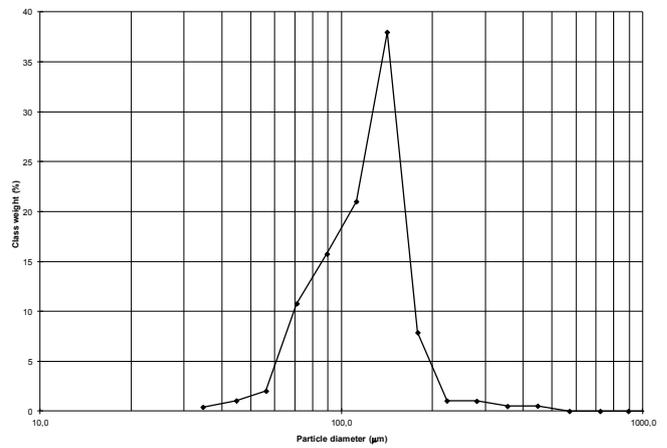
E2



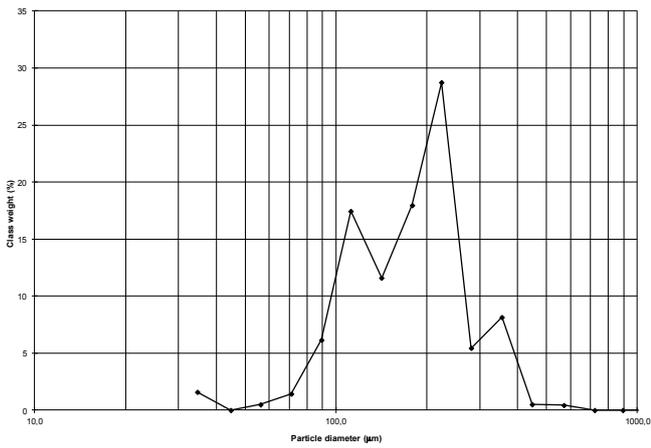
E3



E4



E5



E6

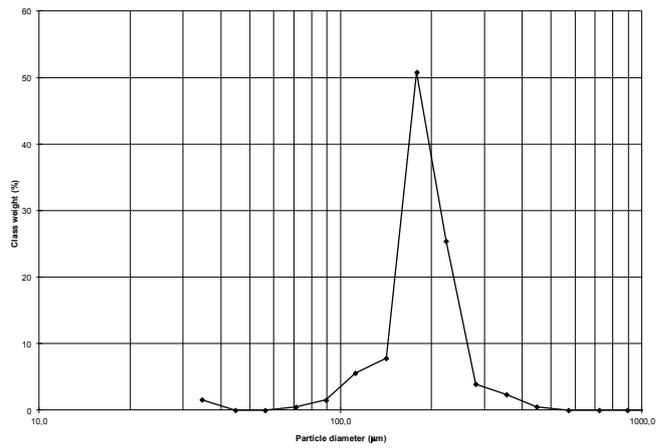
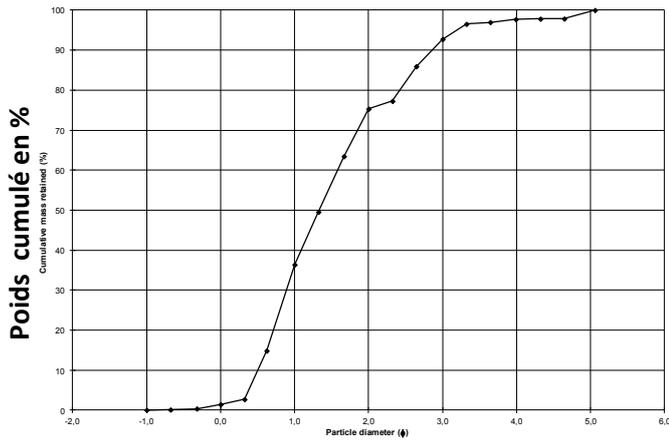
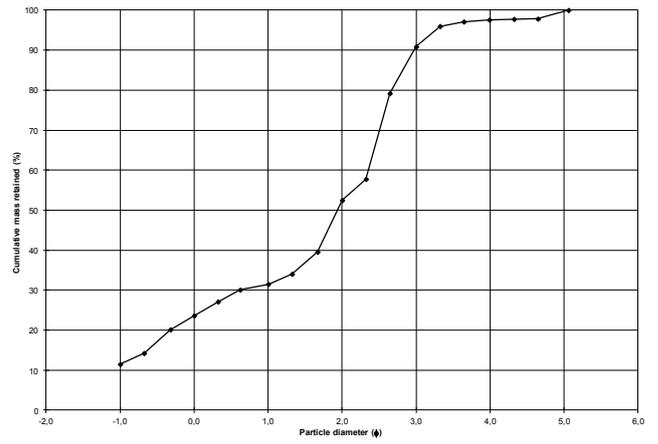


Fig. 49e : Les histogrammes de fréquences des sédiments éoliens en zone de barkhane.

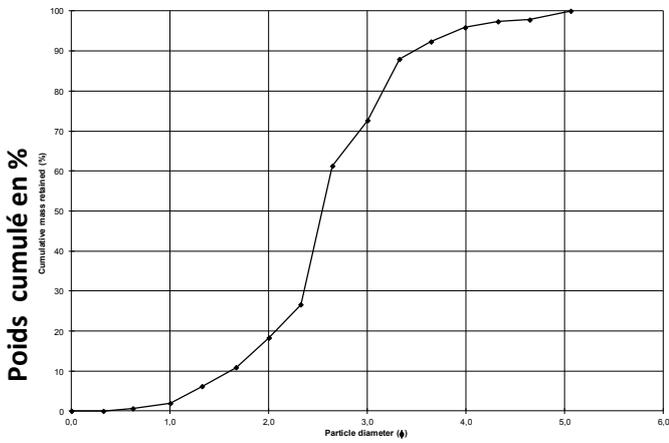
E30



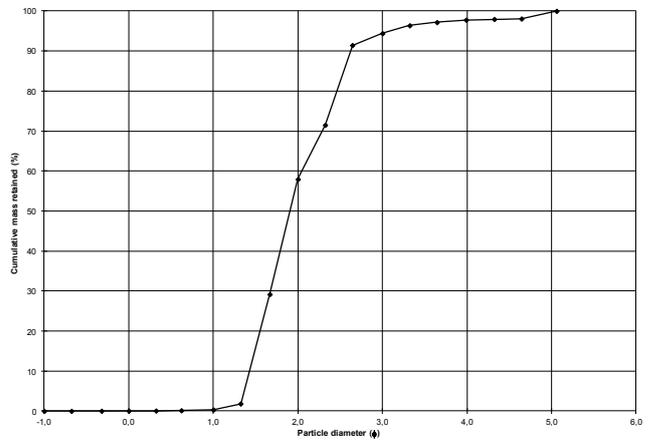
E31



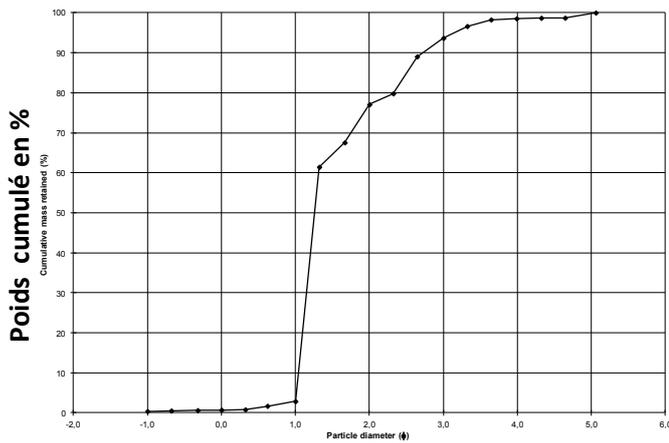
E32



E33



E34



E35

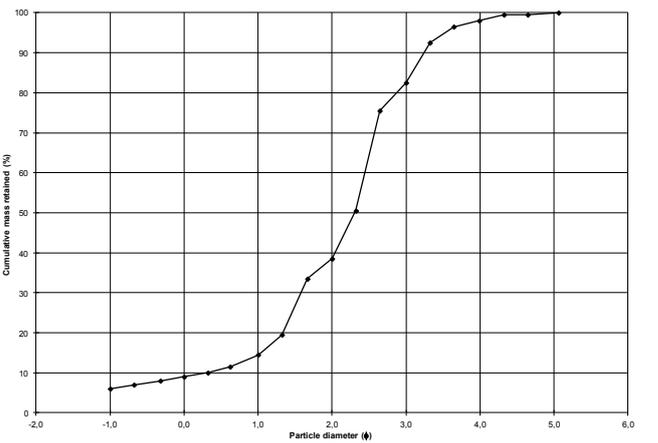
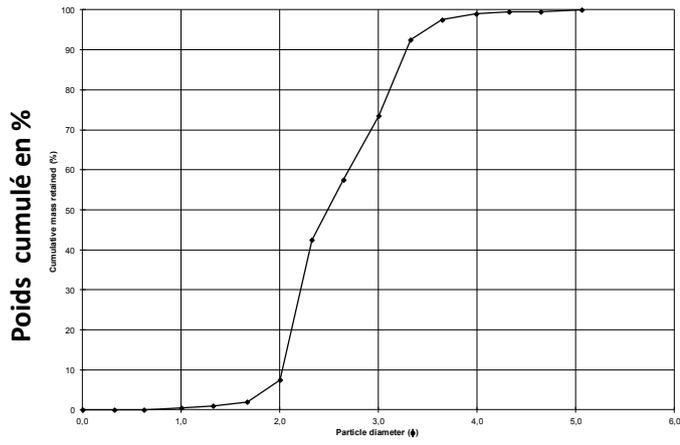
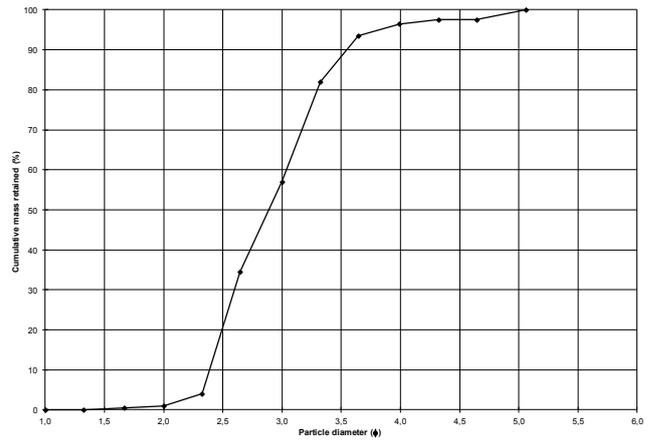


Fig. 50a : Courbe cumulative des sédiments éoliens en zone inter-dunaire et de déflation.

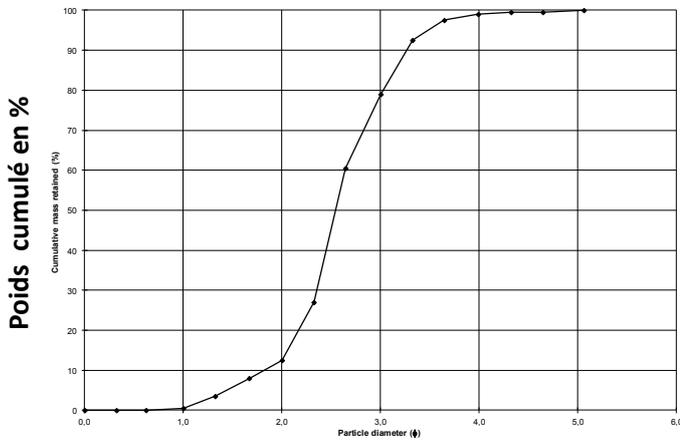
E21



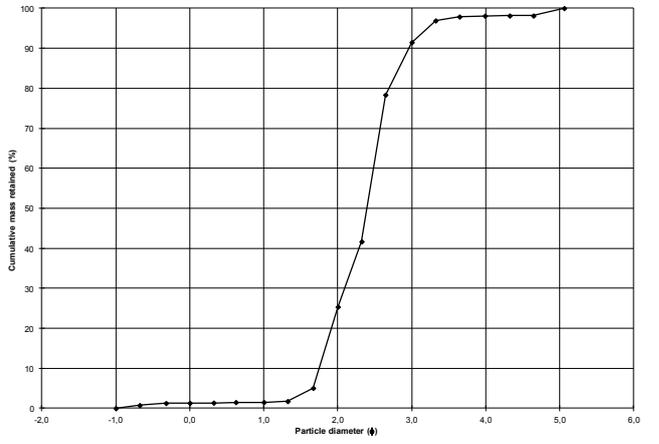
E22



E23



E24



E25

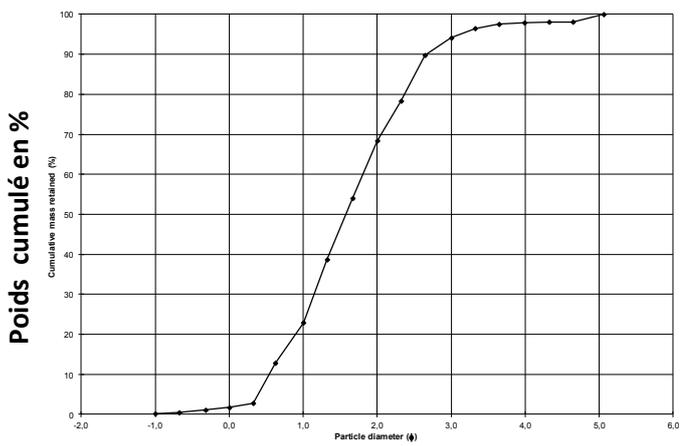
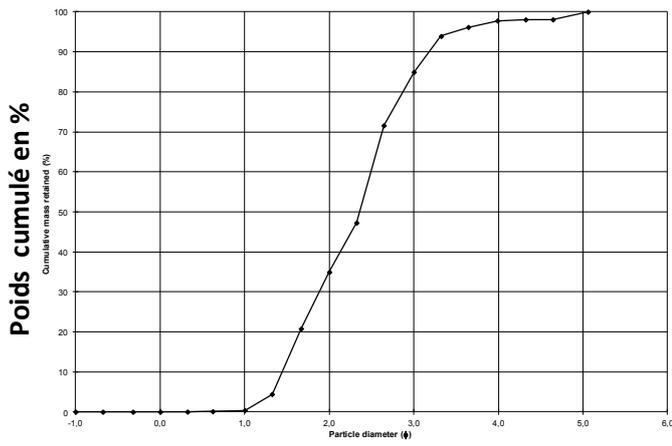
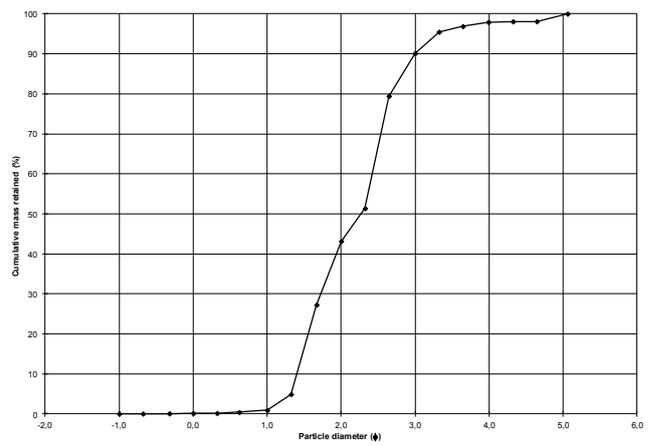


Fig. 50b : Courbe cumulative des sédiments éoliens en zone de nappage.

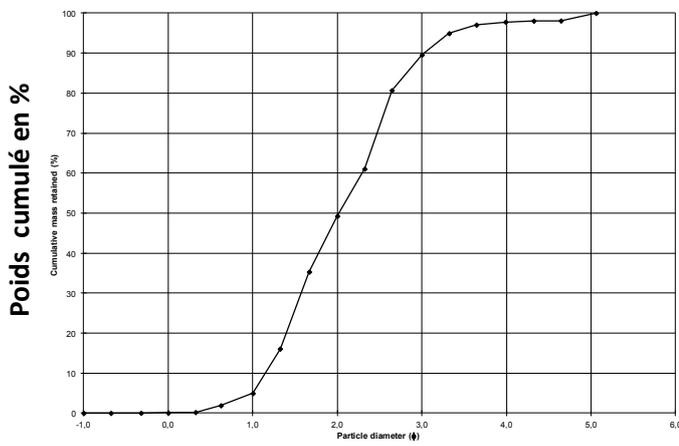
E26



E27



E28



E29

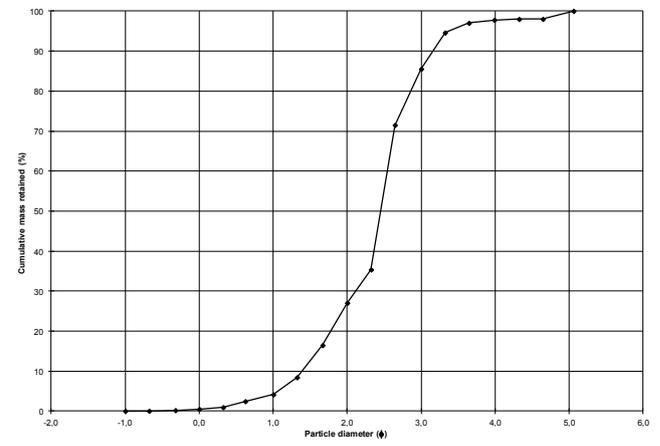
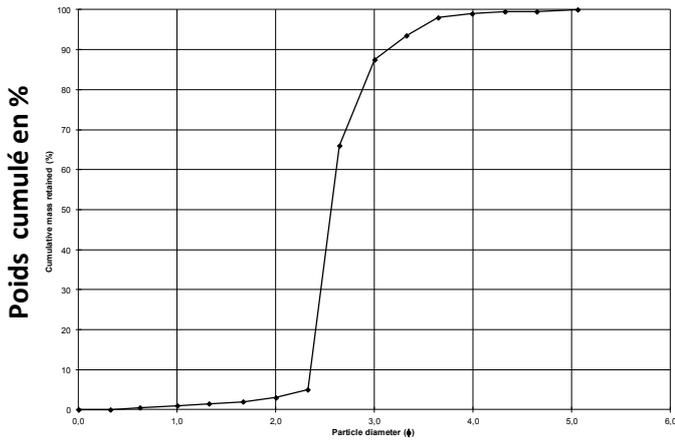
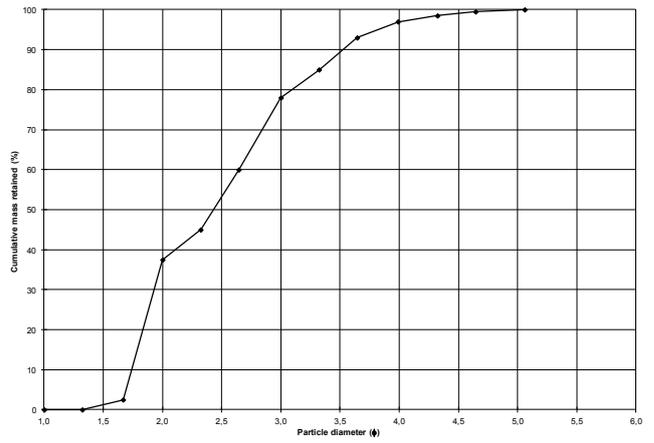


Fig. 50c : Courbe cumulative des sédiments éoliens en zone de nebkha.

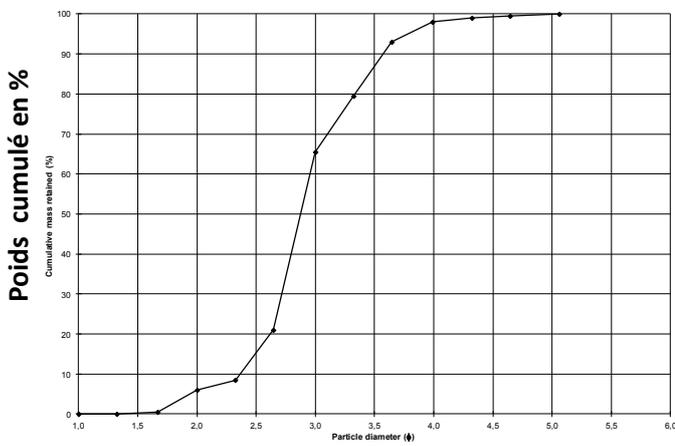
E13



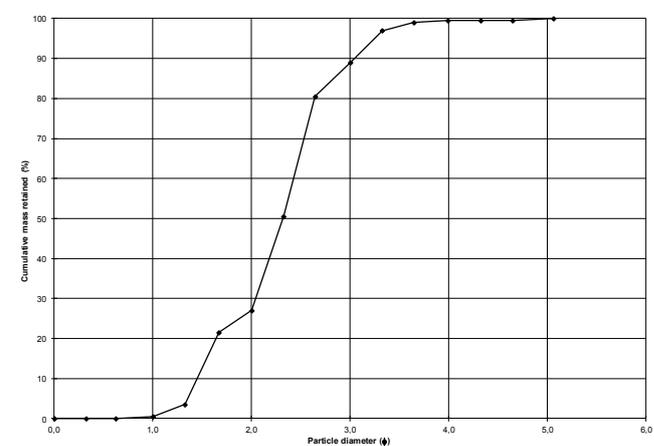
E14



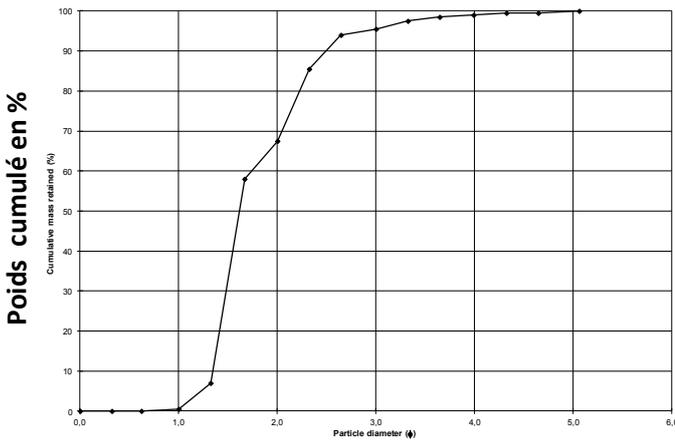
E15



E16



E17



E18

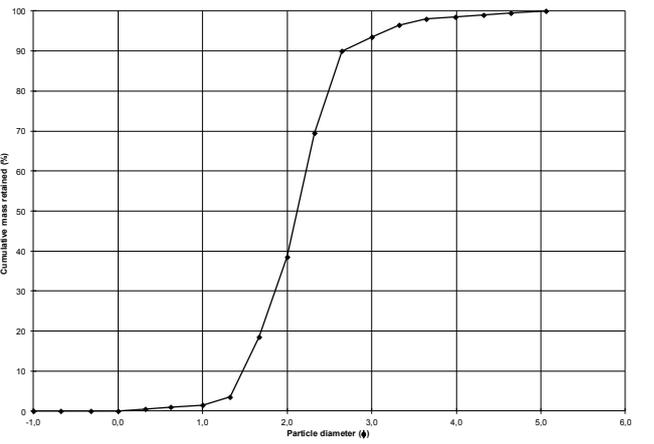


Fig. 50d : Courbe cumulative des sédiments éoliens en zone de protodune.

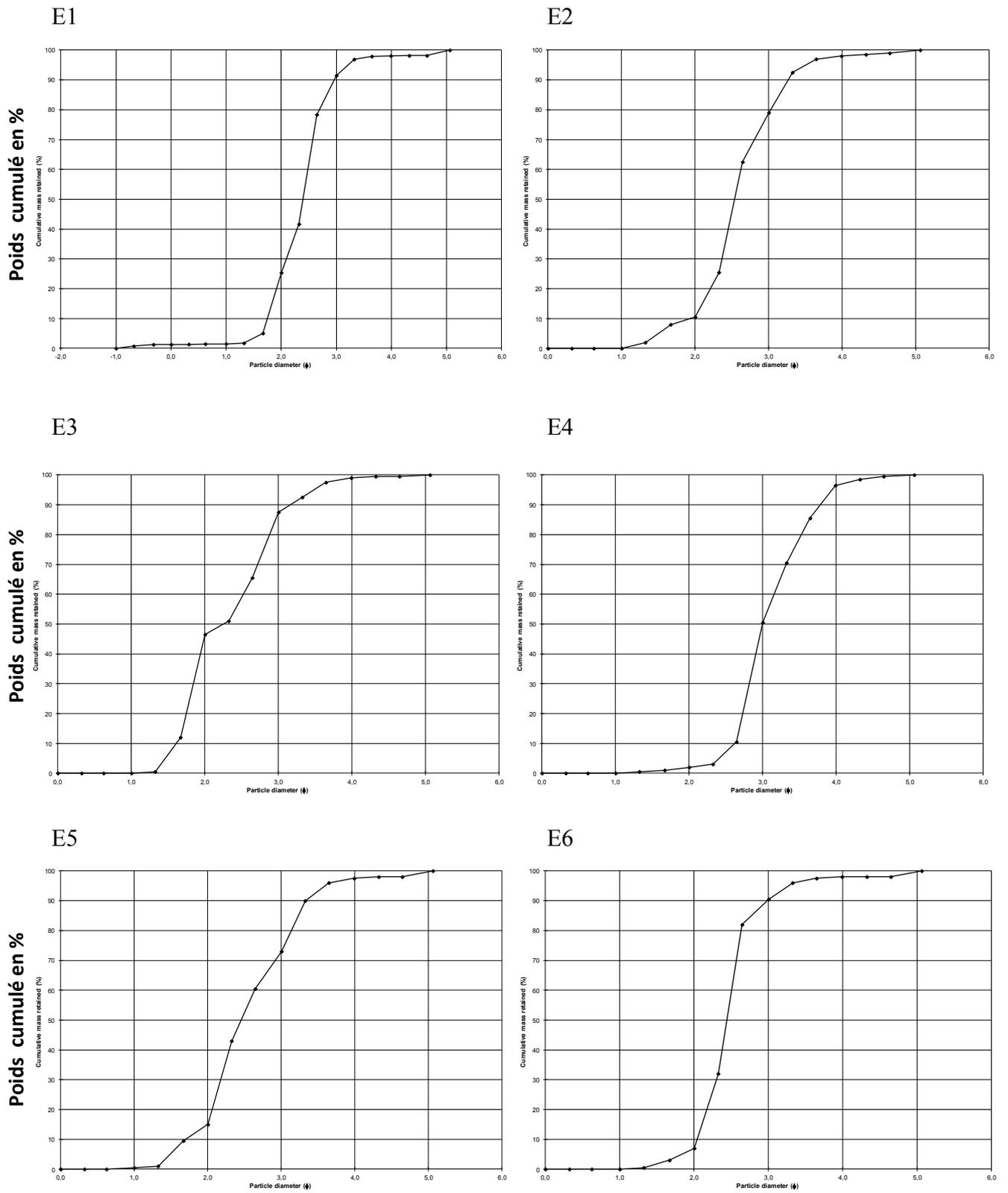


Fig. 50e : Courbe cumulative des sédiments éoliens en zone de barchane.

CONCLUSION.

L'étude des caractères granulométriques des sédiments des formations dunaires des HPSO, montre que ces sédiments sont en majorité des sables fins à moyens. Les sables grossiers ne se rencontrent qu'aux sommets des accumulations dunaires.

Ces sables sont tous bien triés. Les courbes granulométriques sont toutes de même forme générale, bien redressées et à pente importante, ce qui est le signe incontestable d'une action du vent dans la dynamique de leur mise en place. Les paramètres sédimentologiques indiquent une dynamique de mise en place d'énergie et de compétence moyenne à forte.

Par ailleurs ces sables bien classés, présentent peu de variations sensibles au sens de la même accumulation dunaire. Il n'y a qu'au niveau des barkhanes que des variations existent. L'homogénéité des caractères granulométriques au niveau des accumulations dunaires, peut s'expliquer dans le cas des microdunes et des petites buttes de sables, par la végétation et dans le cas des dunes vives (barkhanes, nebkhas,...), par l'encerclage de ces dernières par des reliefs assez importants. Végétation (bande verte en particulier) et reliefs ont alors un rôle d'obstacle à l'évacuation rapide des sables et favoriseraient leur maintien plus longtemps sur place et donc leur meilleur tri par le vent.

Conclusion de la troisième partie :

La morphologie des Hautes Plaines Sud Oranaises est très favorable pour une forte mobilité des sables.

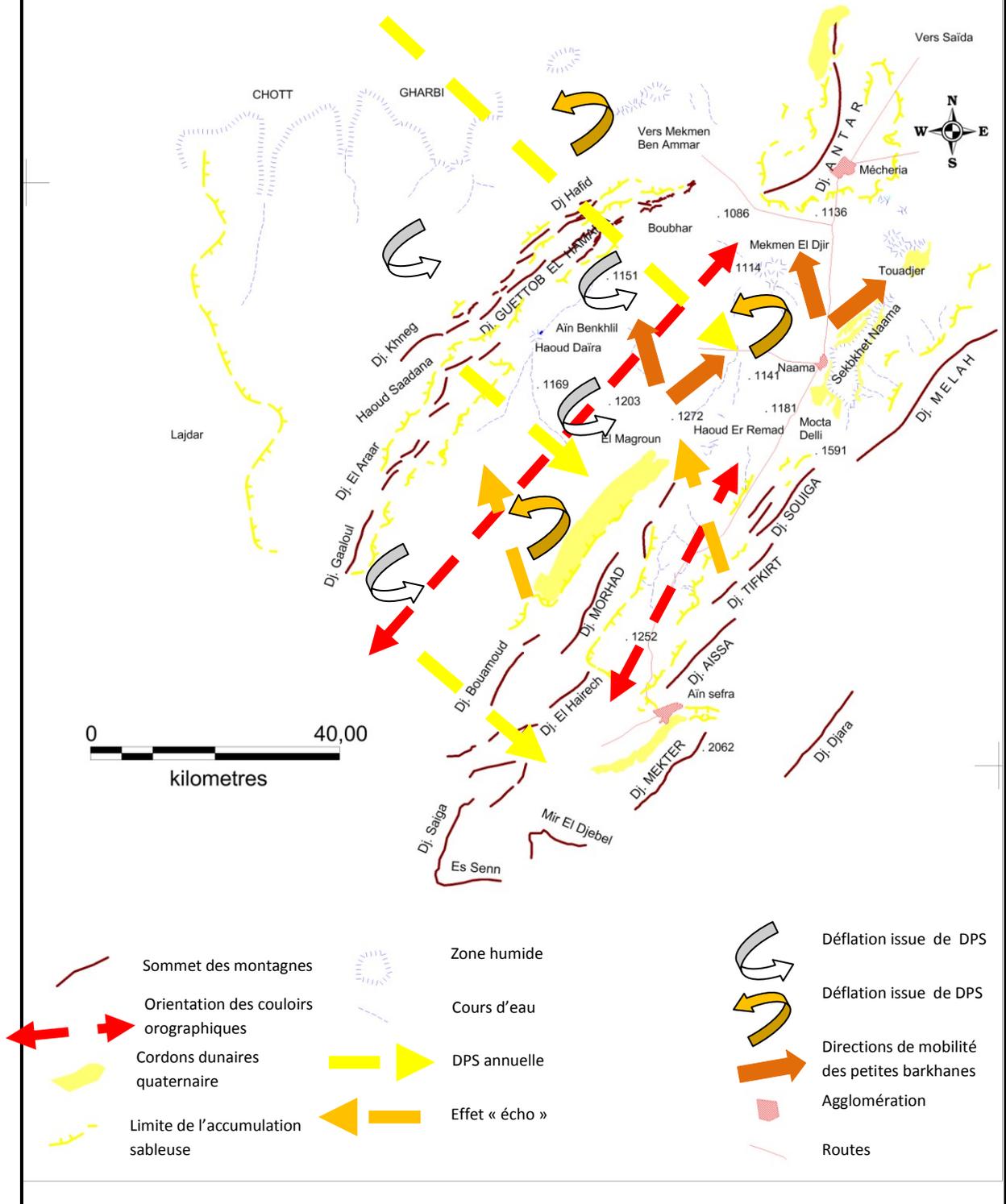
Premièrement, par l'orientation générale des montagnes et des collines qui est perpendiculaire aux déplacements potentiels des sables (DPS), ceci génère un effet « écho » des reliefs selon une direction opposée aux « DPS ».

Deuxièmement par un endoréisme très caractéristique de ces zones steppiques et qui peut être aggravé lors de crues d'oued. En effet, les cours d'eau descendent des chaînons des Mts des Ksour et aboutissent au centre de dépressions (dayas) dans lesquelles se font une grande partie des dépôts. Comme l'hygrométrie de l'air est dans la plupart du temps basse, ceux-ci sont vite asséchés (du moins en surface), ce qui favorise les processus de déflation sur la partie sableuse des alluvions. Il est évident que ceux-ci sont amplifiés après une crue quand on sait qu'à ce moment là, l'écoulement torrentiel peut mobiliser un volume important de matériel très hétérométrique.

Troisièmement, des vents très dynamiques avec des directions variables dans le temps et dans l'espace. Ceci est confirmé par les paramètres sédimentologiques qui indiquent une dynamique de mise en place d'énergie et de compétence moyenne à forte.

La direction résultante annuelle des DPS¹ est WNW-NW/ ESE-SE (N 298°) : les sables auraient tendance à se déplacer vers l'ESE et le SE. Mais les relevés sur le terrain et le traitement des données anémométriques quotidiennes montrent que l'efficacité des processus éoliens est presque permanente et selon des directions différentes, pour ne pas dire opposées au cours de la journée et de l'année. Une part des variations de directions du vent relève de l'impact des reliefs : nous avons constaté que les plus grandes accumulations sableuses se situent sur les piémonts à exposition ouest ou nord et que la mobilité des sables (et des dunes) se fait dans des sens opposés (Fig. 51).

Fig. 51 : La mobilité des sables dans les Hautes Plaines Sud Oranaises



QUATRIEME PARTIE

La problématique en aménagement dans une zone en voie de désertification avancée.

I- LA PART DE L'ANTHROPISATION ET DE LA DYNAMIQUE NATURELLE.

1- Méthodologie.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux différents agents de transformation du paysage steppique et leur conséquence sur le mode de vie socio-économique de toute une région. On doit souligner que cette mutation de l'espace est le résultat de l'action combinée des facteurs naturels (sécheresse, érosion éolienne, etc.) et ceux de l'homme. Si les premiers se traduisent par la fragilisation du milieu et de l'écosystème steppique, les deuxièmes montrent l'impact de la croissance démographique et de la sédentarisation des nomades.

Les ressources naturelles subissent des pressions anthropiques croissantes entraînant des dysfonctionnements des écosystèmes terrestres et des pertes de biodiversité (Roche, 1998). Encore amplifiés par les modes et systèmes inappropriés d'exploitation des ressources disponibles, ces changements ont des répercussions directes sur l'occupation du sol et sur la configuration du paysage. Les processus naturels sont souvent perturbés par l'activité anthropique irrationnelle, à travers l'exploitation abusive de l'espace.

La mise en évidence de ces transformations de ce travail s'est faite à l'aide d'une étude bibliographique sur les sujets concernant l'agriculture et les politiques agricoles entamées en Algérie depuis l'indépendance jusqu'à nos jours, ainsi que d'autres thèmes. Nous nous sommes basés aussi sur les recueils des données des différents services des de la wilaya de Naama, en particulier l'agriculture, l'hydraulique, le HCDS, les forêts et la DPAT.

2- La sédentarisation des nomades.

Il est reconnu par tous les observateurs, depuis plusieurs années, que la dynamique régressive des écosystèmes arides et, par conséquent, l'appauvrissement de la biodiversité ne sont que la manifestation d'une dynamique socio-économique, caractérisée par une forte démographie et des méthodes d'exploitation du milieu de plus en plus agressives (Quezel, 1989; Quezel et al, 1989 ; Quezel, 2000).

La surexploitation des milieux arides, et la désertification qui en découle, est un phénomène propre au 20ème siècle. Pendant des siècles la société agro-pastorale était un exemple parfait d'équilibre entre l'homme et le milieu naturel.

Le principe de base de l'équilibre agro-pastoral est la mobilité. La société pastorale était nomade ou semi-sédentaire, pratiquant la transhumance. La règle était de ne jamais rester trop longtemps au même endroit. La pression sur le milieu était donc répartie dans le temps et dans l'espace, au rythme des saisons. Il s'agit d'une adaptation ingénieuse pour une exploitation optimale qui minimise les risques de surcharge et de dégradation du milieu.

Cet équilibre agro-pastoral, a subsisté jusqu'à la veille de la colonisation. 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. Il s'agit de la célèbre « Achaba ». Les nomades passaient des accords avec les tribus du Tell pour l'utilisation des chaumes et d'autres pâturages.

- En hiver les nomades et agro-pasteurs se dirigeaient vers le sud jusqu'au M'zab et Timimoun en suivant les grands oueds issus des monts des Ksours pour s'approvisionner en dattes (Azaba). Ces transhumances continues des troupeaux à la recherche des pâturages et des herbes du sud vers le nord caractérisaient le plus, l'élevage algérien. Les nomades pratiquaient ces déplacements pour des raisons à la fois climatiques et commerciales.

Nous pensons qu'au fil des temps, les nomades ont acquis un certain savoir faire pour instaurer un équilibre agro-économique dépendant du travail de l'homme suivant la tendance des aléas climatiques. Effectivement, *«une reproduction déficitaire ou insuffisante conduit à un déséquilibre agro-économique qui trouve sa sanction immédiate et directement perceptible dans la dégradation du couvert végétal puis dans l'érosion des sols et enfin dans la désertisation.»* (MONTCHAUSSE G., 1972).

Ce système fonctionnait avec une organisation et des institutions tribales et un droit coutumier reconnu et respecté de tous. Les mutations profondes qu'il a connues depuis un siècle sont défavorables à une gestion rationnelle des ressources.

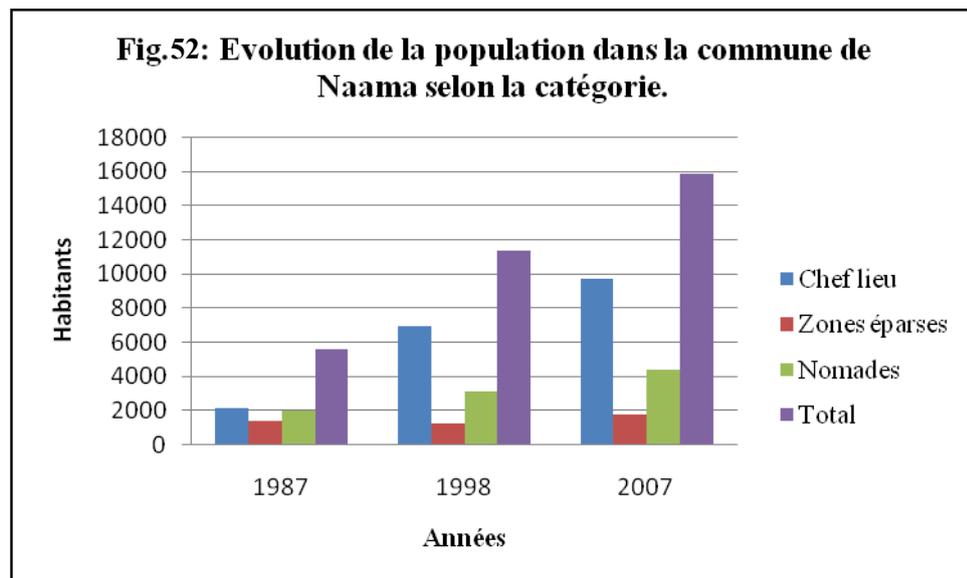
Néanmoins, ces systèmes agro-pastoraux connaissent, depuis quelques décennies, des mutations profondes avec comme causes principales :

3- La pression démographique : C'est l'une des principales causes. Plusieurs études établies sur la population des hautes plaines sud oranaises, montrent qu'il y a une tendance à l'accroissement de la population totale qui a triplé durant les 30 dernières années (Nedjraoui D. 1999). Il faut donc cultiver plus de terre, élever plus d'animaux et couper plus de bois pour se chauffer. D'autre part, la demande en viande et produits céréaliers a augmenté encore plus vite que la population, ce qui aggrave davantage les pressions sur les terres.

La population de la zone d'étude représentée par la commune de Naâma était de 5694 habitants en 1987 et elle est estimée, au 31.12.2007 à 15827 habitants dont 61,1% dans la ville, 11,11% dans la zone éparsée et 27,7% nomades.

Le nombre d'habitants dans la zone d'étude évolue avec un taux d'accroissement annuel moyen de 6,31% pendant la période 1987-1998 ; depuis 1998, le taux d'accroissement connaît une régression, il est estimé de 4,19%. Le premier vient directement après le découpage

administratif de 1984 et la politique de regroupement de la population steppique dans les centres urbains existants pendant cette période. L'histogramme de l'évolution de cette population représente les trois formes de regroupement des habitants dans cette région (Fig. 52). De même qu'un accroissement dans le regroupement des populations agglomérées au détriment de la population nomade.



De ce fait, la population agglomérée double pratiquement tous les 10 ans. Ce phénomène de regroupement de la population n'est pas entièrement nouveau, il remonte au temps de la colonisation.

Par ailleurs ; le regroupement de la population nomade se fait d'une manière régulière et continue : en 1966 sur 21 communes de la région 10 abritaient 75% de nomades ; en 1977 ce chiffre chute à 4 communes et en 1998 seules 2 communes frontalières et en dehors des grandes voies de communication abritent encore les nomades restants. La transformation du nomadisme en population agglomérée et éparse est en train de s'opérer d'une manière définitive (NEDJRAOUI D. 1999).

D'après Hadeid M. (2006), la population steppique n'a pas enregistré une forte évolution. Mais ce qu'il faut souligner, ce sont les bouleversements qui l'ont affectée dans cette région. Il faut rappeler qu'autrefois, la steppe été constituée par une population nomade, caractérisée par un mode de vie basé sur l'élevage ovin en particulier, sans pour autant perturber l'équilibre écologique.

« Ce mode fut rompu par l'occupation coloniale, qui quadrilla cet espace longtemps ouvert, bloqua l'achaba, créa des centres urbains administrés militairement, pour contrôler la

population nomade et draina les ressources naturelles de la région (bétail, laine, alfa) vers la "métropole" » (M. HADEID, 2006).

Cet auteur dit qu'à l'indépendance, le colonisateur a légué une région sous-équipée et déshéritée, qui est restée vouée à l'immobilisme jusqu'à la fin des années soixante-dix. Depuis, la région a connu un mouvement de regroupement de la population steppique sans précédent, engendrant l'émergence d'agglomérations dispersées sur la steppe, essentiellement le long des principales voies de communication.

Par conséquent ce mouvement de regroupement de la population steppique a provoqué une baisse de l'effectif nomade, et ce d'une manière importante. « *Le nomadisme semble ne plus être supporté par les hommes, amenant une bonne partie d'entre eux à quitter ce mode de vie et se sédentariser* » (M. HADEID, 2006) « *lorsque ces derniers auront été dépouillés de leurs terres, de leurs troupeaux et de leur mode de penser traditionnel* » (M. BOUKHOBZA, 1982). Ce que nous devons souligner, même si la population steppique se sédentarise, est qu'elle n'a pas pu abandonner son activité d'éleveur. Pour M. BOUKHOBZA, 1982, cette attitude est peut-être due à la crainte qu'éprouvent ces anciens nomades à mieux s'intégrer dans un nouveau mode de vie citadin, mais aussi à l'espoir de reconstituer une partie du troupeau perdue. Toutefois, l'ampleur de ce phénomène entraîna une détérioration de la couverture végétale steppique, suite à la sédentarisation du cheptel sur place, à la réduction des aires de parcours et à la pratique des labours même si elle est interdite par les autorités locales.

D'après les différentes lectures faites et les observations de terrain, nous constatons que la région steppique, n'arrive pas à se situer vis-à-vis de ces changements qu'elle subit sur le plan spatial et social, pour enfin retrouver son identité, qu'elle a perdue autrefois.

Ces bouleversements se traduisent en effet, par la disparition d'un mode de vie qui a subi à la fois les aléas naturels et historiques.

4 - La désorganisation de la société pastorale :

Plusieurs facteurs sont responsables de cette désorganisation sociale:

4.1. Le rôle de l'état : L'état sous ses diverses formes détient le pouvoir. Sa politique de consolidation des structures étatiques, détruit les institutions traditionnelles qui sont devenues inutiles et ont disparu. Les sociétés nomades, jugées rétrogrades, sont poussées à la sédentarisation à cause du problème de contrôle politique.

Par ailleurs, et durant l'occupation, les colons occupaient jusqu'aux franges méridionales du Tell les terres de parcours. Ces terres ont été transformées en parcelles de céréalicultures de faible rendement. Ainsi, tous les principes socio-économiques de la société

agro-pastorale ont été bouleversés et même détruits. De plus, les activités socio-économiques se sont gravement déséquilibrées par la rupture des échanges entre le nord et le reste du pays. Cette occupation a eu des conséquences néfastes sur les tribus nomades. Ces dernières ont été dépossédées de leur pouvoir politique après avoir été dépouillées d'une partie ou de la totalité de leurs moyens de productions (Terre et cheptel).

«...La colonisation du Tell a donné lieu à une déposssession 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 M., 1982).

En même temps, les différents découpages de l'espace, les scissions des tribus (notamment après l'insurrection du Cheikh Bou Amama et des Ouled Sidi Cheikh) (COUDERC R., 1979) ont engendré un déséquilibre et une rupture de la vie sociale et économique des nomades. La communauté tribale a été cassée et les règles communautaires d'organisation se sont relâchées. Ainsi, l'exploitation du domaine steppique est devenue un champ libre de toute entrave pour tout le monde (CÔTE M., 1983).

Tous les facteurs ont été réunis (déplacements restreints des troupeaux, sédentarisation progressive, dissolution des biens collectifs) pour que les nomades quittent le mode de vie pastoral pour aller se sédentariser en premier lieu autour des centres urbains (Mécheria et Ain Sefra).

Après l'**indépendance**, dans le cadre d'une politique d'harmonisation, d'intégration et de développement, l'activité nomade, n'avait pas sa place. Celle-ci n'arrangeait pas l'application du programme social et économique d'un état socialiste. *« Le nomadisme, considéré comme un acte antisocial, devait être supprimé au profit d'une exploitation collective et sédentaire des potentialités animales dans l'espace steppique »* (HADEID M. 2006).

L'action des appareils d'État vis-à-vis des populations nomades a toujours consisté, à tenter de les contrôler, de les intégrer à la vie nationale par l'imposition de règles communes à l'ensemble de la population, et d'«améliorer leurs conditions d'existence». Cette politique s'inscrit ici dans un contexte profondément marqué par les déséquilibres de l'occupation coloniale.

Le processus de sédentarisation s'est accéléré après l'indépendance, précisément durant les **années soixante dix** sous l'impulsion d'une politique volontariste de l'État, ayant pour but la fixation des nomades. La majorité de ceux-ci s'est trouvée affaiblie et appauvrie, à

l'exception des gros éleveurs qui ont pu surpasser cette crise en reconstituant leur troupeau,. Ils se sont réfugiés dans les principales villes steppiques (Mécheria, El Bayadh et Aïn sefra).

Les réformes instaurées par la révolution agraire, ont encore une fois, secoué le nomadisme par la suppression de l'élevage absentéiste, la limitation du cheptel, l'introduction des coopératives pastorales. Mais les nomades, ont su comment contourner ces directives. *«Les gros éleveurs détenant la quasi totalité des troupeaux et possédant chacun plus de 1 000 têtes, se sont organisés avec leurs bergers en divisant leur patrimoine animal en groupes de taille réduite autorisés par la loi (300 à 400 têtes). Les bergers ainsi sont considérés aux yeux de l'administration comme des propriétaires, elle leur a même attribué une carte d'éleveur pour profiter des services offerts : distribution des aliments par les CAPCS, la vaccination... »* (HADEID M. 2006).

Pendant les **années quatre vingt**, le découpage de 1985 a complètement remanié la steppe en créant les deux nouvelles wilayas de Naâma et d'El Bayadh auparavant liées à la wilaya de Saïda. Cela s'est traduit par l'acquisition d'un certain nombre d'équipements administratifs, éducatifs, sanitaires, ramenant une certaine commodité aux nomades. Suite aux offres d'emploi qui se sont manifestées, conjointement à une sécheresse exceptionnelle, le processus de sédentarisation a pris de l'ampleur. Cela a accentué la pression sur les parcours.

La décennie « noire » (les **années quatre-vingts dix**), a eu un effet négatif sur la steppe. Son isolement causé par l'insécurité, a provoqué une surcharge inévitable. Et la désertification n'a jamais été aussi bien ressentie.

Actuellement, cet espace ouvert des nomades et de l'élevage ovin, change de vocation et passe de plus en plus à un paysage clôturé et enclavé à des fins agricoles. La multiplication des mises en valeur et l'extension des périmètres irrigués, ont provoqué un changement profond dans la société nomade, où le pasteur devient cultivateur. *« Les itinéraires suivis par les nomades durant leurs déplacements s'effacent. Le nomadisme va-il disparaître après toutes ces déstructurations qu'il a connues et qu'il continue à connaître ? »* (HADEID M. 2006).

4.2. La part de la sécheresse dans le regroupement de la population.

Depuis les sécheresses des années soixante dix, la faiblesse de la pluviométrie a fortement réduit les zones de pâturage. La baisse des nappes phréatiques et la rareté des eaux de surface ont créé des conditions d'existence de plus en plus précaires.

Les éleveurs nomades, dans un élan de survie, se sont massivement et progressivement sédentarisés autour des zones où les conditions de vie sont moins précaires et où ils pouvaient tant bien que mal sauver une partie de leur bétail.

Les séries de sécheresses, ont laissé une empreinte évidente sur les milieux naturels ; elles ont entraîné la détérioration du couvert végétal ligneux et le bouleversement des activités socio-économiques traditionnelles. D'où une concentration des animaux près des points d'eau et par conséquent la destruction des pâturages et une généralisation de la sédentarisation des nomades. Ces répercussions socio-économiques de la sécheresse ont déjà été étudiées dans la première partie de ce travail. Il s'agit ici d'apprécier l'incidence de l'ensemble de ces mutations sur l'équilibre du milieu.

4.3. Les autres facteurs favorisant la sédentarisation.

Plusieurs facteurs ont contribué à la sédentarisation : comme les commodités de la vie moderne, les jeunes instruits ne veulent plus courir derrière les brebis !

Le rythme de ces fixations évolue en fonction des opportunités ou des grandes crises climatiques ou même sécuritaire (cas de la décennie noire).

La sédentarisation et la semi-sédentarisation ont aggravé le problème des défrichements ainsi que la concentration des troupeaux autour des habitations.

D'autres causes ont été qualifiées par **MEDERBAL K. (1996)** d'erreurs de politique économique : pour venir en aide à des éleveurs frappés par la sécheresse, l'état algérien en croyant bien faire a encouragé l'accroissement en important et en mettant à la disposition des pasteurs des quantités considérables d'aliments de bétail d'origine industrielles concentrés. L'alimentation étant disponible à un prix dérisoire, les pasteurs ont donc été encouragés à détenir des sureffectifs, là où il aurait fallu les réduire. *« Plus grave encore, en raison des super profits que l'activité génère, des spéculateurs citadins, qui n'ont jamais été pasteurs, investissent dans l'élevage et utilisent les services des bergers sans troupeaux. Certains observateurs, un peu sévères, ont dit, à ce propos, que "l'Algérie a subventionné la désertification des steppes" »K. MEDERBEL.*

D'autre part, les pratiques d'exploitation se sont modernisées. Elles permettent de labourer davantage de terres et de détenir des cheptels excessivement importants :

- Le camion ramène sur les parcours non seulement des concentrés mais aussi de la paille;
- L'accès aux soins vétérinaires permet de réduire la mortalité, alors qu'anciennement les disettes et les maladies jouaient un rôle de régulateur naturel ;

- Le camion citerne ou la citerne tractée, ramènent l'eau sur place. L'éleveur n'a plus besoin de se tenir à proximité des points d'eau.

L'ensemble de ces facteurs concourent à une augmentation vertigineuse du nombre d'animaux et à leur concentration dans des zones sévèrement surpâturées.

Le foncier pose de son côté un des problèmes majeur dans ce type de milieu steppique. Les terres sont statutairement restées collectives, ou sont devenues propriété de l'état qui accorde un droit de jouissance aux pasteurs. Etant donné que la terre appartient à tout le monde, elle n'appartient de fait à personne et il n'y a pas plus de lien entre le sort de l'exploitant et celui de la terre. Personne ne veut donc investir dans la préservation de l'écosystème ni même accepter d'imposer la discipline qu'exige une gestion rationnelle. Afin de trouver une solution à ce problème de foncier, l'échec de l'expérience tunisienne pour ce qui est des mises en valeurs des terres, notamment par des plantations d'oliviers, devrait être prise en considération. Du moment qu'il a été installé dans les zones de trop faible pluviosité, l'olivier ne donne qu'une récolte tous les huit ans. De ce fait, la plantation est plus un moyen d'obtenir un titre de propriété qu'une véritable mise en valeur.

5 - La mise en valeur dans les Hautes Plaines sud-oranaises un phénomène nouveau.

L'application de la loi 83/18 du 13/08/1983 relative à l'accession à la propriété foncière agricole (APFA) par la mise en valeur des terres agricoles a connu un début d'exécution au niveau de la wilaya de Naâma en octobre 1984

Dans les Hautes Plaines Sud oranaises, la politique de mise en valeur a eu un départ difficile, en particulier entre 1984 et 1991, parmi les 3 990 ha attribués, 43 % seulement ont été mis en valeur dans la wilaya de Naama. Cela pourrait s'expliquer par les contraintes climatiques, physiques et sociales, comme par exemple les séries de sécheresses connues dans la région et la vocation pastorale de la population steppique, pour laquelle l'agriculture est un phénomène nouveau dans cette zone.

En 2007, le total des terres mises en valeur a atteint 30 052 ha pour 8 339 bénéficiaires. Soit 15 fois le total des terres mise en valeurs pendant les années quatre-vingts. L'année 2007 a elle seule, a enregistré 1308 ha pour 449 personnes (Tableau 37).

Ces chiffres concernent les périmètres de l'APFA ; ceux des concessions agricoles sont encore loin avec seulement 1.830 hectares attribués et un taux de mise en valeur ne dépassant pas les 38.2%. Seuls les investisseurs privés ont pu mettre en valeur une grande partie des terres attribuées avec un taux frôlant les 85%. Il est clair que l'opération de l'APFA domine

par la superficie et par le nombre de bénéficiaires. La deuxième opération après l'APFA a été lancée récemment tout en essayant de tirer leçon de la première en changeant les conditions d'attribution des terres. Il faut savoir à propos des concessions agricoles c'est que la seule différence qui existe correspond à un correctif de la loi de l'APFA qui donne la propriété de la terre à l'exploitant ayant réussi à la mettre en valeur. En s'apercevant que le patrimoine foncier agricole était en train de se privatiser progressivement, l'Etat a rectifié le tir en confiant le droit de l'exploitation à l'exploitant pour une période de 99 ans, par contre, le droit de propriété revient au secteur public uniquement.

Tableau 37 : Répartition des terres mises en valeur agricole dans le cadre de l'APFA, par commune au 31/12/2007

	Superficies (Ha)		Nombre de bénéficiaires	
	Année 2007	Cumul	Année 2007	Cumul
Naâma	144	2478	52	722
Mecheria	0	2552	0	755
Ain-Sefra	745	5356	255	1663
Tiout	253	2416	82	638
Sfissifa	111	2331	46	656
Moghrar	0	741	0	269
Asla	0	2513	0	734
Djenien-Bourezg	0	451	0	219
Ain-Ben-Khelil	27	4265	5	1516
Mekmen-Ben-Amar	0	3286	0	306
Kasdir	10	869	1	135
El-Biodh	18	2794	8	726
Total	1308	30052	449	8339

Source: DSA

5 -1 - Le PNDA un programme ambitieux dans un milieu pastoral ?

Après le processus de libéralisation du secteur agricole dans les années quatre-vingts et quatre-vingts dix et sous l'impact des réformes structurelles et de la politique des prix (1994-1999), les conditions matérielles et sociales des petits exploitants (qui forment l'immense majorité dans les campagnes algériennes) se sont sans doute détériorées. Tout cela a conduit les pouvoirs publics à élaborer un Programme National de Développement Agricole (PNDA) à partir de 2000 (M. Hadeid 2006).

« S'il reste clair que le nouveau programme agricole n'opère pas de rupture avec le cadre économique libéralisé défini au début des années 1980, les orientations qu'il véhicule convergent essentiellement vers des objectifs de reconstruction du territoire agricole. Il participe à

une réhabilitation des fonctions régulatrices de l'Etat et relance le processus d'investissement interrompu en 1986 ». (O. BESSAOUD, 2002)

Le programme de *développement des zones steppiques* recherche une utilisation plus productive - et plus soucieuse de leur préservation à long terme - des 30 à 35 millions d'hectares que couvrent ces zones grâce à la réalisation de plantations fourragères, de mise en défens, de points d'eau et, surtout, à une meilleure gestion des parcours.

Malgré les nombreux programmes de développement initiés durant les trois dernières décennies pour tenter de mettre un terme au processus de dégradation des parcours en zones steppiques, ce processus s'est poursuivi et s'est même aggravé du fait d'une extension anarchique de la culture des céréales (spécialement de l'orge) avec application de techniques totalement inadaptées, destructrices des sols fragiles propres à ces zones et d'une augmentation irraisonnée de la charge ovine à l'hectare. Afin de tenter d'enrayer ce processus de dégradation tout en permettant le maintien de l'activité d'élevage dans de meilleures conditions de production, le P.N.D.A. cherche à promouvoir une gestion rationnelle des parcours sur la base d'un partenariat avec les populations locales et prend en charge diverses interventions techniques visant :

- la réhabilitation des parcours les plus dégradés par des plantations (objectif de 74 500 hectares) et des ensemencements pour leur régénération ;
- la protection préventive des parcours menacés de dégradation par la mise en défens (1 408 400 hectares ciblés) ;
- la densification du réseau de points d'eau destinés à l'abreuvement des cheptels afin de diminuer la pression exercée sur les parcours situés à proximité des points d'eau existants ;
- la multiplication d'ouvrages hydrauliques divers (" ceds", digues, mares, ...) pour augmenter les capacités de stockage des eaux d'épandage de crues.
- Le programme de mise en valeur de nouvelles terres

A eux seuls, les quatre premiers axes de développement définis par le P.N.D.A. ne pouvaient manifestement pas lever la contrainte exercée par l'insuffisance de la S.A.U. C'est pour cela qu'un cinquième axe a été retenu, celui de la mise en valeur de terres jusque-là insuffisamment ou pas du tout exploitées. **En zone steppique : environ 32 millions d'hectares dont 1,8 cultivés (5,6%).**

Les orientations contenues dans ce programme agricole visent principalement la reconstruction du territoire agricole, la protection des écosystèmes fragiles et la mise en valeur des terres à vocation agricole. Elles sont fondées sur les contraintes climatiques envers

l'agriculture, dont on avait longtemps négligé les effets. Néanmoins, ce programme vise à améliorer les revenus des agriculteurs par des soutiens financiers (à la culture des blés, à l'irrigation, aux actions de plantations, à la mise en valeur, à l'utilisation des biens favorisant l'intensification...). « *Ce programme est financé par le Fonds National de Régulation et de Développement Agricole qui a investi en 2001 près de 40 milliards de DA, soit 4 fois plus que la moyenne d'investissement au cours des années 1995-98 et 10 fois plus qu'au cours de la campagne agricole 1993. La mise en œuvre de ce PNDA présuppose la poursuite sur la longue durée du processus d'investissement, un tissu institutionnel (privé, public et coopératif) de qualité et une meilleure mobilisation des cadres techniques* ». (**O. BESSAOUD, 2002**)

Dans la steppe, le lancement du PNDA (Programme National de Développement Agricole) et de son fonds spécial qui a été ouvert pour financer les opérations de mises en valeur, a été si important aux yeux de la population pastorale qu'il a entraîné la multiplication des demandes d'accession à la propriété foncière agricole en vue de la mise en valeur. Ce programme est si ambitieux qu'il est derrière la multiplication des opérations de mise en valeur dans un milieu steppique qui n'est pas prêt, ni sur le plan physique, ni sur le plan humain pour contenir tous ces programmes (**M. HADEID, 2006**).

Le programme FNDRA (Fond National de Développement Rural) vise en premier lieu, la mise à niveau de l'ensemble des exploitations agricoles d'une part, et second lieu 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.

Après le lancement du programme PNDA, financé par le FNRDA depuis l'an 2000, les modalités de financement ont en quelque sorte changées. A présent, l'Etat ne donne pas de l'argent, mais finance des opérations telles que la construction de bassins de stockage d'eau, l'installation de matériel d'irrigation (goutte à goutte par exemple), le creusement et la réhabilitation de puits, la mise en place de brise-vent... Cette nouvelle procédure de financement a permis d'équiper un bon nombre d'exploitations et de périmètres, mais l'administration concernée par cette procédure favorise toujours les gens les mieux placés et les plus proches d'elle (Tableau 38).

Tableau 38 : Opération FNRDA: étude des dossiers par commune au 31/12/2007

Communes	Dossiers retenus		Investissements en DA	
	Totale	Année 2007	Totale	Année 2007
Naâma	321	11	269 262 713,00	5 515 000,00
Mecheria	528	6	243 890 677,00	3 150 000,00
Ain-Sefra	937	64	953 058 629,00	33 299 000,00
Tiout	267	19	401 916 523,00	11 549 500,00
Sfissifa	297	10	413 450 008,00	4 587 000,00
Moghrar	221	3	259 823 704,00	400 000,00
Asla	382	6	350 421 563,00	1 241 000,00
Djenien-Bourezg	94	5	102 828 266,00	600 000,00
Ain-Ben-Khelil	732	8	737 656 640,00	4 975 000,00
Mekmen-Ben-Amar	212	1	203 877 000,00	550 000,00
Kasdir	237	0	32 616 989,00	0,00
El-Biodh	330	2	358 168 110,00	1 020 000,00
Total	4 558	135	4 326 970 822,00	66 886 500,00

Source: DSA

5 – 2 - L'espace steppique en plein mutation.

Les zones pastorales ont toujours constitué une composante déterminante dans la stabilité de l'équilibre économique et social du monde rural. En effet, les parcours constituent une ressource naturelle pour le pâturage des animaux, offrent un habitat pour la faune sauvage, abritent des réservoirs d'eau souterraine, protègent les bassins versants et participent à la lutte contre la désertification.

A travers le temps, les parcours ont subi des changements (qualifiés de dégradation intense par plusieurs auteurs), en raison des transformations socio-économiques et des mutations des systèmes de production que connaît le monde pastoral. En effet, la conjonction de plusieurs facteurs a brisé l'équilibre : régression du nomadisme et développement de la sédentarisation, croissance démographique et augmentation des besoins de la population, réduction des meilleurs terres de parcours au profit des mises en valeur agricole, augmentation du cheptel et gestion incontrôlée des ressources naturelles. Cette situation est aggravée par la faiblesse de la pluviométrie, l'irrégularité des précipitations et la fréquence des périodes de sécheresse.

D'autre part la course à l'acquisition du territoire dans le cadre de l'accession à la propriété foncière a bel et bien contribué à la limitation des aires de parcours ; c'est par le biais de l'appropriation des terres, que les éleveurs marquent leur territoire.

Cette attitude d'appropriation des terres a eu des conséquences directes sur l'espace par la diminution des superficies pastorales au profit des surfaces défrichées et labourées, par l'augmentation de la charge des parcours et de ce fait l'accélération de leur dégradation. Sur le plan social, il s'agit de « *l'accentuation des inégalités sociales dues au fait que seul les*

éleveurs disposant de grands moyens peuvent faire face aux dégradations des parcours en agissant soit sur la constitution de stocks alimentaires, soit en se déplaçant dans des zones de parcours inaccessibles aux petits et moyens éleveurs ». (T. BERCHICHE, 2000)

Par ailleurs, la suppression du nomadisme, la mise en culture des terres de parcours et l'augmentation du cheptel, ont conduit à un surpâturage inévitable dans les Hautes Plaines Sud Oranaises. Les effectifs des ovins, bovins et caprins montrent une charge apparente relativement élevée et qui s'exerce sur cet écosystème fragile.

Ce phénomène a donné naissance à des paysages dunaires dans cet espace et à la stérilisation de milliers d'hectares de terres. Des investissements énormes sont consentis pour dégager les voies de communications (route, rail) et les centres de vies.

Les pressions humaine et animale croissantes sur le milieu naturel déjà fragile, ont aggravé le processus de désertification par :

- la mise en culture par des mécanisations abusives,
- le surpâturage qui est supérieur aux possibilités réelles des ressources pastorales,

Le cheptel actuel estimé à 1 million de têtes environ (*le total des ovins est probablement sous-évalué car basé sur les déclarations des éleveurs*) dans la wilaya de Naama uniquement et dont 90 % environ sont des ovins, paraît important par rapport à la capacité de support des parcours qui continue à subir toutes les conséquences du processus de désertification et d'ensablement dans la région (Tableau 39 & 40).

Tableau 39 : Répartition du cheptel par communes au 31/12/2007

Communes	Ovin	Bovin	Caprin	Equin	Camelin	Espèce mulassière	Espèce asine	Total
Naâma	66874	3850	4698	129	25	20	151	75747
Mecheria	30166	2330	2249	114	0	67	123	35049
Ain-Sefra	51777	2955	3729	85	79	79	412	59116
Tiout	46339	893	3333	81	0	39	232	50917
Sfissifa	74545	3188	5268	103	385	94	258	83841
Moghrar	18480	271	2244	51	317	41	186	21590
Asla	63010	1258	4472	137	0	68	191	69136
Djenien-Bourezg	10946	96	1514	20	0	50	96	12722
Ain-Ben-Khelil	130253	6036	9029	99	0	23	98	145538
Mekmen-Ben-Amar	107751	6130	7491	22	0	3	39	121436
Kasdir	137360	3979	5406	77	0	4	59	146885
El-Biodh	109079	6484	7547	232	0	110	307	123759
Total	846580	37470	56980	1150	806	598	2152	945736
%	89,52	3,96	6,02	0,12	0,09	0,06	0,23	100

Source : SDA

Tableau 40 : Répartition des éleveurs par communes 31/12/2007

Communes	Nombre d'éleveurs	%
Naâma	657	10,43
Mecheria	234	3,72
Ain-Sefra	516	8,19
Tiout	295	4,68
Sfissifa	863	13,70
Moghrar	137	2,17
Asla	664	10,54
Djenien-Bourezg	60	0,95
Ain-Ben-Khelil	1107	17,58
Mekmen-Ben-Amar	365	5,80
Kasdir	586	9,31
El-Biodh	813	12,91
Total	6297	100

Source : SDA

Du point de vue intensité d'exploitation on peut distinguer deux types de parcours dans la région :

- Les parcours sous exploitation permanente et à haute charge. Ce sont les terrains autour des zones d'habitation sur environ 4-5 km.
- Les parcours sous exploitation irrégulière et à charge « réduite ». Ce sont les terrains, qui sont éloignés des zones d'habitation et exploités d'une façon « nomade ».

Ce système d'élevage sédentaire, demeure et contribue pour la plus grande part à une dégradation de la couverture végétale de ces surfaces, remobilisant des sables qui étaient jusqu'alors piégés dans les sols.

« Pour ne pas trop épuiser les animaux, un berger ne peut guère s'éloigner de plus de 15 kilomètres d'un point d'eau : les alentours des puits sont donc intensément piétinés et l'érosion éolienne contribue à la dégradation de ces pâturages » (Couderc, 1975).

D'après Nedjraoui, 2002, en 1968, la steppe était déjà surpâturée, la charge pastorale réelle était deux fois plus élevée que la charge potentielle. Malgré les sonnettes d'alarmes tirées par la société pastorale de l'époque, la situation s'est en fait aggravée. En 1998, les parcours se sont fortement dégradés, la production fourragère a diminué de moitié et l'effectif du cheptel est 10 fois supérieur à ce que peuvent supporter les parcours. Cet état des choses résulte de la demande soutenue et croissante de la viande ovine en relation avec la croissance démographique, par la haute rentabilité de l'élevage en zones steppiques du fait de la gratuité des fourrages. Le maintien artificiel d'un cheptel de plus en plus important et le défrichage

pour la culture des céréales ont donné lieu à la situation désastreuse que connaît la steppe aujourd'hui.

Même si cela n'a pas eu beaucoup d'effet sur la transformation du paysage steppique, du fait qu'elle soit très localisée dans cet espace vaste. Il y a lieu de citer, la part de la protection et la mise en valeur des parcours steppiques sont menées à travers des programmes de mise en défens et d'amélioration pastorale financée de façon mixte sur les opérations du budget d'équipement de l'Etat (Direction Générale des Forêts et Haut Commissariat au Développement de la Steppe). Au cours de la période 1999-2000, tous ces programmes ont permis la réalisation d'environ 40 000 ha d'amélioration pastorale (principalement plantations d'arbustes fourragers) dont environ 88 % par le HCDS, 3 % par le service des Forêts et 9 % par les agropasteurs bénéficiant de concessions réalisées par la Générale des Concessions Agricoles ainsi que la mise en défens de presque 1,5 millions d'hectares (dont 98 % par le HCDS et 2 % par les Forêts). En outre, le HCDS a réalisé et/ou équipé en 2000 un certain nombre d'ouvrages d'hydraulique pastorale sur l'ensemble des zones steppiques (forages, mares, "djboubs", captage de sources, "ceds"), ces ouvrages étant complétés par ceux réalisés dans le cadre du programme de mise en valeur par la concession.

Malgré ces réalisations, la sauvegarde à long terme des zones steppiques reste encore problématique du fait que le statut juridique des parcours autorise de facto leur utilisation minière. Même les zones d'amélioration pastorale et celles de mise en défens ne se pérennisent pas à cause de l'incapacité des autorités locales communales (auxquelles le HCDS remet les superficies travaillées ou mises en défens) à les gérer de façon à en assurer le maintien durable, bien que les communes perçoivent 30 % des droits de pacage prélevés sur les usagers de ces zones. Globalement, la résolution de ce problème semble passer - compte tenu des conflits épisodiques mais récurrents pour l'usage des parcours - par la concession des terres de parcours aux ménages (ou à des groupes restreints d'usagers) vivant effectivement sur les parcours et pratiquant l'élevage pastoral. Une telle solution ne pourra être cependant appliquée que si elle obtient un consensus clair des usagers locaux.

CONCLUSION.

La steppe qui était une région à paysage « ouvert » se transforme peu à peu en un milieu cloisonné (parcelles de mise en valeur avec ou sans clôtures, divers réservoirs d'eau particuliers et ceux de l'HCDS accompagnés d'abreuvoirs et d'éoliennes à énergie solaire), murets en pierre délimitant des zones de mise en défens, routes et pistes diverses ainsi que des maisons en dur qui commencent à apparaître dans le paysage à partir de 2000. Autant d'obstacles sur une zone très venteuse. Ce milieu pastoral se transforme peu à peu en milieu agricole avec des cultures en irrigué et un élevage plus diversifié, avec l'introduction de bovins. En même temps, l'urbanisation se développe, avec la création de ville, comme Naama en 1985 et le développement de petits centres ruraux comme El Kheiter et Bougtob et de cités anciennes comme Méchéria ou Ain Sefra. Les pasteurs se sont ainsi transformés en agriculteurs ou en éleveurs résidant dans des maisons en durs, en milieux urbains, la mécanisation des transports ayant eu pour conséquence la diminution (voire l'absence) de déplacement des hommes : le cheptel est amené au parcours par camions sous la garde de plusieurs bergers. Les parcours atteints sont de plus en plus éloignés du lieu de résidence des éleveurs : les espaces à « herbes » vont être leur convoitise ; les plus « rapides » d'entre eux à les atteindre (l'information circulant plus facilement grâce aux téléphones mobiles) s'imposeront sur le terrain d'autant que l'organisation tribale ne fonctionne plus aussi bien qu'auparavant et l'administration est souvent plus lente ou plus prudente à réagir. Ainsi, la steppe est sillonnée constamment de camions type JAK ou autres, plus modernes, chargés en moutons déposés le matin et rechargés le soir. Ce fait accentue ou aggrave, s'il ne le déclenche pas, les processus érosifs sur la steppe : les traces ou ornières laissées par ces engins sont autant de ravins potentiels ou de petits couloirs orographiques canalisant les vents au sol et accentuant ainsi, les phénomènes de déflation. Les populations de ces zones steppiques des Hautes Plaines sud oranaises ressentent l'ensablement de leur région comme un phénomène récent.

II - ETUDE DE QUELQUES CAS D'ENSABLEMENT.

Le rôle primordial des infrastructures dans tout développement économique et humain, n'est plus à démontrer. Cependant pour que celles-ci soient rentables, les impacts ou incidences environnementaux sont à prendre en compte, surtout en présence de milieux fragilisés, dégradés ou se trouvant dans un processus de dégradation évolutif. C'est le cas de divers projet d'aménagement lancés dans les Hautes Plaines Sud Oranaises. La plupart de ces projets, ont été planifié sans tenir compte de ces « changements » d'où des problèmes techniques liés à la réalisation des travaux et des risques engendrés par l'ensablement quasi quotidien des différents aménagements et notamment :

- L'envahissement des habitations par le sable
- Le recouvrement par le sable des voies de communication (pistes, routes et voies ferrée)
- L'ensablement des terres mises en valeur, des puits, des abreuvoirs et des réseaux d'irrigation (bassins, canaux).
- Les dépenses récurrentes pour le désensablement.

En effet, la grande mobilité des accumulations sableuses et des particules limono-sableuses engendre le risque : tout obstacle sur leur trajectoire entraîne un dépôt. On peut citer : des risques d'accidents de voiture fréquents, une voie ferrée moderne inutilisable, des habitations ainsi que des exploitations et des infrastructures agricoles ou hydrauliques en partie ou totalement ensablées.

Une dizaine de sites, parmi les plus critiques et les plus vulnérables ont été étudiés, dans les Hautes Plaines Sud Oranaises.

2- 1 - Cas des terrains de parcours :

Les images satellitaires ou celles de Google Earth, montrent bien l'état dégradés des terrains de parcours dans les Hautes Plaines Sud Oranaises (Fig. 53). Les surfaces autrefois couvertes par la végétation sont actuellement remplacée par de grandes étendues de sable. Cela est la conséquence des sécheresses récurrentes depuis plusieurs décennies et d'une surcharge pastorale qui débouche sur un surpâturage abusif. Les terrains de parcours connaissent pendant plusieurs années une situation tragique, suite aux accumulations sableuses de diverses formes. Il s'agit, de sable « libre », dans sa forme la plus discrète ainsi que de grandes accumulations sableuses, couvrant ainsi des centaines de milliers d'hectares. Les chiffres données plus haut, montrent que plus de 70% (soit environ 901 920ha) des surfaces sont ensablées, mais à des degrés différents (Fig. 54). Une bonne partie des parcours est recouverte par les nappages sableux et les accumulations sableuses dont l'épaisseur est inférieure à 2 m. Ce sont

surtout les accumulations épaisses qui ne donnent pas vraiment une chance à une régénération de couvert végétal vu l'épaisseur importante des sables.

Mis à part la bande frontalière, qui est protégée par les gardes de frontière, la superficie des parcours dans la les Hautes Plaines Sud Oranaises, connaît un recul très inquiétant face à une extension de l'ensablement.

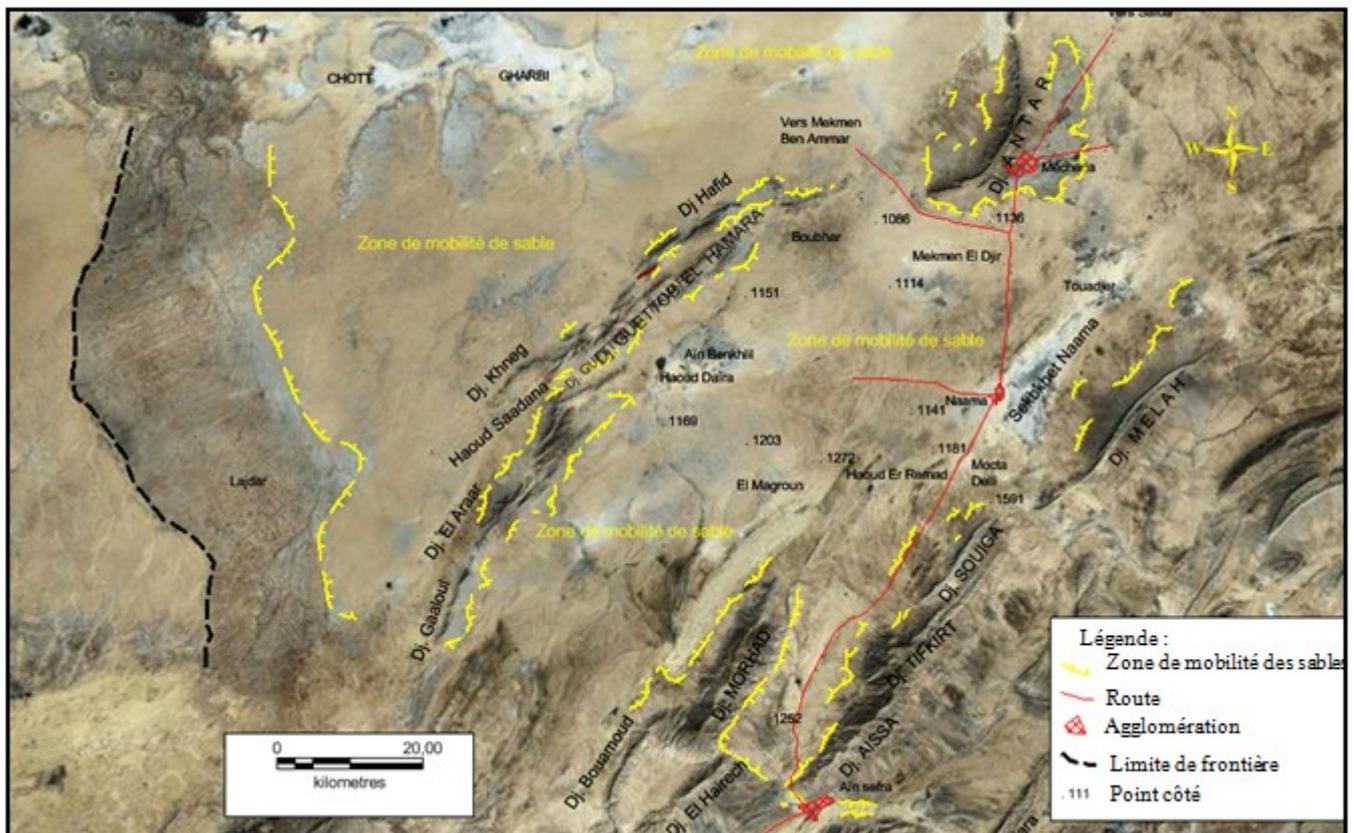
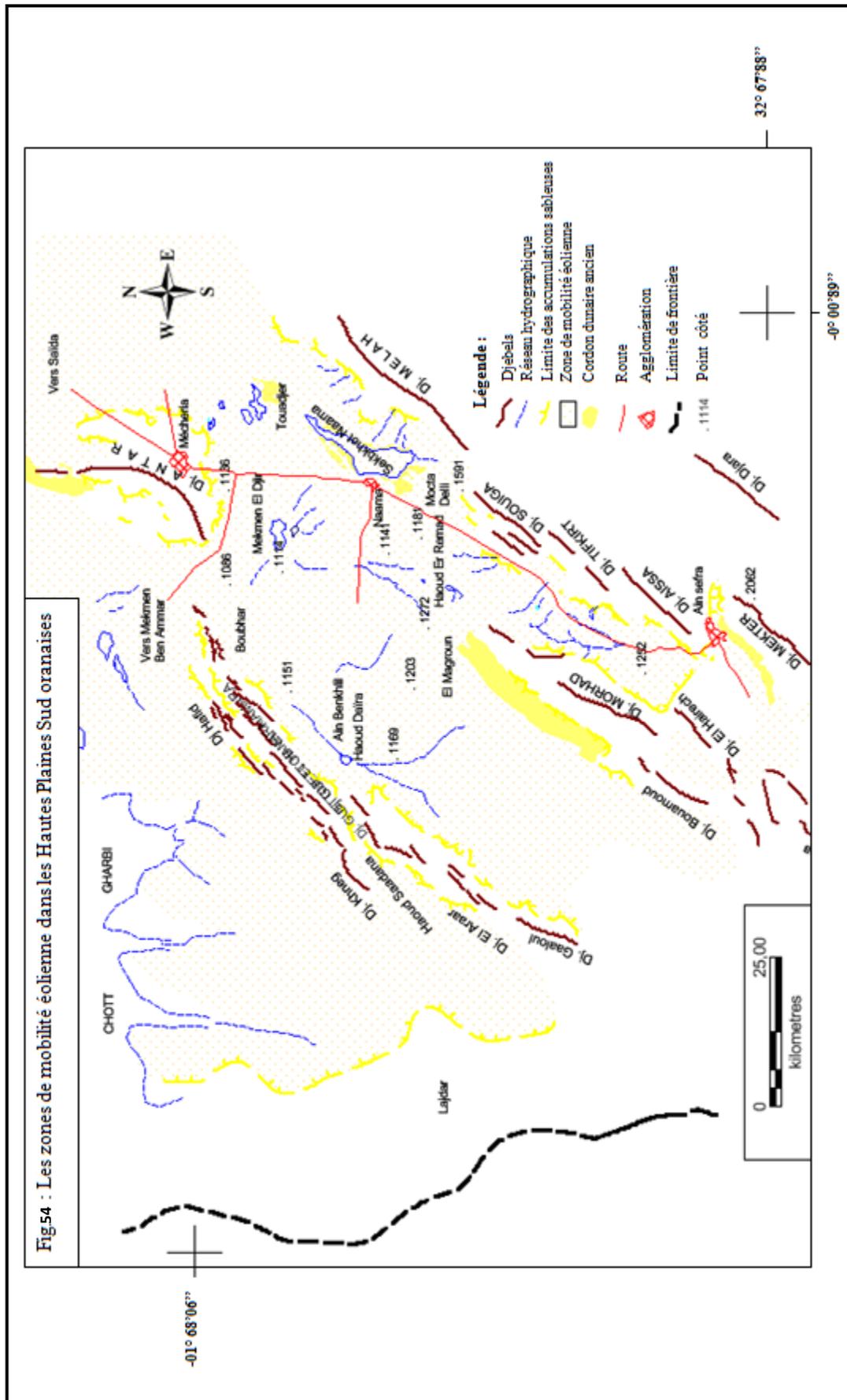


Fig. 53 : Les zones concernées par la mobilité des sables d'après Image Google 2010



2 -2 - Cas des exploitations agricoles :

Des dizaines d'exploitations agricoles, réparties sur le territoire de la wilaya de Naama, sont concernées par le phénomène d'ensablement. Certaines exploitations sont complètement ensablées et par conséquent, souvent abandonnées. D'autres sont en voies d'ensablement ou menacées par l'ensablement (Fig. 55).

Dans cette étude de cas, nous prendrons l'exemple de trois sites d'exploitations agricoles : le site de Touadjer, où une grande partie des exploitations ont été abandonnées ; le site de Hassi er Rezaïna où l'ensablement fait des ravages au niveau des exploitations et le site de Roudassa où la mise en valeur agricole trouve ses limites face aux sables envahissant les parcelles d'exploitation.

Notre enquête effectuée sur le terrain et complétée par des données et des informations auprès des services agricoles de la wilaya de Naama, nous a permis d'établir un bilan approximatif sur le programme national de développement agricole (Tableau 41). La commune d'Aïn Benkhilil qui englobe Hassi Rezaïna, Hassi Rezaïna Nord et Hassi Rezaïna Ouest, détient la première place des terrains attribués pour la mise en valeur avec 791 Ha réparties sur 388 exploitations, seulement 171 sont en activité, par contre le reste des exploitations ont été abandonnées. Le taux d'ensablement dans ces périmètres avoisine les 80 %. C'est la commune de Touadjer qui vient en seconde position avec 487 Ha des terres sont destinées à la mise en valeur agricole, soit 150 exploitations. Ici la plupart des exploitations sont ensablées, on enregistre un taux de 91 %, mais seulement le tiers des exploitations a été abandonné. Dans la localité de Roudassa, 296 Ha ont été attribuées réparties sur 88 exploitations. Le taux d'ensablement a atteint 45% et le nombre des exploitations abandonnées a atteint 20 exploitations.

Tableau 41 : Bilan des états des exploitations agricoles attribuées dans le cadre du PNDA

Commune	S (Ha)	S/E (Ha)	Nb. d'Expl.	Nb. Expl. Ab.	S Ab. (Ha)	S ensb. (Ha)	Tx ensb. (%)
Fritisse	16	2	8	3	6	13,7	86
Roudassa	296	2 à 5	88	20	80	133	45
Touadjer	487	3 à 5	150	43	172	443	91
Hassi Rezaïna	280	2 à 5	140	67	128	238	85
Hassi Rezaïna Nord	318	3 à 5	155	12	32	175	55
Hassi Rezaïna Ouest	193	3 à 5	93	38	79	168	87

(mars 2008)

S : Superficie des exploitations attribuées par commune en hectare

S/E : Superficie par unité d'exploitation

Nb. Expl. : Nombre d'exploitation

Nb. Expl. Ab. : Nombre d'exploitation abandonnée

S Ab. : Superficie des exploitations abandonnée

S ensb. : Superficie des exploitations ensablée et en voie d'ensablement en hectare

Tx ensb. : Taux d'ensablement

- Le site de Touadjer :

Parmi les exploitations agricole rencontrées ici, certaines datent de l'époque de la révolution agraire et d'autres sont attribuées dans le cadre du plan national de développement rural (Image 4).

Ces zones se caractérisent par l'ampleur du phénomène d'ensablement, elles sont ouvertes de tous côtés aux influences du désert (Fig. 56). L'exemple le plus connu, concerne la localité de Touadjer, où toute une exploitation agricole datant de la révolution agraire est enfouis sous le sable (Photo 18).

Les exploitations sont situées en grande partie dans une cuvette assez large, orientée S/N. Cette zone est située à environ 3500 m au nord de Sebkhate Naama. Rappelons que les bordures de cette dernière sont occupées par un grand champ de dune en aklé et de barkhanes. Les exploitations agricoles, sont en majorité enfouies sous le sable qui forme des dunes en tas, assez épaisse (> 50 cm) et des barkhanes dont la hauteur varie entre 1 m et 1m 50 (Photo 19). Le périmètre de Touadjer est actuellement une zone délaissée, l'ampleur du phénomène d'ensablement a atteint des proportions considérables, et les exploitations agricoles sont vouées à l'abandon.

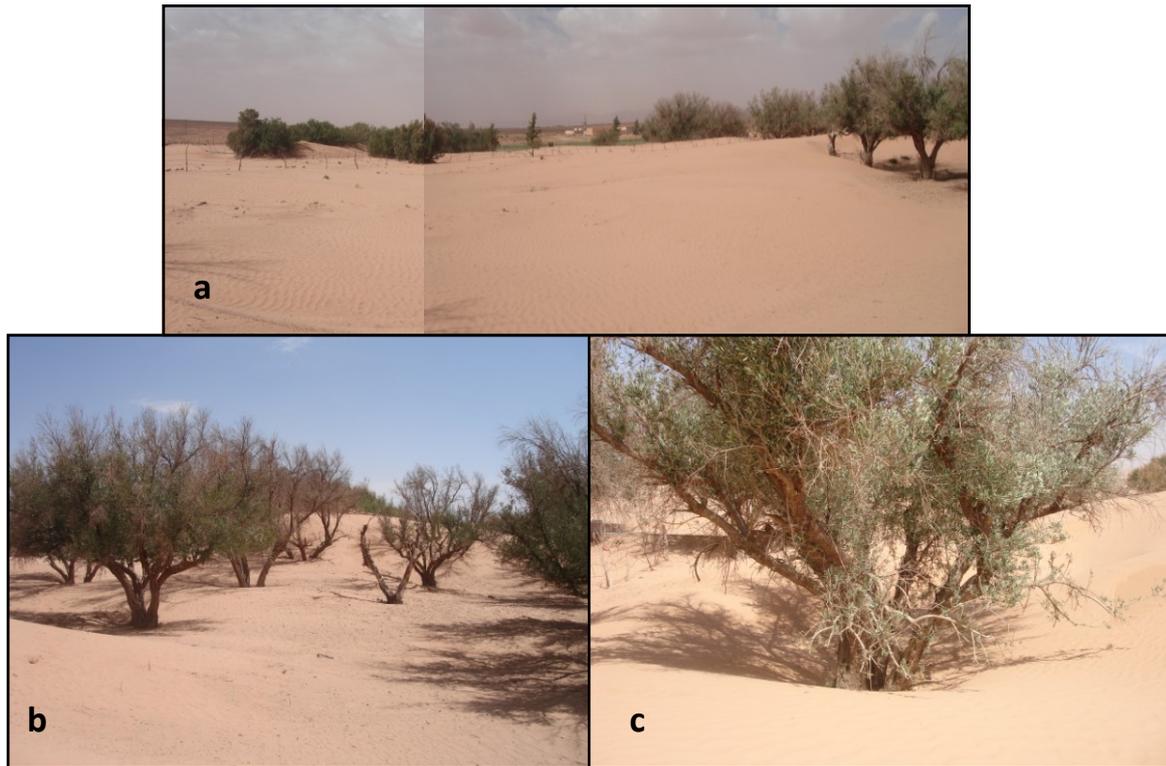


Photo 18 : Exploitation agricole datant de l'époque de la révolution agraire à Touadjer. a : Vue d'ensemble de l'exploitation (l'amas sableux couvre toute l'exploitation, son épaisseur peu dépasser les 3 m dans certains endroits ; b : beaucoup d'olivier ont péri face à cette situation ; c : l'olivier est pratiquement enfoui dans le sable.

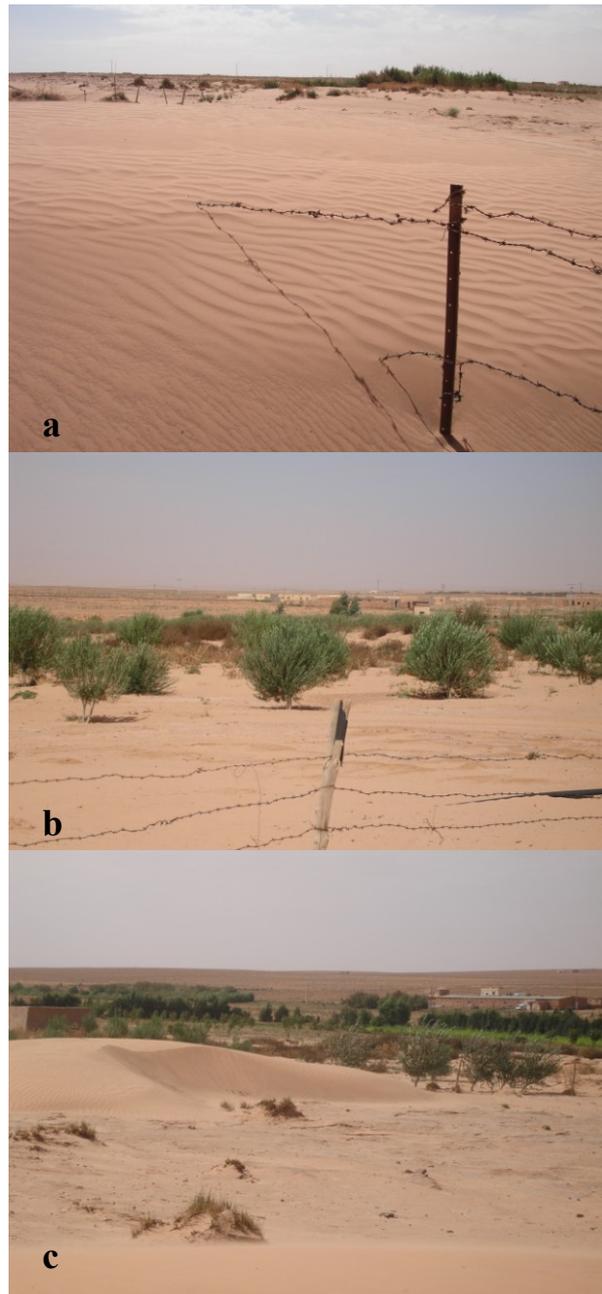
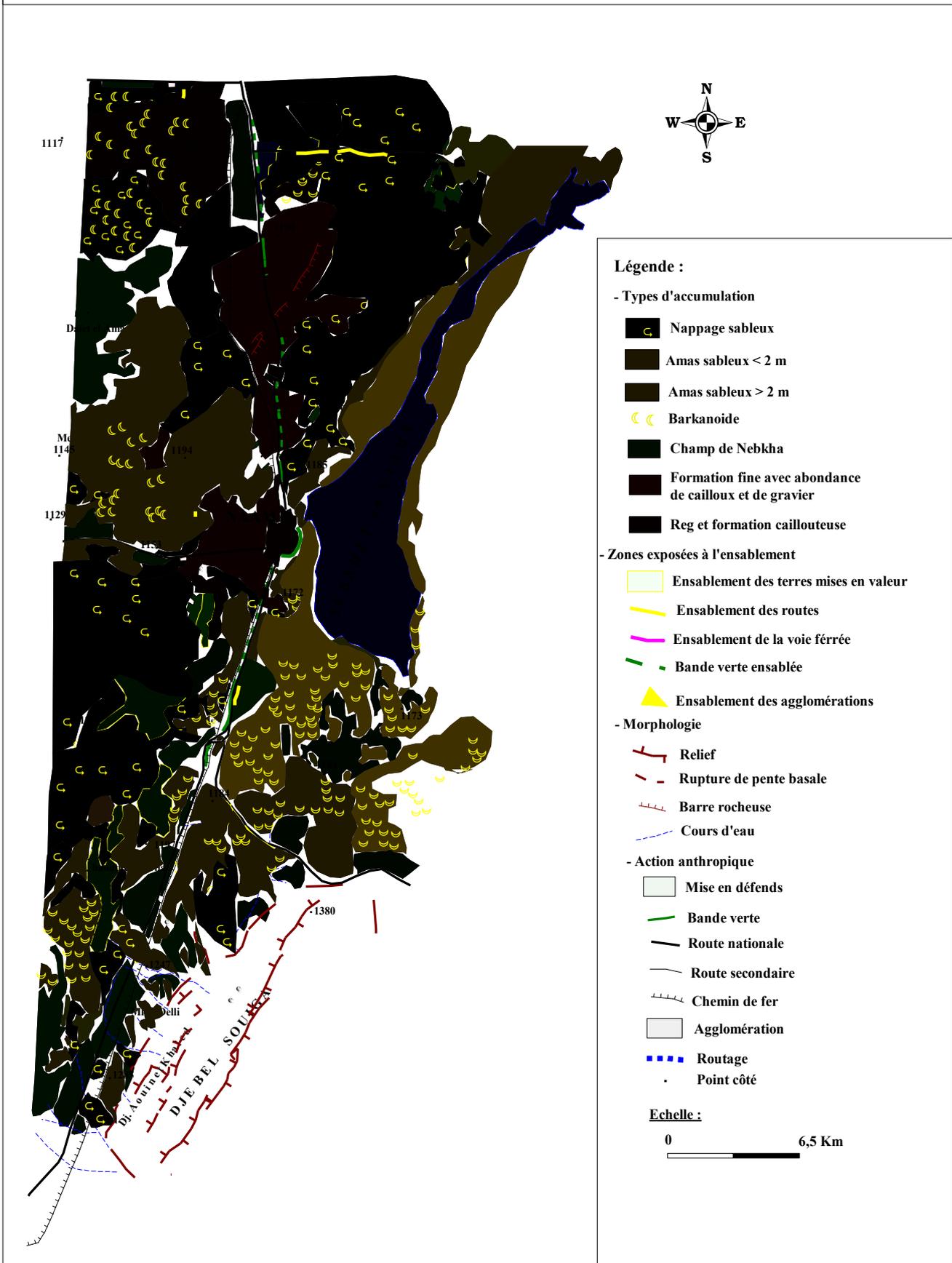


Photo 19 : Exploitation agricole (Touadger) : a : L'exploitation est complètement ensablée. Elle est abandonnée ; b : L'arboriculture est en difficulté face au problème d'ensablement ; c : La Barkhane en direction du secteur nord, orientée vers les terres agricoles.

Fig. 55 : La dynamique éolienne autour de l'agglomération de Naama et les zones exposées au risque d'ensablement (établi à partir de l'image satellitaire Aster Juin 2008).



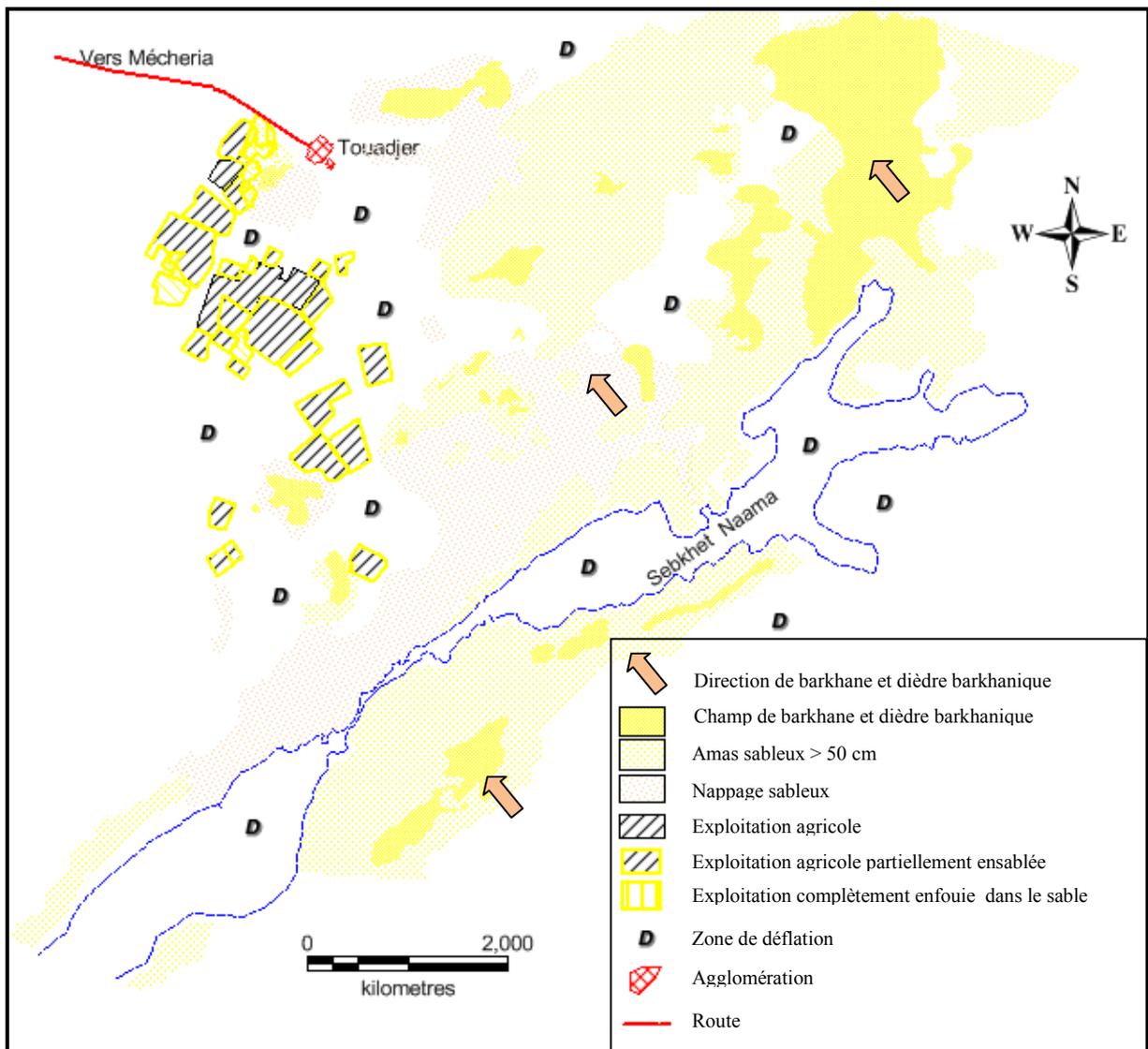


Fig. 56 : L'effet de l'ensablement sur les exploitations agricoles de Touadjer.

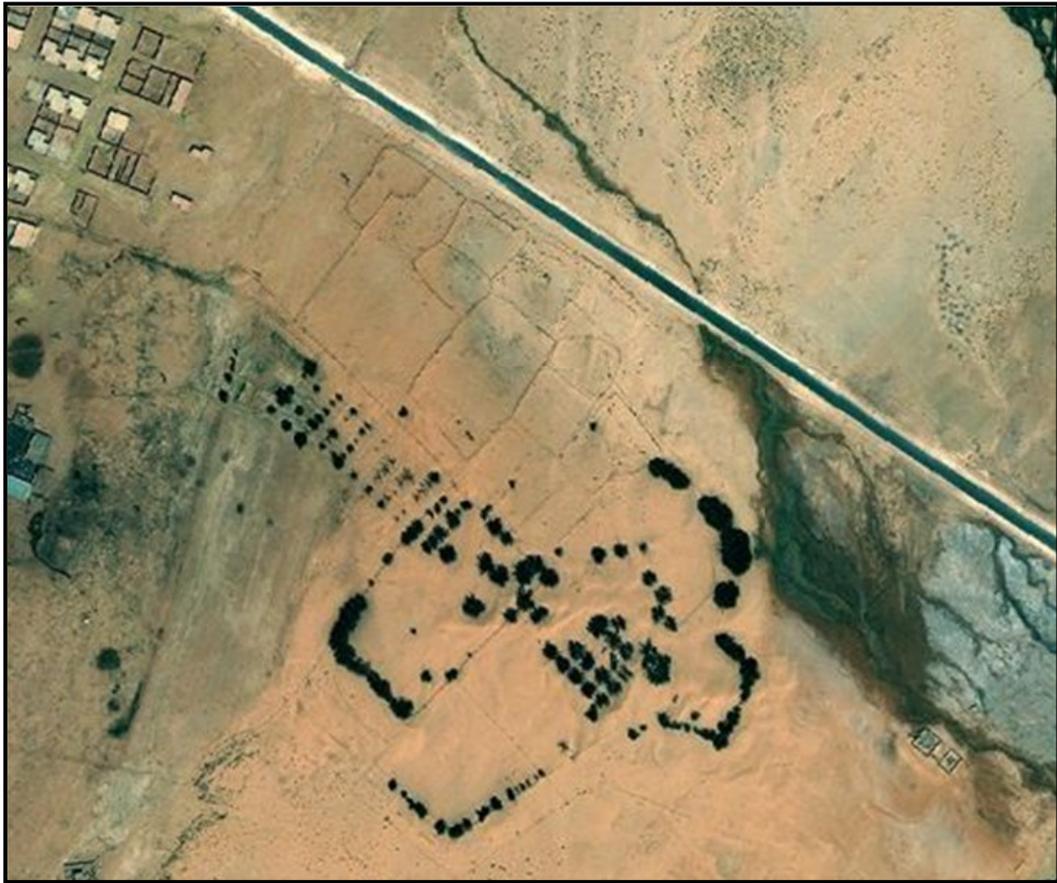


Image 4 : Exploitation agricole située à Touadjer et datant de la révolution agraire enfouie complètement sous le sable (tirée de Google Earth 2010)

- **Le périmètre de Roudassa**, est situé à l'est de Mécheria, à environ 9 km. Les exploitations agricoles sont sur le côté droit de la route qui mène à Tousmouline (wilaya d'El Bayadh). Les terres mises en valeurs dans cette localité sont nombreuses. Ce sont des terres, situées sur de vastes plaines ouvertes où le bénéficiaire de l'exploitation est confronté à un sol à croûte calcaire. De ce fait, et à fin de pouvoir cultiver ces terres, l'action de défoncement de la croûte calcaire est indispensable, ce qui explique l'existence de champs de pierres (Photo 20). Dans la localité de Roudassa, on n'observe pratiquement pas d'accumulations sableuses, mais il suffit qu'un obstacle soit installé pour que le sable s'accumule. Ceci dit, ces exploitations, constituent une barrière devant le sable qui transitait par cette zone. (Photo 21 & Fig. 57). De plus des roseaux qui sont édifiés en tant que brise vent pour protéger les exploitations agricoles, la croûte calcaire défoncé est aussi utilisée comme clôture de ces parcelles. Elle constitue un mur imperméable, favorisant ainsi l'accumulation du sable qui va par la suite envahir les terrains cultivés.

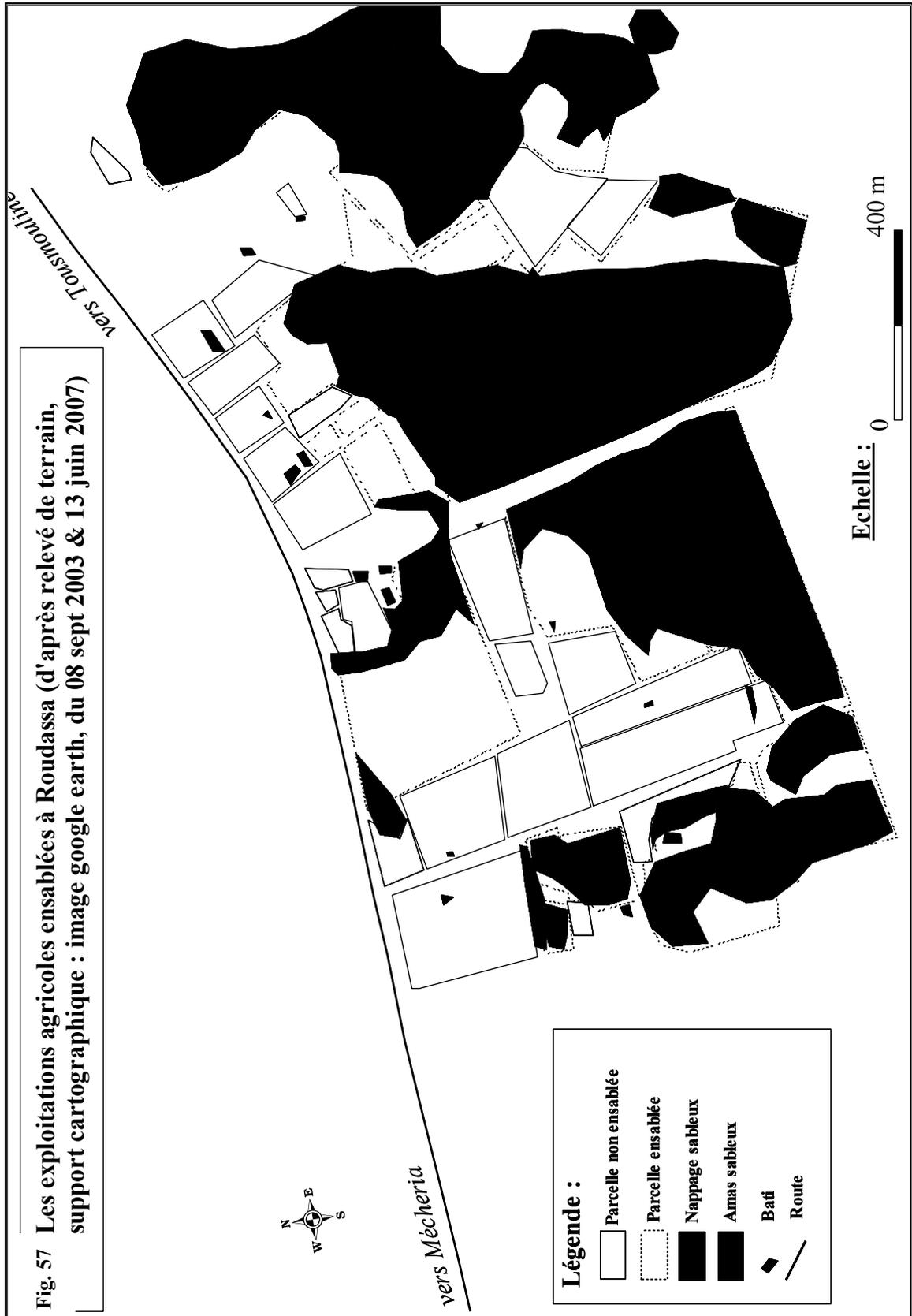




Photo 20 : Les terres sont devenues de véritables champs de pierre après l'action de défoncement de la croûte.

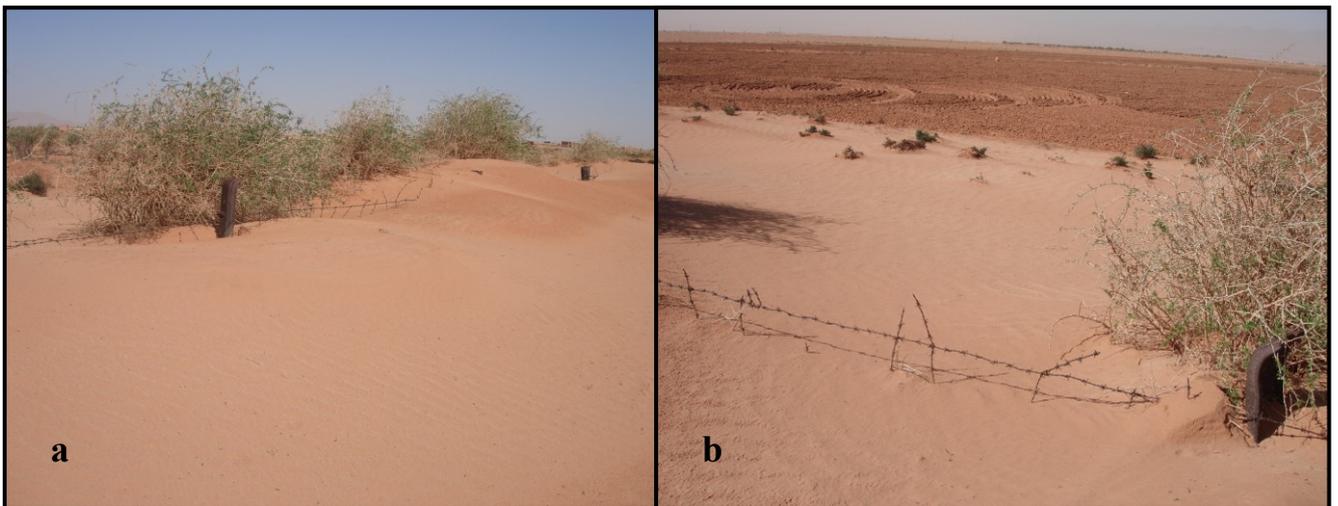


Photo 21 a et b : Les haies de clôture pour les exploitations constituent un obstacle aux vents chargés de sables. Ils sont favorables à l'accumulation sableuse et par conséquent active l'ensablement des terres agricoles.

- **Le site de Hassi er Rezaïna** : C'est un périmètre situé à l'ouest de la ville de Naama et au nord est d'Aïn Benkhelil (il fait partie de la commune d'Aïn Benkhelil) (Fig. 58).

A l'inverse et à l'opposé des autres exploitations, on peut dire que le périmètre de Hassi Rezaïna, illustre un cas très particulier d'ensablement dans les Hautes Plaines Sud Oranaises par :

- sa situation marginale où le matériel sableux naturel est abondant.
- les directions d'ensablement qui sont uniformes et identiques sur l'ensemble des exploitations.

- l'immensité des accumulations sableuses, situées aux alentours des exploitations agricoles.

- et enfin par l'étendue considérable de ses surfaces ensablées.

Ce périmètre s'étire sur 3 km, au nord ouest du village d'Aïn Benkhelil, avec une superficie globale de 515,5 ha. Il est composé de plusieurs exploitations agricoles.

Le périmètre de Hassi Rezaïna fait face aux vents de provenance du secteur Sud-Est et Sud-Ouest. Ce périmètre est soumis à de grandes menaces et dégâts d'ensablement : les apports sableux de Haoud Saadana et des glacis qui les entourent, balayés constamment par les vents de SW et de SE, la déflation intense qui s'exerce sur les alluvions. Tout cela a provoqué l'édification de formes dunaires variées, qui ont complètement ensablée les parcelles d'exploitation et les bassins destinés à l'irrigation.

Parmi les points les plus critiques de ces exploitations, le secteur Sud-Est où les surfaces dépassent les centaines d'hectares, est considéré comme la partie la plus ensablée et la plus exposée aux risques d'ensablement. Sur l'image Google Earth, on peut observer un front dunaire en progression du Sud-Est, des dunes en aklé et des chapelets de barkhanes et de sifs, progressant à l'ouest vers l'intérieur des exploitations. Les barkhanes sont nombreuses et volumineuses. Elles ont des dimensions assez grandes, certaines dépassent 4 m de hauteur et 50 m de largeur. Ici, les barkhanes sont toujours orientés vers le secteur nord.

Dans ce périmètre, les exploitations agricoles sont nombreuses et sont pratiquement toutes menacées par l'ensablement. Plus de 75% des terres mises en valeur (soit 326,6 ha) sont ensablées. Les 15 % des terres restantes (soit 188,9 ha), même si elles ne connaissent pas de sérieux problème d'ensablement, restent exposées à ce risque. Il faut noter, qu'un nombre non négligeable d'exploitation a été abandonné, en raison du problème d'ensablement. Les exploitations agricoles sont tour à tour envahies par le sable, du sud vers le nord. Les statistiques ramenées de chez les services agricoles de la wilaya de Naama, et d'après la loi qui stipule l'annulation d'attribution de terres pour la mise en valeur en cas d'échec ou d'absence d'exploitation pendant les cinq années d'attribution, 38 seulement de contrats d'attribution ont été annulés parmi les 255 contrats initialement attribués. Soit 80 ha des terres qui ont été restitués par la wilaya. Il faut souligner, que lors de notre passage auprès des services agricoles, plusieurs contrats d'attributions étaient en instance d'annulation. Car toutes les décisions d'attribution datant à partir de l'année 2003, n'ont pas été prises en considération, du moment qu'elles n'avaient pas encore les cinq années réglementaire. Pour cela, il est possible qu'il y soit de grandes surfaces dans ce périmètre de Hassi Rezaïna, proposées à l'annulation de leur contrat d'attribution.

Dans ce périmètre, plusieurs bassins érigés pour l'irrigation, se trouvent actuellement isolés entre les dunes et témoignent des différentes mises en valeurs agricoles qui n'ont jamais vu le jour (Photo 22).

Les exploitations agricoles « opérationnelles » c'est-à-dire cultivées, sont toujours exposées au risque d'ensablement.

Dans ces exploitations, il y a une dominance des cultures maraichères et en second lieu de l'arboriculture fruitière (l'abricotier est le plus utilisé).

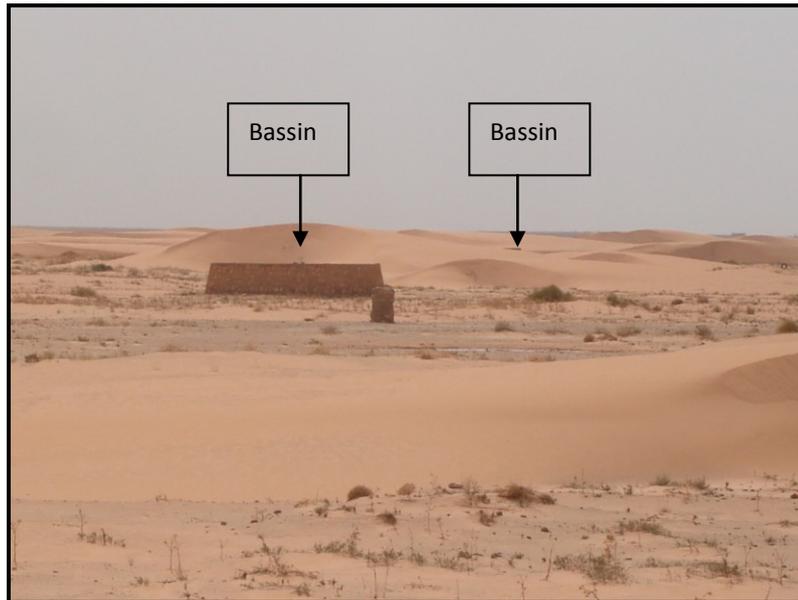


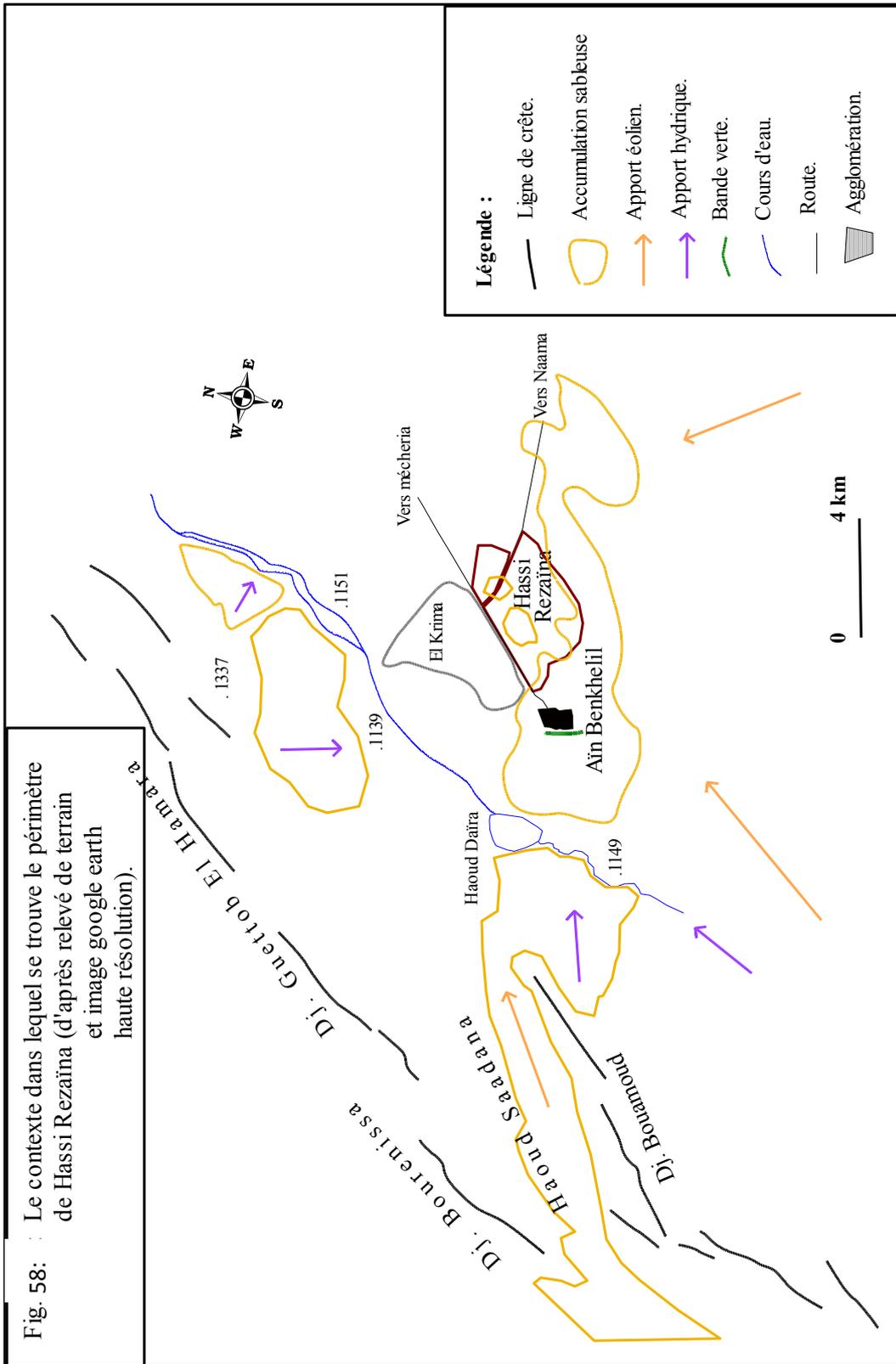
Photo 22 : La partie sud de Hassi Rezaïna : un champ de barkhane menace en permanence les exploitations agricoles.

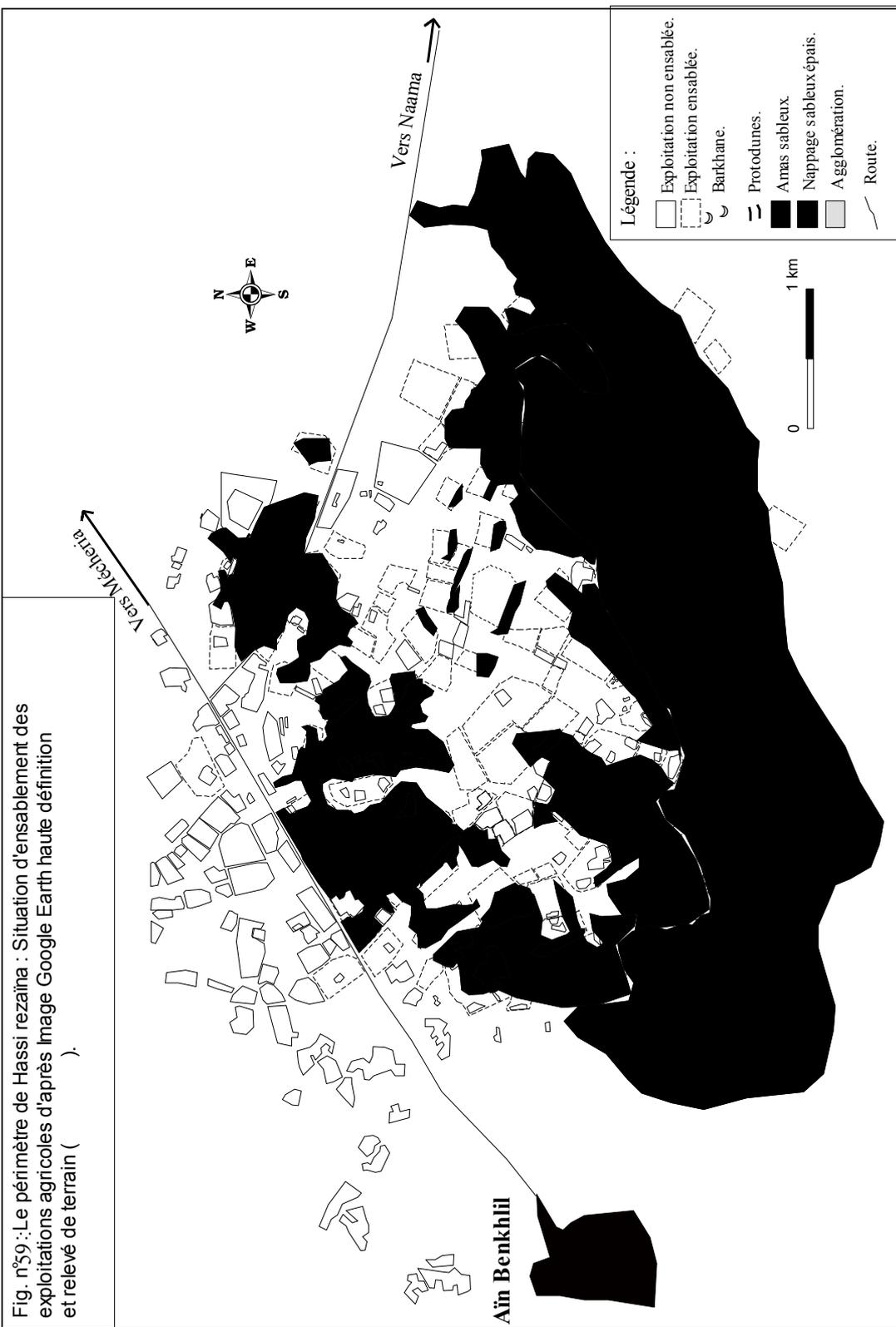
Les paysans sont en lutte permanente contre les accumulations sableuses qui viennent envahir leurs terres et leurs productions. Devant ce pénible travail et qui souvent ne donne pas de résultats, les paysans sont contraints d'abandonner leurs terres aux champs de dunes qui occupent cette zone (Fig. 59 & Photo 23).



Photo 23 : Hassi er Rezaïna : (a) : Exemple d'une exploitation agricole récemment envahie par le sable ; (b) : toute une production de potiron enfouie sous le sable a périe.







2 – 3 – Cas des voies de communications.

Le réseau routier de la wilaya de Naama et la voie ferrée dont le tracé est parallèle à l'axe principal ont un risque d'ensablement journalier sur 30 % au moins de leur longueur. C'est dire le danger occasionné au transport et communication routière et ferroviaire et ce, tous les jours et donc toute l'année.

- Les axes routiers :

Les axes routiers de la wilaya, sont souvent coupés par les sables, qui viennent barrer les routes à chaque fois qu'un vent dynamique ($>$ à 4m/s) souffle dans la région. Ces routes, sont dans la plus part des cas situées dans une zone soit de transit de sable, soit sur un axe perpendiculaire aux champs de dune.

La route Ben Ammar – Mécheria et celle de Ben Ammar – Aïn Benkhelil : La présence des accumulations sableuses importantes (nappage sableux et dunes barkaniques) tout au long des deux routes, les exposes souvent au risque d'ensablement.

La route Aïn Benkhelil – Naama : Cette route est souvent barrée par la présence de sable qui vient s'accumuler sur la chaussée. Cela est dû, à l'existence d'une importante couverture d'amas sableux, en particulier sur le côté sud de la route (Photo 24).



Photo 24 : Route d'Aïn Benkhelil, souvent barré par les accumulations sableuses.

Le bull dégage la route presque tout les deux trois jours.

La route de Touadjer : Le train barkhanique observé sur le côté sud de la route, ainsi que les amas sableux longeant toujours du même côté la route de Touadjer, font que celle-ci est souvent barrée par le sable (Fig. 60).

La route d'Asla : Celle-ci se trouve au milieu d'un champ de dune (dont la plupart des cas des barkhanes), elle est donc menacée par les accumulations sableuses qui viennent se poser sur la route.

La nouvelle route de Tiout : (Photo 25, Fig. 61 et Image 5 & 6)

Contrairement aux autres routes, elle n'a pratiquement jamais fonctionné. Depuis sa réalisation en l'an 2000, pour servir de raccourci pour les voitures en provenance d'El Bayadh et se dirigeant vers Béchar, cette route n'a jamais été fonctionnelle à 100%. Elle a été réalisée perpendiculairement à un grand champ de dune, constitué essentiellement de sifs, connues sous le type de dunes en aklé. Ce champ de dune est orientée WSW / ENE, avec un déplacement progressif vers le secteur ouest. En absence d'un trafic régulier et permanent, elle est presque tout le temps barrée par le prolongement des dunes.

Sur la photo n°12-1, 6 ans après sa réalisation, la route connaît toujours des problèmes d'envahissement de sable. En mai 2006 (Photo n°23-2), juste après la pose d'une nouvelle couche de bitume, le sable de la chaussée a été déblayé. Sept mois après, en octobre 2008, la route est de nouveau barrée par des dunes longitudinales assez épaisses (>1m50), toujours selon la même direction, c'est-à-dire d'ouest vers l'est.



Photo 25 : Route de Tiout réalisée en l'an 2000 : **1** : en mai 2006 ; **2** : en mars 2008 ; **3** : en octobre 2008.

Fig.60 : Croquis montrant l'activité éolienne face à l'anthropisation (le cas de Touadjer)

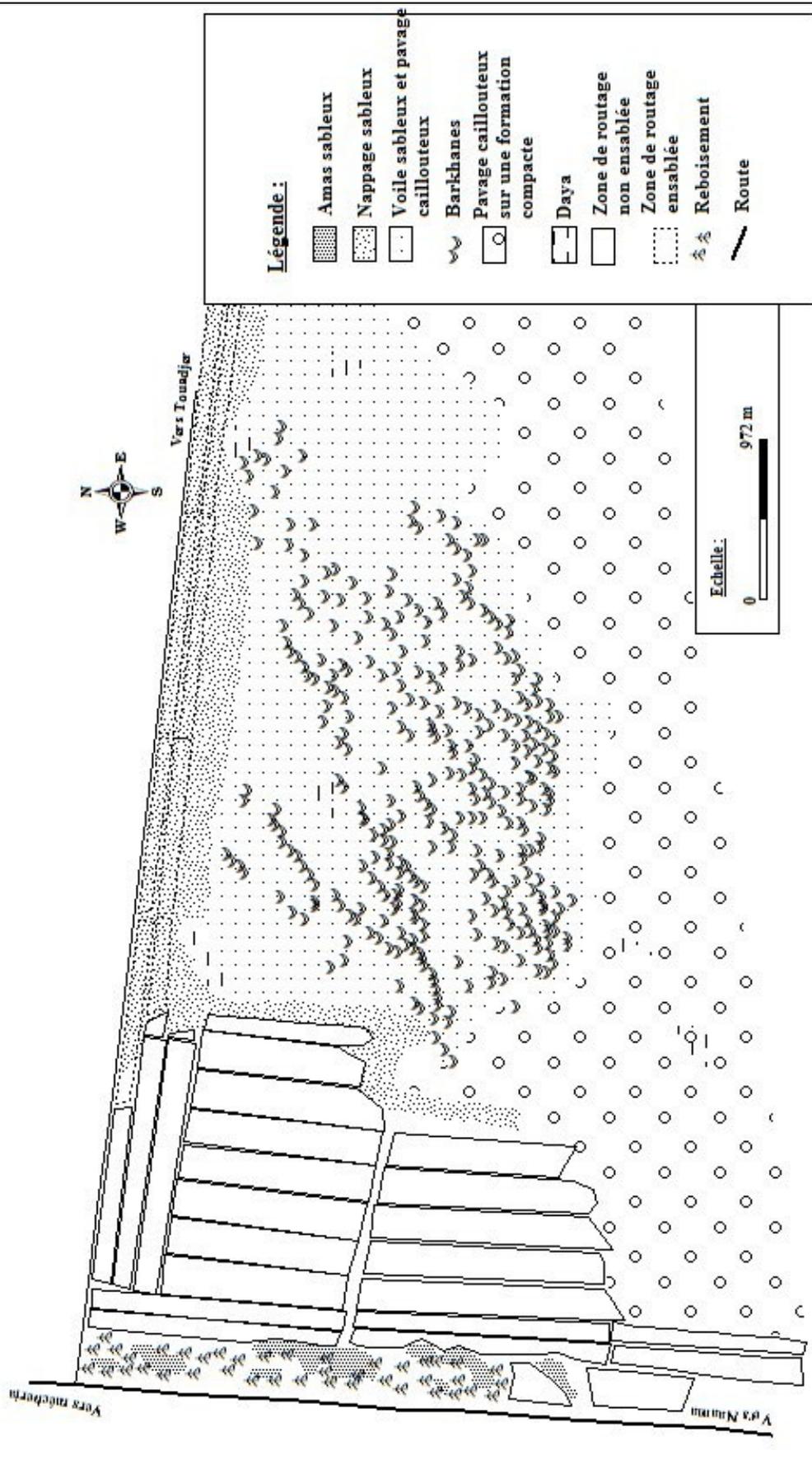


Fig. 61 : Ensablement des voies de communication à l'ouest de Tiout d'après l'image Google Earth 2010.

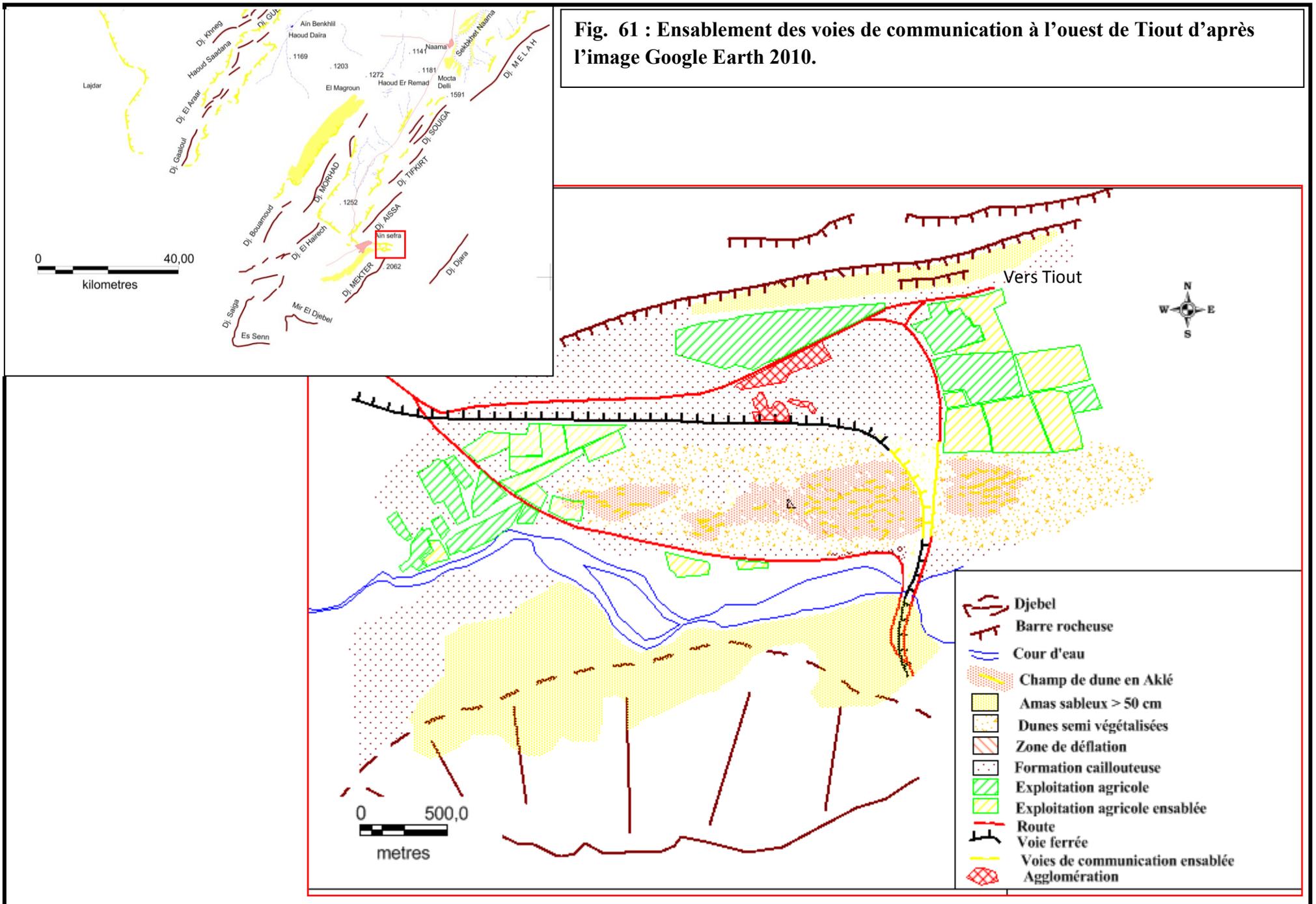




Image 5 : Problème d'ensablement d'une route et de la voie ferrée situées à l'ouest de Tiout d'après image Google Earth 2004.



Image 6 : Problème d'ensablement d'une route et de la nouvelle voie ferrée situées à l'ouest de Tiout d'après image Google Earth 2010.

– **La voie ferrée Mécheria -Béchar :**

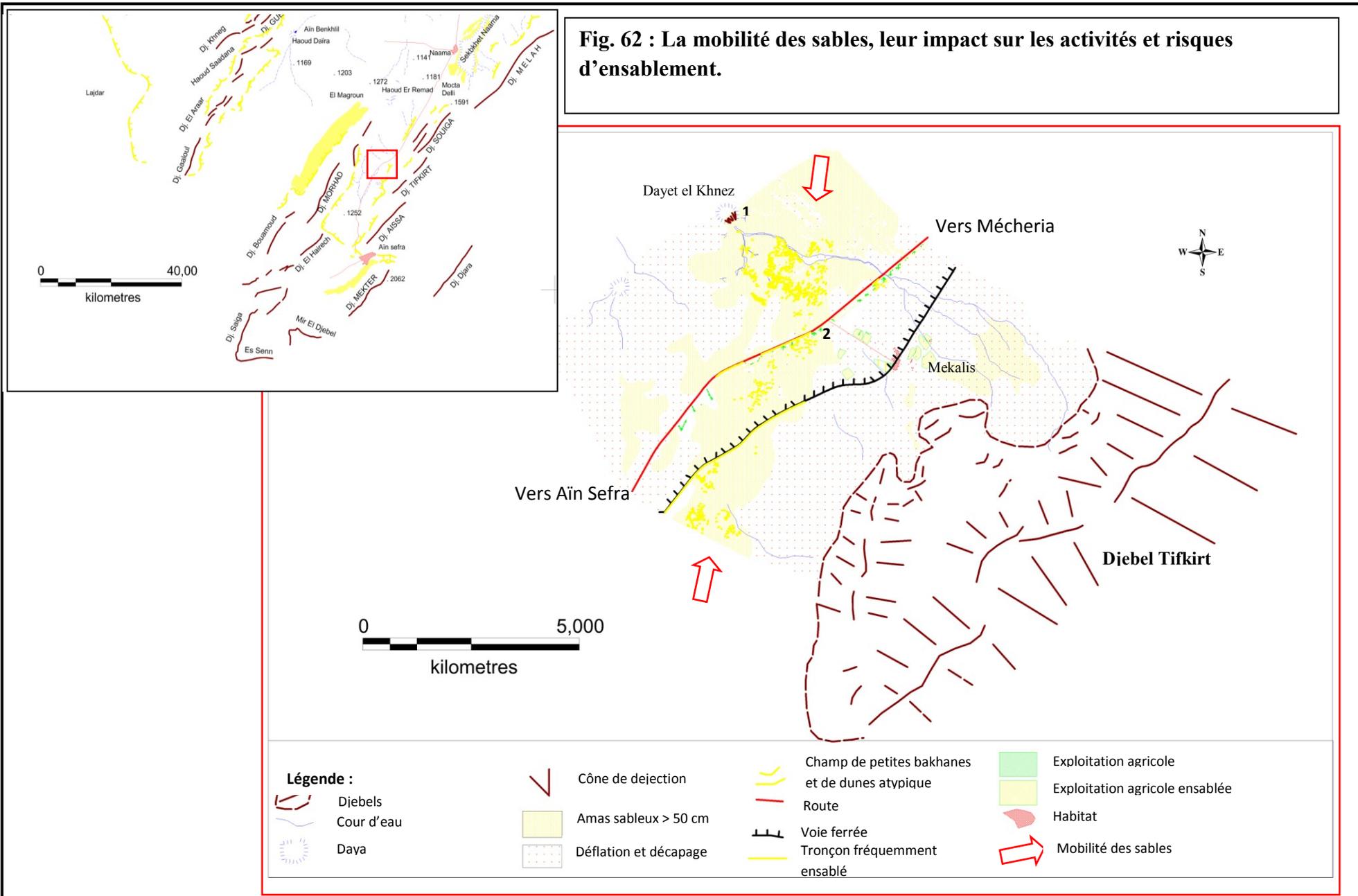
La voie ferrée au niveau de la wilaya de Naama, fait face à de sérieux problèmes d'ensablement. Plusieurs points noirs sont à signaler. Parmi les plus cruciaux, il y a celui de Mocta Delli, et celui de Tiout. Une étude a d'ailleurs été lancée en août 2005 par le chemin de fer, et a été réalisée à partir de l'année 2006 par le laboratoire « EGEAT » de l'université d'Oran pour trouver des solutions à ce problème, qui retarde la réalisation du projet de la nouvelle voie ferrée Mécheria-Béchar.

Contrairement aux routes, l'ensablement des voies ferrées pose plus de problème (Fig. 62). Cela est dû à la conception de la voie ferrée (par exemple son élévation par rapport au sol et aussi par rapport à la plate forme). Elle est donc un obstacle permanent devant le transit de sable. La circulation des trains est souvent perturbée par les accumulations rencontrées sur la voie ferrée. De plus, le déblaiement du sable, est encore plus rude à ce niveau, que sur les routes.

Nous pouvons affirmer que l'ensablement est une des grandes difficultés d'achèvement des travaux de réalisation de cette infrastructure. Il entraîne plusieurs conséquences ou impacts à court, moyen et long terme. A court terme, il y a les divers surcoûts dus aux retards dans la réalisation, aux travaux supplémentaires (déblai-arasement des sables à l'aide de bulldozer puis transport et stockage de ceux-ci etc...). A moyen et long terme, c'est la fonctionnalité de la voie ferrée qui est mise en cause : difficultés, voire impossibilité de l'utiliser et surtout, il faut prendre en considération les risques qu'elle engendre (accidents, déraillement, retards).

La zone prise comme exemple est la partie méridionale de la plaine de Naama accidentée au NE par Sebkhata Naama, au sud par un couloir orographique constitué par deux séries de chaînons parallèles (Dj Souiga-Aissa et Dj Hadjrat et Toual-Morhad) et au centre par des buttes, reliefs résiduels tabulaires. C'est une partie où la voie est ensablée en permanence. L'explication de ce fait se trouve dans le contexte géomorphologique : convergence du réseau hydrographique au centre de la plaine (Dayet El Khnez au sud et Haoud er Remad vers le nord), versants à exposition ouest (plus pluvieux et faisant office d'obstacle par rapport aux vents en général) et directions des DPS NW /SE à WNW/ESE. Ceci génère une dynamique dans laquelle interfèrent écoulements hydriques et processus éoliens : il y a remaniement des sédiments en permanence dans des sens opposés : NW/SE et SE/NW.

Fig. 62 : La mobilité des sables, leur impact sur les activités et risques d'ensablement.





2- 4 – Cas des agglomérations :

Plusieurs agglomérations dans la wilaya de Naama connaissent un problème d'ensablement (El Biod, Naama, Aïn Benkhilil et Aïn Sefra) mais à des degrés différents. Le problème d'ensablement de la ville d'Aïn Sefra ne date pas d'aujourd'hui. Il est lié à la présence de la dune d'Aïn Sefra qui est de l'ère quaternaire. L'agglomération d'Aïn Sefra est la plus importante parmi les autres, elle est la plus exposée au risque d'ensablement. C'est pourquoi nous nous sommes focalisés pour l'étude de cas de cette ville Ksourienne.

La ville d'Aïn Sefra est entourée de sable d'un peu partout. Mais, ce sont les parties sud et ouest qui restent les plus menacées par l'ensablement (Fig. 63).

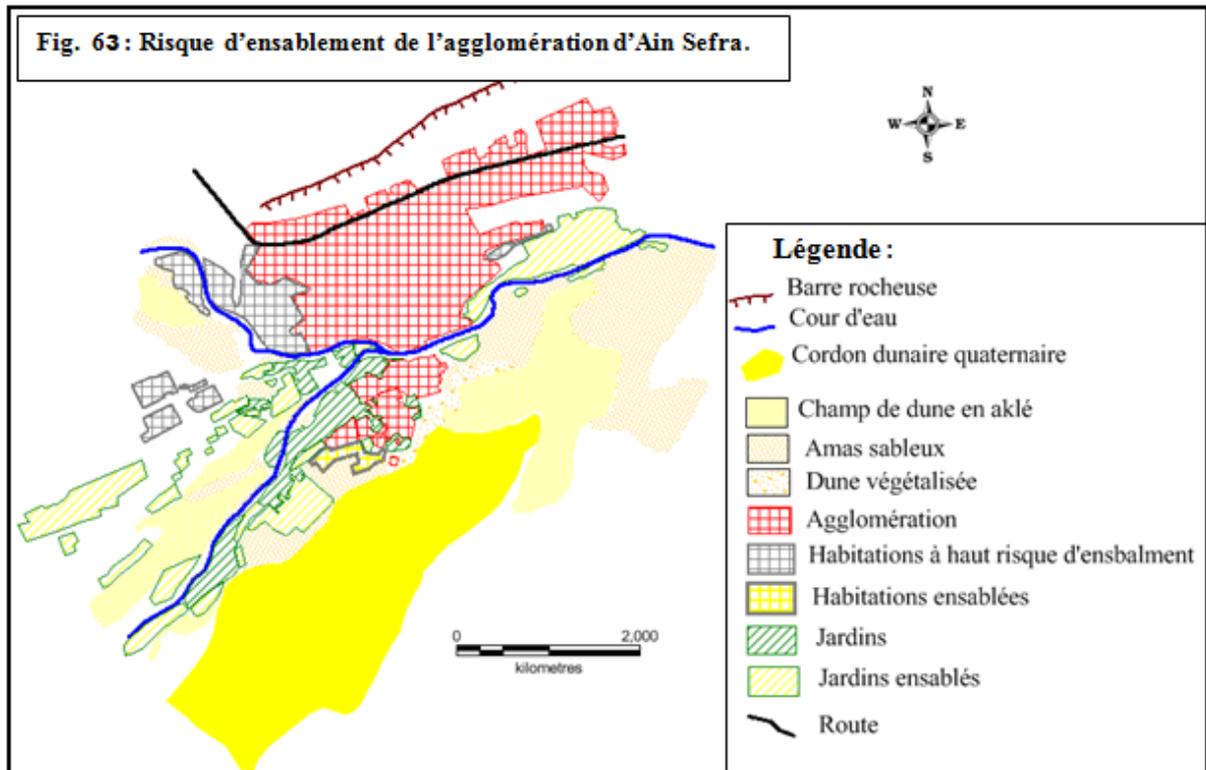
Dans sa partie sud, l'hôtel Mekter, situé au pied de la grande dune d'Aïn Sefra est exposé à une menace permanente de l'ensablement. D'ailleurs, les grands arbres d'eucalyptus qui cadrent l'hôtel vers le sud, sont complètement engloutis sous le sable.

Le côté ouest, connue par le nom de Dzira, demeure le plus exposé au problème d'ensablement. Les jardins et les différentes exploitations dans cette zone sont complètement ensablés.

Malgré la menace permanente de l'ensablement, nous avons enregistré une extension de l'agglomération vers le sud ouest de la ville c'est-à-dire vers la grande dune d'Aïn Séfra. Sur le site, nous avons observés plusieurs maisons en construction, carrément enfouis sous le sable (Photo 26). Les rues sont barrées par les amas sableux ce qui rend difficile voir impossible aux automobilistes d'accéder dans ces zones quasiment ensablées.

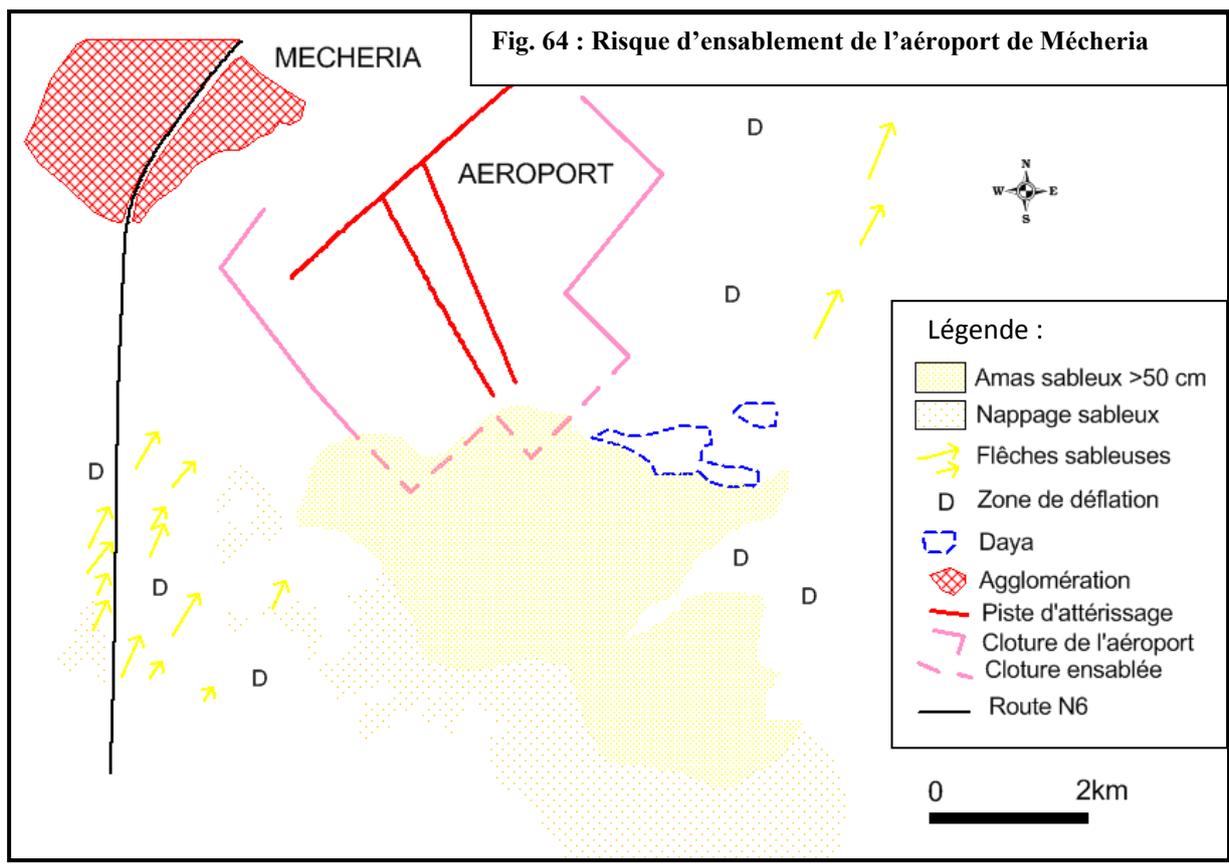


Photo 26 : Habitat ensablé à Aïn Sefra : L'extension qui s'est faite vers l'ouest connaît un vrai problème d'ensablement. Les maisons à peine construites, elles sont tout de suite envahie par le sable.



2 - 5 - Cas de l'aéroport de Mécheria.

L'aéroport de Mécheria, récemment réalisé vers la fin des années 90, fait face à une réelle menace de l'ensablement. L'image tirée de Google Earth du 24 février 2004, nous a permis de localiser l'extension de l'ensablement par rapport à cette infrastructure. (Fig. 64). C'est la partie sud qui est exposée au problème d'ensablement. Une superficie non négligeable d'amas sableux à franchi la clôture de l'aéroport et menace donc les pistes d'atterrissage. Ce sont essentiellement des flèches sableuses et des nappages sableux qui sont fortement mobilisées par les vents. La clôture de l'aéroport représente un obstacle devant les vents chargé de sable et en provenance du sud, d'où cette importante accumulation de sables.



CONCLUSION DE LA QUATRIEME PARTIE

Les diverses politiques en aménagement menées depuis 1962 afin de faire face à la dégradation puis à la désertification via le développement économique des Hautes Plaines Sud Oranaises, ont une certaine cohérence et logique. Elles auraient pu aboutir à de bons résultats si leur action n'avait pas été interrompue durant les années 1980-1990 et même au-delà : fin de la Révolution Agraire et arrêt des reboisements du barrage vert auxquels on peut ajouter l'impact du « terrorisme » qu'a vécu le pays pendant les années 90. Les reboisements ne reprendront, qu'à partir de l'année 2000, tandis que les politiques menées durant la Révolution Agraire n'ont pas eu le temps de donner des résultats qu'on aurait pu évaluer. Cette phase d'arrêt en aménagement (qui a duré 15-20 ans) a été suffisante pour que les processus de désertification avancée s'installent peu à peu puis s'accélèrent.

Aussi, les données de cette catastrophe qu'est la désertification dans ses formes d'extension de l'ensablement, d'invasion par les sables des espaces steppiques sont-elles changées. Actuellement, deux services du Ministère de l'Agriculture et du Développement rural ont la mission de prendre en charge celle-ci : la Direction des Forêts et le HCDS. Les actions sont menées sans concertation semble-t-il. De plus, les autres « concernés » ou occupants de l'espace steppique n'y sont pas intégrés : les exploitants agricoles (même si dans la plupart du temps ils sont aussi éleveurs et bénéficient des services du HCDS), les services du Ministère des Transports, de l'Équipement et des Travaux Publics et celui de l'Hydraulique pour ne citer que ceux-là. Il est évident que les acteurs concernés par la catastrophe présentent un large éventail : depuis les populations locales jusqu'aux différents ministères dans leur totalité. A cela s'ajoute la donnée « dynamique géomorphologique » ou dynamique des milieux : pour contrôler et freiner l'avancée des sables, il faut prendre en compte la complémentarité érosion éolienne-érosion hydrique ainsi que le type d'occupation du sol (dans le sens large du terme). Il ne suffit pas de stabiliser les dunes, de mettre en défens des parcours, il faut aussi aménager les oueds en amont et tenir compte des types d'aménagement existants, comme par exemple les exploitations agricoles, les infrastructures, l'habitat etc. La réflexion devrait tourner aussi bien autour de données de détail que celles globales.

La désertification avancée des Hautes Plaines, résultat de plusieurs politiques en aménagement et développement économique est une catastrophe qui a un effet « domino » : elle engendre d'autres « risques », d'autres dangers pour les hommes et leurs biens. Les mesures à prendre pour la freiner doivent être proportionnelles à son ampleur. Pour ce, il est évident qu'en terme d'aménagement, il faut prendre en considération l'ensemble de l'espace, tout le territoire steppique dans sa globalité et sa complexité (dynamique des milieux). Les

actions ne peuvent être ni ponctuelles ou ni « thématiques » et parmi les « acteurs », la population locale peut jouer (et joue) un grand rôle, pour ne pas dire un rôle primordial.

CONCLUSION GENERALE

Les Hautes Plaines Sud Oranaises s'individualisent par la disposition des principales unités du relief, celui-ci montre un *compartimentage croissant du Nord au Sud*. Partout cependant, en dépit de la prédominance des larges horizons subhorizontaux, les formes superficielles, s'ajoutent à la nature subdésertique du milieu, multipliant les obstacles à la circulation et favorisant ainsi l'installation des processus érosifs : Alignements des reliefs, surfaces caillouteuses, accumulations de sables, endoréisme...etc. De ce fait, l'organisation du relief qui apparaît plus complexe dans les monts des ksour, se simplifie dans les plaines, largement aplanies, dont le centre est occupé par des dunes.

Dans le couloir de Naama la lithologie y correspond principalement à des faciès lacustres et fluviales, formés de bas en haut d'argiles sableuses, couronnées par une carapace calcaire. (H. Mansour, 2007)

Dans les anticlinaux des Djebels Souiga et Melah. On observe selon H. Mansour, 2007 :

- Une alternance de marnes, de grés et de calcaire bioclastique.
- Une alternance de grés, marnes et de calcaire Bathonien.
- Une alternance de grés et de dolomies Callovo-Oxfordien.

Les dépôts du Quaternaire se traduisent par les comblements de fond des dépressions, par l'existence de croûtes calcaires et des dépôts limoneux dans les daïas.

Les Hautes Plaines sont un *domaine steppique* et ont donc des caractéristiques bioclimatiques spécifiques. Elles font partie de l'étage bioclimatique méditerranéen semi-aride inférieur à aride. La pluviométrie est faible, comprise entre 100 et 300 mm et l'amplitude thermique annuelle et journalière forte.

Les quatre stations présentent des mois sans pluies entre décembre et février. Aïn Sefra, fait l'exception en janvier, où un léger redressement est signalé. Les précipitations reprennent vers mars et avril pour ensuite baisser à partir du mois de mai. L'année la plus sèche des différentes stations est caractérisée par de très faibles pluies, pratiquement tout le long de l'année. Pour Aïn Sefra par exemple, l'année 1983/84 n'a reçu que 34,3 mm en mai.

Le réseau hydrographique au niveau des Hautes Plaines est endoréique, il est peu développé et débouche dans les dayas alimentant la nappe souterraine des Chotts, ou dans des Sebkhass, zones d'évaporation.

Les oueds sont cependant assez courts, peu sinueux et à écoulement superficiel. Ils ont un fond plat et des berges mal dessinés.

La phase de sécheresse la plus sévère est incontestablement celle de qui a commencé en 1965 et dont la durée (à l'exception de 5 années à pluie) dépasse les 30 ans (il y a cependant une tendance à l'amélioration depuis l'année 2000). Elle a probablement favorisé les

phénomènes de désertification car elle a coïncidé avec une forte croissance démographique et une politique en aménagement volontariste : ce sont les premières années de l'indépendance de l'Algérie pendant lesquelles de gros efforts ont été faits pour désenclaver les régions steppiques et les équiper afin d'amorcer leur développement économique.

La végétation steppique en plaine est à l'origine une steppe simple ou mixte à alfa (*Stipa tenacissima*), armoise (*Artemisia herba alba*), sparte (*Lygeum spartum*), remt (*Arthrophytum scoparium*), psamophytes (*Aristida punjens*, *Thymellaea microphyla*, *Retama retam*) et halophytes (bordures de sebkha et de chott). Sur les sommets montagneux (+ de 1800 m), elle est forestière à base de chênes verts et de genévriers. Les bordures des « zones humides » ont des faciès qui diffèrent selon le degré de salinité de leurs eaux. Les dayas, les talwegs et Haoud Daïra comportent quelques pistachiers de l'Atlantique (bétoum) en association avec le jujubier (*Ziziphus lotus*) (Aïn Ouarka, Asla, ouest de Ain Ben Khelil). Chott et sebkha ont une végétation halophile et même psamophile (dunes quaternaires). Le tapis végétal se présente sous forme d'une steppe ouverte, caractérisée par les espèces adaptées au milieu aride, avec des différenciations liées souvent aux conditions topographiques, pluviométriques et édaphiques.

La dégradation des parcours steppiques constitue, actuellement, une réalité préoccupante. Une dynamique régressive nettement perceptible est confirmée par un diagnostic écologique qui a mis en évidence la dégradation du couvert végétal. La désertification par le biais de ses facteurs physiques, anthropiques et socio-économiques, a eu pour conséquence, la disparition de certaines espèces. « *D'une steppe graminéenne à Stipa tenacissima on a atteint le stade de la steppe à Noaea mucronata, qui est, malheureusement, le stade ultime de dégradation avant que le sol soit totalement nu et improductif* » (B. Bouchetata, 2005).

Ainsi des peuplements entiers ont été décimés par le bétail, par les coupes anarchiques des plantes ligneuses pour les besoins domestiques quotidiens et surtout par une mauvaise gestion des pâturages. L'appauvrissement et la dégradation du couvert végétal, sont également imputables aux activités agricoles et à l'extension des superficies cultivées (durant les missions de terrain effectuées dans la plaine de Naama, nous avons à chaque fois constaté l'installation de nouvelles mises en valeurs agricoles qui n'existaient pas avant).

Tout cela a eu pour conséquence l'intensification des phénomènes de désertification, d'ensablement et d'érosion éolienne dans cette partie des Hautes Plaines.

Les changements socio-économiques sont complexes. Ils se traduisent par une baisse du nomadisme (mais non pas de l'agro-pastoralisme), par l'appropriation des terres et la

mécanisation. Ils prennent plusieurs formes qu'on peut résumer ainsi : appropriation des terres par le biais des mises en valeur et « contrôle » des espaces steppiques par la prolifération de constructions en dur dans les zones éparses et l'utilisation de véhicules pour le transport rapide et de plus en plus lointain du cheptel vers les parcours (ou les souks). Ces changements ont eu comme conséquence, une forte dégradation de la steppe qui se traduit par des processus de désertification.

La progression de la désertification a atteint son stade ultime : extension des processus d'ensablement.

Les phénomènes érosifs éoliens ont été accélérés et ont généré une forte mobilité des sables. En effet, les stocks de sables issus de l'érosion des sols dénudés par la dégradation puis la disparition du couvert végétal ont été renforcés par les apports des crues d'oued qui se déposent dans la plaine (endoréisme). ***La désertification a atteint un stade avancé, probablement irréversible avec trois caractéristiques principales : extension de l'ensablement, forte mobilité des sables (particules et accumulations et diminution de la superficie des zones humides.***

La vitesse de progression spatiale des dunes est forte. Elle a été estimée d'après des images satellitaires prises à des dates différentes et l'autre et une distinction a été faite entre les petites dunes dont la hauteur est inférieure à 2 m et celle où elle est supérieure à cette valeur. Les premières sont des dunes récentes, probablement formées ces dernières trente années. Ce sont souvent des proto dunes ou de petites barkhanes, très mobiles puisque leur volume est petit. Les secondes sont plus « anciennes » : quaternaires ou subactuelles. Les résultats :

D'après les images satellitaires, la progression de petites « dunes » de $H \leq 2$ m a été de 200 à 5000 m/an depuis 1987. Les dunes de $H \geq 2$ m ont des vitesses variables, généralement plus fortes à l'ouest ou dans les couloirs orographiques les plus étroits.

La vitesse de déplacement des dunes récentes est élevée. Elle est de 4-6 m/mois jusqu'à 12-20 m/mois dans le N de la plaine de Naama ; de : 6-30 m/mois sur la bordure sud de Sebkhata Naama. Elle est plus forte au centre du couloir orographique formé par les Dj Morhad-Dj Souiga au sud de cette dernière : 66 m/mois en moyenne et peut atteindre jusqu'à 90 m/mois. A l'extrémité sud de ce même couloir orographique: les valeurs augmentent jusqu'à 115 m/mois.

En effet, la grande mobilité des accumulations sableuses et des particules limono-sableuses engendre le risque: tout obstacle sur leur trajectoire entraîne un dépôt. On peut citer : des problèmes de santé des populations (fréquence des vents de sable et d'une atmosphère saturée en aérosols minéraux), des risques d'accidents de voiture fréquents, une voie ferrée

moderne inutilisable, des habitations ainsi que des exploitations et des infrastructures agricoles ou hydrauliques en partie ou totalement ensablées

Ainsi, le réseau routier de la wilaya de Naama et la nouvelle voie ferrée (Mécheria – Béchar) sont à risque d'ensablement quotidien sur 30 % au moins de leur longueur. C'est dire le danger occasionné au transport et communication routière et ferroviaire et ce, tous les jours et donc toute l'année.

Les exploitations agricoles réalisées dans le cadre du PNDA, ont connues un échec réel dans la mesure où l'ensablement a été un handicap majeur pour les agriculteurs. Sur une superficie totale de 1870 ha (des exploitations), 1338 ha sont en grande partie ou totalement ensablés, soit environ 72 % (71,9 %). Ce taux varie en fait, de 45 à 91 % selon les cas. Cependant, seuls environ le quart de celles-ci a été abandonné (26,5 %), soit 497 ha.

Les causes de cet état de fait peuvent être résumées ainsi : c'est un espace steppique dont **l'équilibre a reposé** longtemps sur une **mobilité « pensée, réfléchie » des hommes et de leur cheptel** (surtout ovin).

Le déclenchement du phénomène se fait au moment où cette **mobilité a été contrariée** car elle a été freinée puis détournée ou accélérée. Le résultat est un **déséquilibre** qui se traduit graduellement par la régression puis la disparition du couvert végétal steppique et ensuite par **l'accélération des processus érosifs aussi bien hydriques qu'éoliens**.

L'effet anthropique est très fort sur un espace fragile même si la densité de population reste faible malgré une augmentation sensible : elle est passée de 1,4 hab/km² en 1966 à un peu plus de 4 hab/km² en 2008. Le trait principal est le recul très net du taux de recouvrement de la végétation et la disparition de l'espèce végétale principale, l'alfa. Cette dégradation a été relevée dès 1967 et le couvert de l'alfa a reculé de 30 à 3 % entre 1978 et 1990 (bordure SE du Chott Chergui, Rogassa). (A. Aïdoud, 1991).

Les diverses politiques en aménagement menées depuis 1962 afin de faire face à la dégradation puis à la désertification via le développement économique des Hautes Plaines steppiennes ont une certaine cohérence et logique. Elles auraient pu aboutir à de bons résultats si, leur action n'avait pas été interrompue durant les années 1980-1990 et même au-delà : fin de la Révolution Agraire et arrêt des reboisements du barrage vert auxquels on peut ajouter l'impact du terrorisme. Ces derniers ne reprendront et ce dans un autre cadre, qu'à partir de 2000 tandis que les politiques menées durant la RA n'ont pas eu le temps de donner des résultats qu'on aurait pu évaluer. Cette phase d'arrêt en aménagement (qui a duré 15-20 ans) a été suffisante pour que les processus de désertification avancée s'installent peu à peu puis s'accélérent.

La désertification avancée des Hautes Plaines, résultat de plusieurs politiques en aménagement et développement économique est une vraie calamité. L'ensablement entraîne des risques aussi bien pour les hommes que pour leurs biens, il freine ainsi le développement économique de toute une région. Les mesures à prendre pour le dissuader doivent être proportionnelles à son ampleur. Pour ce, il est évident qu'en terme d'aménagement, il faut prendre en considération l'ensemble de l'espace, tout le territoire steppique dans sa globalité et sa complexité (dynamique des milieux). Les actions ne peuvent être ni ponctuelles ou ni « thématiques » et parmi les « acteurs », la population locale peut jouer (et joue) un grand rôle, pour ne pas dire un rôle primordial.

BIBLIOGRAPHIE

- AIDOUD A. (1989 a)- Les steppes à alfa : ressource en déperdition. *Ann. Inst.Nat.Agronomique. El Harrach, 13 (1), pp.80-90.*
- AIDOUD A. et ADOUD-LOUNIS F. (1991) - Evaluation et régression des ressources végétales steppiques. 4^{ème} CITP, Montpellier (France), 22-26/04/1991 ; pp. 307-309.
- BASSOULET B. (1973) - Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas Saharien Occidental (Algérie). *Thèse. Sci. Nat, Univ-Paris VI, 2 tomes, 497 p, 50 Fig, 32 Pl.*
- BENALLA M., ALEM E., ROGNON P., DESJARDINS R., HILALI A. et KHARDI A. (2003) - Les dunes du Tafilalet (Maroc) : dynamique éolienne et ensablement des palmeraies. *Sécheresse* (Paris), vol. 14, no 2, p.73-83.
- BENNARI A., MORIN D. et HABOUDANE D. (1999) - Analyse des effets atmosphériques sur les indices de végétation en milieu urbain, revue Télédétection, vol. 1, p. 19-46.
- BENSAID A. (2006) - SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naama (Algérie). Thèse de doctorat, Université d'Oran, 299 p.
- BERCHICHE T. (2000) - Enjeux et stratégies d'appropriation du territoire steppique (cas de Maamora, Algérie). *Options Méditerranéennes* (CIHEAM, Montpellier), sér. A, 39, 107-120.
- BERTHOIS L. (1975) - Etude sédimentologique des roches meubles : Techniques et méthodes. Doin ed. 269 pp.
- BESSAOUD O. (2002) - L'agriculture algérienne : des révolutions agraires aux réformes libérales (1963-2002), IAM, (article téléchargé à partir d'internet), 28 pages.
- BOUCHETATA T. & BOUCHETATA A. (2005) - Dégradation des écosystèmes steppiques et stratégie de développement durable. Mise au point méthodologique appliquée à la wilaya de Naama (Algérie). *Développement durable et territoire, Varia, mis en ligne le 2 septembre 2005.*
- BOUGHANI A. (1995) - Contribution à l'étude de la flore et des formations végétales au Sud des monts du Zab (Ouled Djellal, wilaya de Biskra). Thèse magister, USTHB, Alger, 226p.
- BOUKHOBZA M. (1976) - Nomadisme et colonisation, analyse des mécanismes de déstructuration et de disparition de la société pastorale traditionnelle en Algérie. Thèse de Troisième Cycle, Sociologie, Paris.
- BOUKHOKHAL K. (2007) - Cartographie des processus de la désertification dans la partie SW des Hautes Plaines sud-oranaises (Algérie occidentale). *Mem.Magister ; Univ.d'Oran.*

- BOUZENOUNE A. (1984) - Étude phytoécologique et phytosociologique des groupements végétaux du sud oranais (w.Saida), Thèse 3ème cycle. Uni.Sci. Tech. H. Boumediène, Alger, 225p.
- CALLOT Y. & OULERHI T (1996) - Géodynamique des sables éoliens dans le Nord-Ouest saharien : relations entre aérologie et géomorphologie. - *Geodinamica Acta*, vol. 9, n°1, p. 1-12.
- CELLES J.C (1975) - Contribution à l'étude de la végétation des confins saharo-constantinois (Algérie). Thèses Doct., Univ. Nice, 366 p.
- COTE M. (1983) - L'espace algérien, les prémices d'un aménagement, O.P.U, Alger, 278p.
- COUDERC R. (1976) - Les parcours steppiques en Algérie: Migrations "Biologiques" et organisation économique. In Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie, tome 10, fascicule: 1, Montpellier, pp: 95-114.
- COUDERC R. (1979) - Géographie et développement: Les Hautes Steppes Sud-Oranaises. Thèse de doctorat d'État, Géographie, Université de Montpellier III, 655 pages, 61 cartes, 17 tableaux et 80 figures.
- C.R.B.T., (1978) - Rapport phytoécologique et pastoral sur les hautes plaines steppiques de la wilaya de Saida. CRBT, Alger, 256 p. + ann + cartes.
- DAGET P. et DJELLOULIY. (1991) - Le climat méditerranéen change-t-il ? La sécheresse à Alger au cours des cent dernières années. *Pub Assoc Intern Climatol* ; 4 : 187-95.
- DAGET P. – Godron M. (1993) - Pastoralisme, troupeaux, espaces et sociétés. AUPELF. UREF, *université francophones*.
- DIRECTION DES SERVICES AGRICOLES (DSA), (2007) - L'agriculture et l'agropastoralisme. Dans la wilaya de Naama. Rapport/Bilan au 31/12/2006, 35 p.
- DJEBAILI S. (1978) - Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doctorat, Montpellier, 229 p.
- DJELLOULI Y. & DAGET P. (1993) - Conséquences de la sécheresse des deux dernières décennies sur les écosystèmes naturels algériens. *Pub Assoc Intern Climatol* ; 6 : 105-14.
- DJELLOULI Y. (1990) - Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Thèse Doct., USTHB, Alger 210 p.
- DRESCH J. 1982 - Géographie des régions arides. Paris. PUF, 271 p.
- DUBIEF J. (1959) - Le climat du Sahara. Vol. I, Inst. Rech. Sahar., Alger, 312 p.
- DUBIEF J. 2001 - Données météorologiques du Nord de l'Afrique à l'équateur. Paris, édition

Karthala, 274 p.

HADEID M. (2006) - Mutation spatiale et sociale d'un espace steppique : le cas des Hautes Plaines Sud Oranaises (Algérie). *Thèse Doctorat d'Etat, université d'Oran, mars 2006 ; 450 pp.*

HADDOUCHE I. (2009) - La télédétection et la dynamique des paysages en milieu aride et semi-aride en Algérie : Cas de la région de Naama. Thèse doctorat, Univ. Tlemcen, 259 p.

HIRCHE A., BOUGHANI A. & SALAMANI M. (2007) - Evolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. *Revue Sécheresse* 2007 ; Vol. 18 N°4 : PP. 314-320.

KADI-HANIFI ACHOUR H. (1998) - L'alfa en Algérie. Syntaxonomie, relations milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Thèse Doct., USTHB, Alger, 288p.

LANCASTER N. (1982) - "Dunes on Skeleton coast, Namibia (south west Africa) : Geomorphology and grain size relationships". In : *Earth surface processes and landforms*, n° 7, pp. 575-587.

LE GOF Y. (1985) - Variabilité interannuelle des précipitations au Maroc (1913-1985). Actes de la conférence « Sécheresse, gestion des eaux et production alimentaire », Agadir, Maroc, 9p.

LE HOUEROU H.N (1968) - La désertification du Sahara septentrional et des steppes limitrophes (Libye, Tunisie). *Ann. Algér. Géogr.* N°6, 27p.

LE HOUEROU H.N (1969) - La végétation de la Tunisie steppique. Thèse Doct. Marseille. 617p.

LE HOUEROU H.N. (1985) - La régénération des steppes algériennes. Rapport de mission en consultation et évaluation. Ministère de l'Agriculture, Alger.

LE HOUEROU H.N (1987) - Aperçu écologique des déserts chinois. *Compte Rendu des Séances de la société de Biogéographie.* 63 (2). P. 35.

LE HOUEROU H.N (1995) - Bioclimatologie et biogéographie des steppes du nord de l'Afrique, diversité biologique, développement durable et désertification. *Opt méditerranéenne*, série B étude de recherche n° 10, p 396.

MAHBOUBI B (2001) - Désertification et problèmes d'ensablement dans les Hautes Plaines oranaises. *Mem. Magister, université d'Oran ; 165 p.*

MAHBOUBI B. (1998) - la mobilité des sables aux hautes plaines sud oranaise le cas de Mécheria. *Mémoire d'ingénieur IGAT oran.*

MAINGUET M. (1995) - L'homme et la sécheresse. *Paris, Masson 335p.*

- MANSOUR H. (2007) - Hydrogéologie du continental intercalaire et du complexe terminal en domaine aride. Exemple des monts des ksour (atlas saharien occidental). *Thèse Doctorat d'état, université d'Oran, décembre 2007 ; 442 pp.*
- MEDERBAL K. (1996) - Recherches écologiques sur les zones arides et semi-arides: la cartographie écologique, une base nécessaire pour l'écodéveloppement. Congrès International EcoDev96 « *Evaluation des méthodes d'approche de l'écodéveloppement des zones arides et semi-arides* », Adrar 13-16 Novembre 1996, 10p.
- MONTCHAUSSE G. (1972) - La steppe algérienne, cadre d'interaction entre l'homme et son milieu. *CIHEAM, Options Méditerranée, sec6. pp 1-13.*
- NEDJRAOUI D. (1981) - Teneurs en éléments biogènes et valeurs énergétiques dans trois principaux faciès de végétation dans les Hautes Plaines steppique de la wilaya de Saida. Thèse Doct. 3^ocycle, USTHB, Alger, 156p.
- NEDJRAOUI D. (1990) - Adaptation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) aux conditions stationnelles. Contribution à l'étude de fonctionnement de l'écosystème steppique. *Thèse Doct., Univ. Sci. Tech. H. Boumediène, Alger, 256 p.*
- OULERHI T. (1992) - Etude géodynamique des migrations de sable éolien dans la région de Laayoune (Nord du Sahara marocain). - Thèse, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), *Mémoires des Sciences de la Terre*, 92-12, 223 p.
- POUCHIN T. (2001) - Elaboration d'un observatoire paysager, Application à l'estuaire de Seine. Centre Interdisciplinaire de Recherche en Transports et Affaires Internationales, Le Havre, Thèse de Doctorat, 316 p.
- QI J., KERR Y. and CHEHBOUNI A. (1994) - External factors consideration in vegetation index development. P. 723-730, in Proceedings of the Sixth International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Val d'Isère, January 17-21 1994, centre national d'étude spatiales, Toulouse, 855 pages.
- QUEZEL P. (1989) - Mise en place des structures de végétation circum méditerranéennes actuelles. Proceed. Man and Biosphere Symposium, Landscape Ecology, W.J. Clawson edit., Univ. Calif. Davis, pp. 16-32.
- QUEZEL P. (2000) - Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press, Paris, 109 p.
- RAMADE F. 1991 - Elément d'écologie : écologie appliquée. Londres, Mac-Graw Hill. 2^{ème} édition. 576 p.

ROGNON P. (1994) - Les conséquences de la sécheresse sur la pédogénèse. Sécheresse. N°3. Vol. 5, p 173-184.

ROGNON P. (1996) - Sécheresse et aridité : leur impact sur la désertification au Maghreb. Sécheresse ; 7 : 287-97.

VALENTIN C. 1994 - Sécheresse et érosion au Sahel. Sécheresse, vol. 5. N°3. P 191-198.

TABLE DES MATIERES

Sommaire.....	1
Avant propos.....	3
Introduction générale.....	4

PREMIERE PARTIE.

<u>Le Contexte générale des Hautes plaines Sud Oranaises.....</u>	10
I - LES CARACTERISTIQUES TOPOGRAPHIQUES.....	11
1 - La plaine de Naama	11
2 - Les chainons.....	12
3 - Les couloirs orographiques	13
II - LE CONTEXTE STRUCTURAL	15
1- Caractéristiques structurales	15
2- Les caractéristiques lithologiques	23
III - UN CLIMAT A SECHERESSES RECURRENTES.....	25
1 – Les précipitations.....	25
1 - 1 – Une pluviométrie à forte variabilité	26
1– 2 – Le régime pluviométrique	30
2 – Le paramètre température	33
3 – La sècheresse	34
3 – 1 Sécheresse saisonnière	35
3 - 2 Distribution des années sèches et humides.....	41
CONCLUSION.....	46
IV - UN RESEAU HYDROGRAPHIQUE ENDOREIQUE.....	47
V - LE REcul DU COUVERT VEGETAL STEPPIQUE.....	49
1- Une steppe simple ou mixte à alfa.....	49
2- Relevés de végétation	52

3 - L'effet des politiques antérieurs sur la dégradation du couvert végétal	60
4 - Un déséquilibre écologique lié à la sécheresse	62
5- Le surpâturage	62
CONCLUSION.....	65
VI- LE POIDS DE L'HOMME.....	66
5- Tendances démographiques.....	66
6- Une population inégalement répartie.....	66
7- Mutations socio-économiques.....	68
8- Un milieu fragile et fragilisé	69
CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE.....	70

DEUXIEME PARTIE

ETAT DES LIEUX DE L'ENSABLEMENT ET TRAITEMENT D'IMAGES SATELLITAIRE.....	71
I - INTRODUCTION ET METHODOLOGIE.	72
1 -Méthodologie et démarche adopté pour la réalisation de la cartographie	73
1-1- Relevés de terrain	73
1-2- Traitement de données.....	74
1-3- La cartographie.....	75
II - ETAT DES LIEUX	77
1- Les types de formations éoliennes	78
2- Les zones d'ensablement dans les Hautes Plaines Sud Oranaises.....	79
III - L'EXTENSION ACTUELLE DE L'ENSABLEMENT.....	89
IV- LA REPARTITION DES DIFFERENTES ACCUMULATIONS EOLIENNES DANS LES HAUTES PLAINES SUD ORANAISES.....	92
1- Les accumulations éoliennes de faible épaisseur	92
2- Les petits édifices	93
3 - Les dunes sans arêtes vives	94

4 – Les dunes à arêtes vives	95
CONCLUSION	103
V- LE TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES	104
1- Matériels et données utilisés	104
1-1 Images satellitaires	104
1-1-1- Images LANDSAT.....	104
1-1-2- Image ASTER	105
1-2- Matériels utilisés	106
1-2-1 Les logiciels de traitement d'images	106
1-2-2 Les logiciels de SIG	106
2- Méthodologie adoptée	106
2-1- Le choix des canaux Satellitaires	108
2-2 - Le traitement de l'image TM2001 198-37.	110
2-2- 1 La correction Géométrique	110
2-2 – 2 La classification de l'image	112
2-2- 3 L'application du filtrage à l'image.....	116
2-2- 4 Le calcul de surface	118
2-3- Le traitement des images TM et ASTER	119
2-3- 1 La composition colorée des images TM et ASTER.....	119
2-3- 2 La correction géométrique de l'image TM par rapport à l'image AST119	
2-3- 3 La classification des images satellitaires	120
2-3- 4 La description des classes d'occupation retenues	120
2-3- 5 La matrice de confusion et la validation de la classification.....	121
2-3- 6 L'amélioration de la classification.....	122
2-3- 7 L'extraction de la zone d'étude	128
2-3- 8 Le filtrage des images	131
2-3- 9 La carte des changements.....	135
2-3- 10 L'interprétation du changement.....	137
CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE	140

TROISIEME PARTIE

LE STOCK DE SABLE EXISTE.....	142
I- UN DOMAINE ENDOREIQUE FAVORISANT LA RECEPTION DES SEDIMENTS D'OUED ET EOLIEN.....	143
II- DES FORMATIONS SUSCEPTIBLES DE PRODUIRE DU SABLE.....	144
III- LES APPORTS DES OUEDS ET DES EPANDAGES.....	144
1. Les intensités de pluie : analyse fréquentielle des deux dernières années (2007-2008).....	147
1-1. A Mécheria.....	147
1-2. A Naama.....	147
1-3. A Ain Sefra.....	148
2- Le total des volumes de pluie tombés durant plusieurs jours consécutifs est plus significatif en terme de crue et d'apports solides.....	148
2-1. A Mécheria.....	149
2-2. A Naama.....	149
2-3. A Ain Sefra.....	150
3- Corrélation précipitations intenses et crues et estimation des débits maxima	153
3-1. Corrélation précipitations intenses et crues.....	153
3-2. Estimation des débits maxima.....	158
3-2-1 Méthodologie.....	158
3-2-2 Les sous bassins étudiés.....	162
3-2-3 Les temps de retour des pluies journalières maxima.....	163
3-3. Résultats	163
3-3-1 Le temps de concentration	163
3-3-2 L'apport liquide annuel	164
3-2-4 Les débits maxima	165
4- Estimation du stock de sédiments potentiellement déposé par les crues.....	167
4-3 . Méthodologie.....	167
4-4 . Les résultats.....	168
CONCLUSION.....	169

IV- LA MOBILITE DES SABLES ET DYNAMIQUE EOLIENNE.....	171
1 - Régime des vents	171
2 - Directions prédominantes par saison et par an	172
3 - Interprétation des résultats	175
3 – 1 - Pour l'ensemble de la période 1985 – 1996	175
3 – 2 - Année par année.....	176
3-3 - Mois par mois.....	177
V- CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES DES SABLES	
MOBILISES.....	180
1- Introduction.....	180
2- Méthodes de travail et analyses.....	180
2-1. Prélèvement et échantillonnage	180
2-2. Méthodes d'analyses granulométriques et indices granulométriques.....	181
2-2 -1 Le traitement des échantillons.....	181
2-2-2 Les résultats granulométriques.....	182
3- Analyse granulométrique des sédiments d'oued	185
4- Granulométrie des dépôts éoliens	192
CONCLUSION.....	207
CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE.....	208

QUATRIEME PARTIE

LA PROBLEMATIQUE EN AMENAGEMENT DANS UNE ZONE EN VOIE DE	
DESERTIFICATION AVANCEE.....	210
I- LA PART DE L'ANTHROPISATION ET DE LA DYNAMIQUE	
NATURELLE.....	211
1- Méthodologie.....	211
2- La sédentarisation des nomades.....	211
3- La pression démographique	212
4 - La désorganisation de la société pastorale	214
4.1. Le rôle de l'état	214
4.2. La part de la sécheresse dans le regroupement de la population.....	217
4.3. Les autres facteurs favorisant la sédentarisation.....	217

5- La mise en valeur dans les Hautes Plaines un phénomène nouveau	218
5-1. Le PNDA Un programme ambitieux dans un milieu pastoral ?.....	220
5- 2. L'espace steppique en plein mutation.....	222
CONCLUSION	227
II - ETUDE DE QUELQUES CAS D'ENSABLEMENT	228
2- 1 - Cas des terrains de parcours	228
2 -2 - Cas des exploitations agricoles	231
- Le site de Touadjer	232
- Le périmètre de Roudassa.	237
- Le site de Hassi er Rezaïna	239
2 – 3 - Cas des voies de communications	245
2- 4 – Cas des agglomérations	253
2-5- Cas de l'aéroport de Mécheria	254
CONCLUSION DE LA QUATRIEME PARTIE	256
CONCLUSION GENERALE	258
BIBLIOGRAPHIE	264
ANNEXES	269
TABLE DES MATIERE	276

Résumé.

Les steppes algériennes ont toujours été connues en tant qu'un domaine pastoral par excellence. Dans le passé, l'espace steppique était répartie entre un certain nombre de tribus nomades, avec quelques petits centres de sédentarisation. Les déplacements étaient organisés par des règles coutumières cela à permis de sauvegarder les parcours en très bon état.

Actuellement, cet espace ouvert des nomades et de l'élevage ovin, change de vocation et donne de plus en plus une vue de paysage clôturé et enclavé à des fins agricoles.

Par ailleurs, ces zones sont soumises à la dégradation de leurs ressources naturelles, notamment le sol et le couvert végétal (parcours). Le bilan établi en 1984 par le ministère de l'agriculture montre que 5 millions d'hectares du territoire steppique algérien, se trouvent dans un état avancé de dégradation. Cette dégradation est le résultat de l'action combinée des facteurs naturels (sécheresse, érosion éolienne, etc...) et ceux de l'homme. Si les premiers se traduisent par la fragilité du milieu et de l'écosystème steppique, les deuxièmes montrent l'impact de la croissance démographique et de la sédentarisation des nomades.

Cette région connaît un sérieux problème d'ensablement, accentué lors des périodes de sècheresses et aggravé par les actions de survie que mène l'homme (surpâturage, mauvaise gestion et utilisation irrationnelle de l'espace). En plus de la perte de terres traditionnellement vouées au parcours de cheptel, la progression et la mobilité des particules sableuses engendrent un certain nombre de risques pour les hommes (accidents routiers ou ferroviaires, santé) et leurs biens ainsi que pour les infrastructures, bases de tout développement d'une région.

C'est pourquoi, les différents aménagements liés au développement de Hautes Plaines Sud Oranaises, sont en permanence menacés par l'avancée des sables.

Notre intervention sera consacrée en particulier sur le phénomène d'ensablement et de son impact sur les aménagements dans les Hautes Plaines Sud Oranaises.

Summary.

Algerian steppes have always been known as a pastoral area par excellence. In the past, the steppe area was divided among a number of nomadic tribes, with some small centers of settlement. The trips were organized by customary rules allowed it to save the course in very good condition. Currently, this open space nomads and sheep, change of vocation and gives more of a landscape view closed and locked for agricultural purposes. Moreover, these areas are subject to degradation of their natural resources, including soil and vegetation (path). The record established in 1984 by the Ministry of Agriculture shows that 5 million hectares of steppe territory Algeria are in an advanced state of degradation. This degradation is the result of the combined action of natural factors (drought, wind erosion, etc ...) and those of man. If the first result in the fragility of the environment and steppe ecosystem, the second shows the impact of population growth and settlement of nomads.

This region has a serious problem of siltation, increased during periods of drought and exacerbated by the actions of survival that leads man (overgrazing, mismanagement and inefficient use of space). In addition to the loss of land traditionally dedicated to the cattle path, progression and mobility of sand particles give rise to a number of risks for men (road or rail accidents, health) and property as well as infrastructure, databases development of any region.

This is why the various facilities related to the development of South Oran High Plains are constantly threatened by the encroachment of sand. Our work will focus in particular on the phenomenon of silting and its impact on development in the Southern High Plains Oran.