



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

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Magister
En Géographie et Aménagement du territoire

**L'ensablement, un risque négligé en zone tellienne littorale
Cas de la région Mostaganem**

Présenté et soutenu publiquement par : Melle MEGHERBI Wahiba
Sous la direction de Sid-Ahmed SOUIAH

Devant le jury composé de :

Mme TAHRAOUI Fatima, Maitre de conférences A, Université d'Oran 2	Présidente
Mr HADEID Mohamed, Professeur, Université d'Oran 2	Examineur
Mr BELLAL Sid-Ahmed, Maitre de conférences A, Université d'Oran 2	Examineur
Mr SOUIAH Sid-Ahmed, Maitre de conférences A, Université d'Oran 2	Rapporteur

Année 2015

AVANT – PROPOS

L'érosion est un processus complexe vieux comme le monde : il concerne l'arrachement, le transfert et la sédimentation de particules par l'eau, le vent.

L'érosion éolienne est la cause principale de tout ensablement où le vent joue le triple rôle d'agent érosif, de transport et de dépôt, de formation des dunes. Les milieux naturels arides et semi arides présentent des conditions favorables à une vive action éolienne souvent accentuée par l'action néfaste de l'homme.

Si ce travail de recherche se rapporte aux processus d'ensablement, on ne peut pas l'étudier seule, ce travail nécessite de prendre en considération l'ensemble des composantes du système littoral et continentales.

Remerciements

Je rends grâce à dieu qui m'a donné le courage ainsi que la connaissance pour pouvoir terminer mes études.

Ce travail a été préalablement réalisé sous la direction de Mr TIDJANI Bachir, Professeur au département de géographie et d'aménagement du territoire Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers Université d'Oran2-Mohamed Ben Ahmed. Je tiens à le remercier pour ses précieux conseils.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur Sid-Ahmed SOUIAH qui a pris le relais dans la direction de ce Magister, pour ces orientations tout le long de ce travail et pour son bénéfique « coaching ».

Ma profonde reconnaissance va aussi à Mesdames et Messieurs les membres du jury.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Mr SMAHI Eldjoudi, Ex maître assistant à l'université de Mostaganem auprès duquel j'ai trouvé assistance et conseil à distance.

À Mme BELKADA Meriem, Ingénieur au DPAT de Mostaganem. Je tiens à la remercier pour son aide.

Mes remerciements vont aussi aux responsables et à l'ensemble du personnel technique et administratif du centre des techniques spatiales CTS Arzew.

Au personnel administratif de l'IGAT, j'exprime ma profonde gratitude pour l'aide qu'ils m'ont apportée.

Merci à Mesdames GOURINE Farida et BEN SAFI Athaouia et à toutes les personnes qui ont contribué directement et/ou indirectement à l'aboutissement de ce mémoire. Que celles et ceux que j'ai pu omettre de mentionner se trouvent ici reconnus.

Enfin, mes pensées vont vers mes proches qui me sont chers et sans qui ce mémoire n'aurait pu naître ni se construire ; vers mes précieux parents qui m'ont toujours encouragé en donnant le maximum pour mon bien être et mes études.

À mes frères et sœurs, neveux et nièces et à toute la famille. À toutes mes amies.

MEGHERBI Wahiba

Table des matières

Sommaire

Titre	Page
-Avant Propos	
-Remerciements	
-INTRODUCTION GENERALE	8

PREMIERE PARTIE L'EFFET DE L'ENSABLEMENT SUR LES MILIEUX AGRICOLES ET URBAINS

-INTRODUCTION	15
- Présentation du cadre de l'étude : la wilaya de Mostaganem	16
CHAPITRE I: Le risque naturel et sa vulnérabilité dans la zone d'étude	17
I-1 Identification du phénomène d'ensablement dans la région de Mostaganem	18
I-2 Localisation du processus d'ensablement dans les grandes composantes morphologiques	18
I-2-1-Type d'accumulation sableuse	18
1) Les dunes vives	18
2) Les dunes consolidées	19
I-3 Origine des différents types de sables, côtiers et du Plateau	19
I.3.1. L'accumulation près des plages.	19
I.3.2. Les accumulations à l'intérieur du plateau	19
I-4 Les formes les plus répandues d'accumulations sableuses	20
I.4.1. Transport des sables	20
a/ Mécanisme du mouvement par grain	20
b/ Le mécanisme de mouvement en masse	21
I.4.2. Principales formes d'accumulation des sables	21
1- Les ripples marks ou rides	21
2- Voile sableux ou éolien	22
3- Nebka	22
4- Barkhane	22
5- Dunes linéaires ou sifs	22
6- Dunes pyramides ou ghourds	22
7- Aklé.	22
8- Dune parabolique	22
9- Dunes longitudinales ou sandridge	24
Conclusion	24
CHAPITRE II : Les facteurs en relation avec le risque d'ensablement	24
II.I. Les caractéristiques physiques et leurs effets	26
I.1. Les grands traits morphologiques de la zone d'étude :	26
a- Le plateau de Mostaganem	28
b- Les Monts du Dahra	28
c- Le cordon littoral	28
d- La Vallée du Cheliff	28
e- Collines sublittorales	28
f- La Plaine des Bordjias	29
I.2. Place de l'approche géologique	29
1. Marnes bleues du Mio-Pliocène	29
2. Grés du Pliocène	29
3. Sable du plateau	30
4. Les alluvions Quaternaires	30
I.3. Quel rôle pour le réseau hydrographique ?	32
I.4. L'influence du système hydrogéologique	32
1. La nappe du plateau de Mostaganem	32
2. La nappe côtière	33
I.5. Une pédologie particulière, favorisant le transport du sable	33

1. Les sols littoraux	33
2. Les sols des crêtes et du plateau	33
3. Les sols sableux du plateau	34
4. Les sols de dépressions	34
II.II. Une zone climatique semi-aride faiblement arrosée	34
1. État des précipitations dans la région de Mostaganem	34
1/ Les pluies	35
2/ Variation inter -annuelle des précipitations	37
3/La gelée	38
2. Les températures	38
3. Le vent, le facteur principal de transport	39
3.1. Caractéristiques des vents	39
4. Les facteurs climatiques secondaires	40
1) L'humidité relative de l'air	41
2) Le brouillard	41
3) L'évapotranspiration	41
4) Le bilan hydrique à Mostaganem	42
II.III. L'aspect bioclimatique	45
1. Les indices d'aridité climatique et bioclimatique	45
II.IV. Une richesse floristique menacée : L'aspect Biotique	49
1. La couverture végétale permanente	49
1.1 Le domaine forestier	49
1.2 Les cultures pérennes	50
1.2.1 L'Arboriculture	50
1.2.2 La vigne	50
2. La couverture végétale temporaire	51
3. Les terrains nus	51
II.V. La présence de l'homme facteur accélérant le processus	51
1. Une population rurale en mutation et une demande croissante en industrie	51
Conclusion	52
CHAPITRE III : Anthropisation, entre effets et réactivité de l'ensablement	54
III.1. Une agriculture manquée par les héritages	55
1.2. L'héritage colonial ; place du statut foncier dans le processus l'ensablement	56
1.3. L'influence de l'occupation du sol et des superficies cultivées	56
1.3.1. La céréaliculture, une pratique très répandues dans la région	57
1.3.2. Les effets de l'arrachage du vignoble, et sa reconstitution par la suite	57
1.3.3. Les outils de travail et les systèmes de cultures	59
1.4. Surpâturage et raréfaction des espèces végétales : la vulnérabilité en question	59
III.2. l'urbanisation ; une menace sur les sols facteur aggravant les risques d'ensablement	60
2.1. La croissance urbaine	60
2.1.1. Les indices de l'urbain et la mesure du rythme de l'urbanisation	60
2.2. Les effets de l'étalement spatial	62
2.2.1. La ville héritée de la période coloniale	62
2.2.2. Nouveaux espaces urbanisés et nouvelle morphologie urbaine	65
2.3. Morphologie urbaine : microclimat et ses effets sur la direction des vents	68
2.3.1. Le rôle de la densité d'un tissu urbain dans l'orientation des écoulements éoliens	70
2.3.2. Le comportement du vent ; agent principal de transport et de dépôts sableux	71
Conclusion	73
CONCLUSION	74

DEUXIEME PARTIE
L'EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE L'ENSABLEMENT ET D'URBANISATION

-INTRODUCTION	77
CHAPITRE I : L'apport de l'outil satellitaire et choix des images satellitaires utilisées	80
-Introduction	80
I.1 Images satellitaires utilisées	80
1.2. Caractéristiques spatiales et spectrales des images satellitaires	81
1.3. Description des logiciels utilisés dans ce travail	82
1.4. Composition colorée utilisée	83
1.5 Obtention d'un masque à partir d'ENVI	84
Conclusion.	87
CHAPITRE II : Les traitements réalisés	88
Introduction	88
1. Classification supervisée	88
1.1. Choix d'algorithme de classification	89
1.2. La définition des classes	90
1.3. Transformation en format vecteur	90
1.4. Evaluation de la qualité de la classification	93
1.4.1. Matrices de confusion	94
1.5. Interprétation de la classification supervisée	94
2. Indices de végétation	96
2.1. NDVI	96
2.2. Interprétation des résultats de l'NDVI	97
3. L'indice de cuirasse	102
3.1. IC	102
3.2. Interprétation des résultats à partir du calcul de l'indice de cuirasse	105
4. Détection de l'ensablement à partir des deux indices, NDVI et IC	111
Conclusion.	113
CHAPITRE III: Ensablement et urbanisation entre mesure et impact	114
Introduction	114
III.1. L'étalement urbain crée la vulnérabilité comment ?	114
1.1. Catastrophe de kharouba et de Sidi El Mejdoub	116
III.2. Les menaces aux sols entre nature et anthropique	124
2.1. La zone de Mesra	124
2.2. La zone d'Ain Tedlès	126
Conclusion.	130
CONCLUSION	132

TROISIÈME PARTIE
ENTRE PRATIQUE ET PREVISION DU RISQUE ENSABLEMENT

-INTRODUCTION	134
CHAPITRE I : Les procédés de lutte contre le phénomène d'ensablement d'origine anthropique	136
-Introduction	136
1. Aménagement approprié à l'anthropisation en cordon dunaire	136
1.1. Les mesures à prendre pour éviter un ensablement accéléré par l'urbanisation	136
1.2. Dans le cas de la morphologie urbaine et comportement des vents	142
1.2.1. La conception des constructions dans les anciens tissus Sahariens	143
1.2.2. Ouréah, zone urbaine à risque, Conception et proposition d'aménagement	146
1.3. La flore, une protection naturelle en disparition	150
1.4. La participation citoyenne : une nécessité pour lutter contre l'ensablement	152
Conclusion.	152

CHAPITRE II : Les types d'aménagements existants et propositions de lutte	153
-Introduction	153
2.1. Les procédés de lutte dans les secteurs sensibles	153
2.1.1. La technique par fixation mécanique	154
2.1.2. La technique par fixation biologique	156
2.1.3. La technique des pierres à turbulence	158
2.2. Le retour du vignoble et différents moyens de lutte contre l'ensablement	158
2.2.1. La reconstitution du vignoble avec brise-vent	158
2.2.2. Le reboisement de l'arganier	158
2.2.3. Autre moyens de lutte	161
Conclusion	161
-CONCLUSION	162
CONCLUSION GENERALE	166
Références Bibliographiques	168
Annexe	173
Liste des figures	187
Liste des tableaux	189
Liste des photos et schémas	191
Liste des abréviations	192
Abstract.	193

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Les franges méditerranéennes sont soumises à d'intenses pressions démographiques, conduisant à une urbanisation et une littoralisation de grande ampleur menaçant les terres les plus fertiles. L'érosion a aussi pour sa part un rôle très important dans la destruction des sols méditerranéens.

Dans les périphéries des villes, le développement des surfaces artificialisées (zones industrielles ou urbanisées, les réseaux de transports et autres infrastructures, décharges autorisées ou non) a mené à d'importantes pertes de terre à fort potentiel agricole. C'est le cas en *Algérie* où l'étalement urbain mal maîtrisé du Grand Alger aurait dévoré 140 000 ha de terres fertiles, notamment dans la plaine de la Mitidja. (Plan Bleu -2003)

C'est ainsi que notre pays a perdu au cours des trente dernières années, plus de 5,4 millions d'ha de terres productives, réparties comme suit : 1,5 millions d'ha à cause du déboisement, 1,4 millions d'ha par l'érosion hydrique, 1 million d'ha par l'ensablement, 25.000 ha par l'empiétement et enfin 20.000 ha par la salinité. (Bou Kheir et Girard -2001)

Dans les zones Algériennes arides ou semi-arides, l'érosion éolienne est un processus très répandu : non seulement au Sahara et les zones steppiques mais aussi dans certaines plaines littorales et alluviales. Ainsi, 500.000 hectares de formations éoliennes s'étendent au nord de l'Atlas Saharien dans les trois bassins endoréiques des Chotts Chergui, Zahrez Gharbi et du Hodna, le plus important des cordons a 200 km de long, 5 à 7 km de large et atteint par endroit 15 m de haut (Coude -1994).

L'action anthropique (le déboisement, les incendies, le surpâturage et l'utilisation de certains outils de travail particulièrement inadaptés, auxquels s'ajoutent les constructions anarchiques) intervient pour une grande part dans l'accélération du processus éolien ; c'est le cas de notre zone d'étude la région de Mostaganem, où il a été constaté plusieurs accumulations sableuses à l'intérieur du plateau, et le long de la côte résultat de l'anthropisation¹ dans le cordon dunaire. Son impact est visible sur le milieu naturel (forêts ensablées, terres agricoles envahies par le sable) et sur le milieu urbain (ensablement dans les zones agglomérées et les axes routiers).

Les terres de la wilaya de Mostaganem touchées par l'érosion hydrique sont estimées à 12.586 ha, celles par la salinisation à 25 000 ha tandis que celles concernées par l'érosion éolienne et les dépôts de sable sont estimées à 13.856 ha. Ce dernier processus a un impact très important sur le milieu naturel, favorisé également par l'action d'anthropisation citée, et plus précisément les effets de l'ensablement et de l'étalement urbain mal maîtrisé, objet de notre étude.

¹ Anthropisation du cordon dunaire est le résultat du surpâturage et défrichement et des constructions édifiées ces dernières décennies.

Problématique

Le risque d'ensablement est peu pris en considération dans les zones tellienne, contrairement aux zones sahariennes et steppiques alors qu'il revêt un caractère de haute importance pour l'agriculture, les infrastructures routières et les zones urbanisées.

Ce risque est aggravé par plusieurs facteurs, à la fois directs et indirects, et s'est renforcé par l'action de l'homme et le peu de souci qu'il accorde à la préservation de l'espace naturel. Ainsi l'anthropisation de ces milieux a certainement participé à son accélération durant ces dernières années bien que certains facteurs historiques ont contribué au déclenchement du risque d'ensablement dans la région étudiée (déforestation de la période coloniale, arrachage de la vigne dans les années soixante dix).

Les travaux universitaires et scientifiques ont approché la question de l'ensablement dans les zones telliennes (littorales et intérieures) aussi bien durant la période coloniale que dans la période post-indépendance. Dès 1882, Pomél a qualifié le Plateau de Mostaganem comme étant « Un petit désert égaré dans le tell », quelques années plus tard, Gautier(1902) dans un article pour la Revue de la Société de Géographie et d'Archéologie d'Oran considère que l'ensablement observé au plateau de Mostaganem trouve son explication dans les conditions physiques et climatiques locales et seraient responsable de la formation de dunes sur place. Hanni (1991) a pu mettre en évidence des zones sensibles dans le plateau de Mostaganem et a constaté des zones de déflations.

Les références bibliographiques précédemment citées montrent le poids des caractéristiques du milieu. Cependant les travaux de Larid (1996) indiquent que l'usage de certains outils dans les pratiques culturelles portent atteinte au sol en facilitant ainsi le transport éolien du sable et participent à l'appauvrissement de la fertilité des sols.

Pour la première fois, Smahi El Djoudi(2001) a identifié par photographie aérienne le phénomène d'ensablement dans une zone test du plateau de Mostaganem.

A partir de ces travaux, on peut considérer que le phénomène d'ensablement existe bien dans la zone de Mostaganem et mérite d'être approfondi, notamment en examinant le poids des conditions physiques, bioclimatiques et anthropiques dans le renforcement du risque d'ensablement, mais aussi par l'approche satellitaire (Landsat TM et TM+, Quick Bird , Google earth) que nous proposons dans ce travail afin de caractériser les différentes unités dans l'évolution de leur modes d'occupation, d'établir le suivi du couvert végétal et les zones d'ensablement saisies globalement par classification des images satellitaires de moyenne résolution (Landsat) et mieux précisées par les images haute résolution spatiale(Quick Bird, Google Earth)et les observations terrains.

En outre, les aménagements urbains préconisés ont des répercussions sur l'aggravation du risque d'ensablement, en ce sens où l'orientation et l'hétérogénéité des hauteurs des bâtiments provoquent des vents tourbillonnaires dans les tissus urbains et leurs voisinages immédiats.

L'ENSABLEMENT, Un risque négligé en zone tellienne littorale

Au niveau des zones rurales, les agriculteurs sont conscients du risque et utilisent le peu de moyens à leur disposition pour lutter contre l'ensablement.

Notre travail s'efforcera de montrer l'incidence des pratiques culturales sur le renforcement du risque d'ensablement et d'identifier les moyens de lutte pour minimiser le phénomène.

Dans nos hypothèses de recherches, nous estimons qu'il est important de rappeler les facteurs les plus déterminants dans le processus d'ensablement et d'identifier les accumulations dunaires de la région étudiée, nous avons présenté l'ensemble de la typologie dunaire en zone aride et semi-aride et ce afin de déterminer le niveau de dangerosité du phénomène. Ensuite, il faut expliquer quels sont les facteurs responsables du processus ? Pourquoi certaines zones sont plus touchées que d'autres ? Le phénomène d'ensablement s'est-il accéléré ces dernières décennies ? Et peut-on réellement l'endiguer constamment par des aménagements plus adéquats et plus cohérents et par des actions de protection de l'environnement. ?

La méthodologie adoptée dans ce travail tiens compte des objectifs et de la problématique énoncée précédemment.

Le but de notre travail est de discerner les facteurs responsables du processus d'ensablement, et d'aborder le phénomène d'anthropisation, beaucoup plus à travers une démonstration des effets conjugués des extensions urbaines faites sur le cordon dunaire et au détriment de la couverture végétale, afin de développer par la suite une stratégie d'aménagements et de propositions adéquates aux zones sensibles de la région d'étude.

Elle comprend les étapes suivantes :

- Une recherche bibliographique concernant les actions érosives de la région à travers les études réalisées (les thèses, les mémoires, ouvrages et articles).
- Une exploitation de différentes cartes : topographiques, géologiques, climatiques à l'échelle 1/25.000, 1/50.000 et 1/200.000, traitement et interprétation des images satellitaires multi-dates. (1987-2008-2011)
- Une collecte des données climatiques recueillies auprès de l'O.N.M, particulièrement l'analyse des vents afin d'avoir une meilleure compréhension du comportement du processus éolien avec le milieu physique et urbain.

Notre travail se divise en trois parties :

- La première partie est basée sur la revue bibliographique et vise à présenter la région d'étude dans son contexte environnementale. Nous aborderons la notion du risque naturel en générale et d'ensablement par la suite. Après un rappel des différentes caractéristiques morphologiques, bioclimatiques et socioéconomiques, nous montrerons comment la combinaison de ces facteurs permet de comprendre les mécanismes qui influencent la dynamique spatio-temporelle de l'ensablement.

Nous exposerons ensuite le problème anthropique dans la région d'étude en mettant l'accent sur l'épineux problème de l'urbanisation dans les dunes et au détriment des

L'ENSABLEMENT, Un risque négligé en zone tellienne littorale

terrains agricoles auquel, il est agent actionnaire dans la dégradation du milieu et l'évolution du risque d'ensablement.

- La deuxième partie est une partie expérimentale où l'outil télédétection est utilisé pour suivre l'évolution du risque d'ensablement et l'orientation des constructions, par une évolution spatio-temporelle :
- ◆ Dans le premier chapitre nous avons présenté les différentes images satellitaires et leurs caractéristiques. Deux dates ont été choisies (1987 et 2011) selon la disponibilité des images qui couvrent toute la zone « à travers le capteur Landsat ».
- ◆ Le deuxième chapitre : Traitement choisi et pour quel objectif ?

Nous avons montré l'occupation du sol à l'échelle de toute la wilaya par l'échantillonnage de l'image satellitaire ensuite , à partir de sa classification nous avons prélevé les zones exposées à l'ensablement, et pour bien spécifier l'impact anthropique dans l'accroissement du phénomène nous avons opté pour des traitements NDVI et IC, le premier est l'indice de végétation et le deuxième est l'indice de cuirasse qui nous permettront de suivre la densité de la végétation et l'enveloppe urbaine, c'est à travers ces traitements que nous avons obtenu nos résultats basés sur nos observations des lieux et sur des relevés à l'aide du GPS (Global-position - satellite).

- ◆ Le troisième chapitre a été consacré à l'étude diachronique à l'aide de l'image Quickbird et des sorties terrains, nous avons voulu donner une approche sur l'anthropisation et son rôle dans l'accélération du processus favorisé par les conditions naturelles dans les lieux dits sensibles et, ce après un bref rappel du comportement des vents vis-à-vis d'un obstacle. Le but de ce chapitre est de mettre le point sur la relation qui existe entre les éléments physiques et les éléments anthropiques, entre causes et cause à effet.
- La dernière partie a été consacrée aux projets d'aménagements urbains qui ont pris une part importante dans notre étude, nous avons utilisé le logiciel Studio-max3D pour proposer un modèle qui se synchronise avec une nouvelle vision, celle d'un aménagement urbanistique durable dans un esprit environnemental.
Par la suite, nous avons estimé nécessaire qu'une brève connaissance historique sur les aménagements de lutte est importante à énumérer. Les types de techniques existantes traditionnelles et modernes adoptées par les agriculteurs et/ou par les services des forêts dans le cadre de la lutte contre l'ensablement sont aussi mentionnés, d'autres procédés de lutte ont été proposés au vu de leur réussite dans certains pays voisins comme la Mauritanie et qui peuvent être bénéfiques pour notre zone d'étude.

Enfin nous avons développé des propositions pour lesquelles, nous espérons recevoir l'approbation des autorités habilitées.

PARTIE I
**L'effet de l'ensablement sur les milieux
agricoles et urbains**

*« Souffle, souffle, vent d'hiver, tu n'es pas si cruel que l'ingratitude de l'homme »
William Shakespeare (1564-1616)*

Introduction de la première partie

L'Algérie est un pays où le phénomène d'ensablement représente un risque majeur dans certaines régions littorales et steppiques ; résultat des processus éoliens et parfois hydriques, ce dernier paralyse et menace les cultures et infrastructures, au Sahara et dans la steppe. Effectivement 83% de la superficie du pays est constituée de sable ce qui explique les processus éoliens dans ces zones arides, mais il s'avère que les phénomènes érosifs éoliens menacent d'autres régions dans le Tell en générant une forte mobilité des sables. C'est en effet le cas de la zone d'étude, Mostaganem où il ya présence d'un stock de sable issu de l'érosion des sols dénudés de végétation, renforcé par les conditions physiques et climatiques de la région, ainsi que par les effets néfastes de l'homme.

Présentation du cadre de l'étude : la wilaya de Mostaganem

Elle est située au Nord Ouest du Territoire National et couvre une superficie de 2269 Km², avec une façade maritime de l'ordre de 120km Elle est limitée :

- A l'Est par la Wilaya de Chleff
- Au Sud par les Wilaya de Mascara et Relizane
- A l'Ouest par les Wilaya d'Oran
- Au Nord par la Mer Méditerranée

Entre les coordonnées géographiques (0°8' Ouest 36°29' Nord) et (0°46' Est 35°37' Nord) (fig .01).

La région de Mostaganem se caractérise par un climat semi aride à hiver tempéré et une pluviométrie qui varie entre 350mm et 400mm et un relief qui s'individualise en deux principales unités morphologique.

-Les Monts Dahra

-Le Plateau de Mostaganem

Sa population est passée de 504 991 habitants¹ à 629 445 habitants 1998 pour arriver à 737 118 habitants en 2008 , soit un taux d'accroissement 1.7 (1998-2008) avec une densité de 333 hab/Km².

Actuellement, de nouvelles menaces sont apparues qui augmentent le risque d'ensablement, elles sont liées aux bouleversements socio-économiques et aux conditions physiques ainsi que climatiques de la région, nous allons à travers la présente partie les examiner.

¹ DPAT Mostaganem

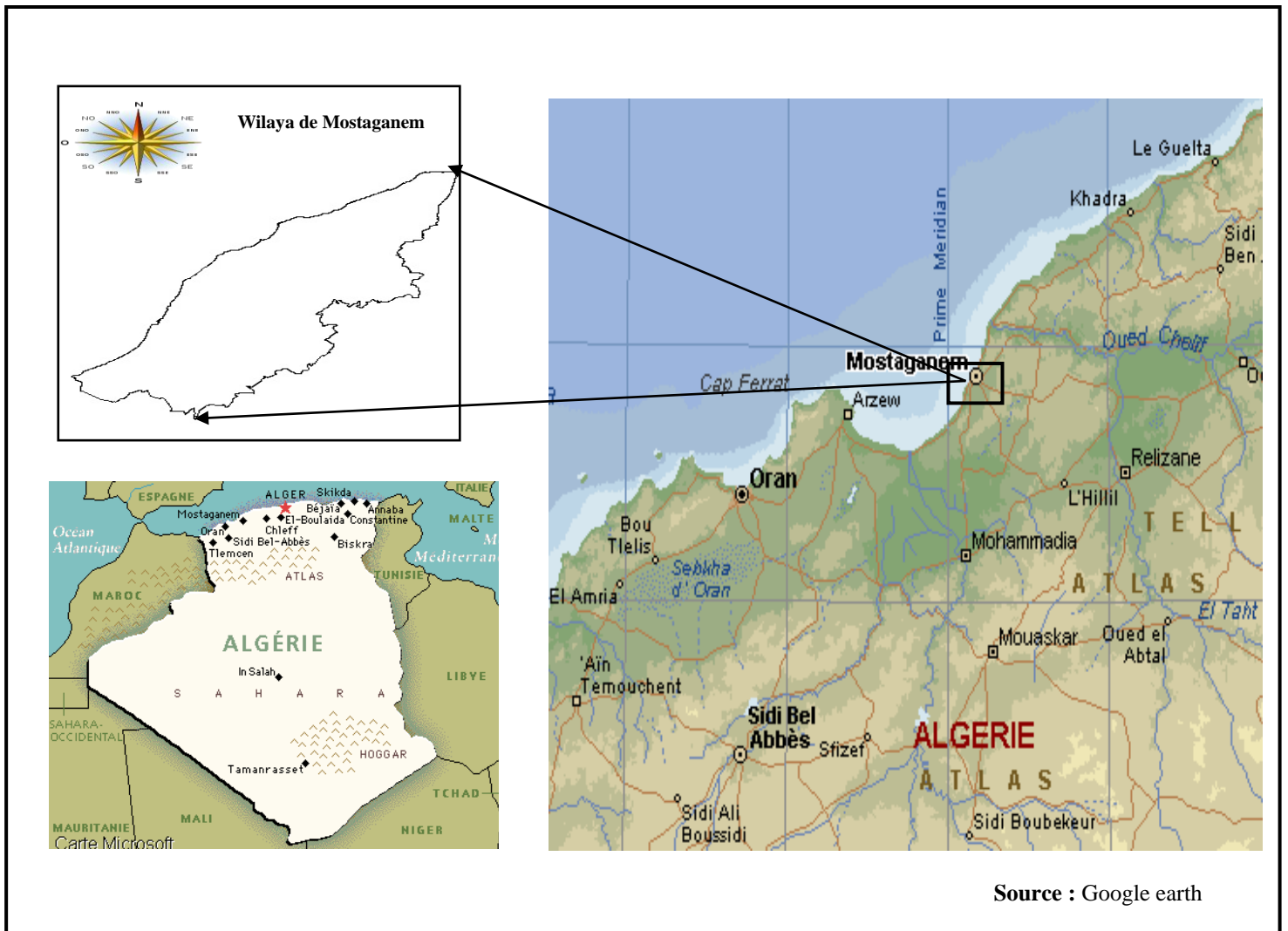


Figure n° 01 : Localisation de la zone d'étude, wilaya de Mostaganem

CHAPITRE I : Le risque naturel et sa vulnérabilité dans la zone d'étude

En géographie les espaces à risque se présentent comme étant le produit d'un aléa et de vulnérabilités et se définissent par l'existence d'enjeux de développements qui peuvent être menacés en fonction de leur vulnérabilité et de leur exposition à des phénomènes de rupture, naturels ou anthropiques. La vulnérabilité d'un espace à risque est donc la proportion à perdre des éléments considérés comme essentiels au développement environnemental « urbain ou agricole » (Ercole et Metzger- 2002).

I-1 Le phénomène d'ensablement à Mostaganem :

L'ensablement est le résultat des dépôts éoliens favorisés par la nature du sol où le vent arrache les particules fines de la surface de la terre dans les zones arides et semi arides ; donc un double danger menace les sols de ces régions :

*Celui d'être réduit à l'état squelette après le départ des éléments fins enlevés par le vent.

*Celui d'être recouvert par le sable.

L'ensablement présente un risque lorsqu'il touche aux enjeux économiques (agriculture et zones urbanisées) d'une région et il est basé sur les critères suivants :

- Lorsque le sol est couvert d'une couche de sable et devient de ce fait stérile.
- Lorsque les cultures disparaissent sous une couche de sable sur laquelle pousse des espèces végétales naturelles.
- Ou lorsque les labours n'atteignent plus le sol.
- Quand il ya un voile sablonneux sur les routes, et présente un danger pour l'homme (les conducteurs et passagers des véhicules)
- Quand les systèmes de lutte contre l'ensablement des terres productives ne sont plus efficaces (baisse de la production)
- Quand il ya des accumulations sableuses dans les zones urbaines et les axes routiers.
- Quand les secteurs touristiques sont menacés par la destruction du système dunaire, donc perte de la faune et ensablement issus des processus érosifs.

C'est à travers ces critères que nous pouvons dire que la zone de Mostaganem connaît un phénomène d'ensablement en proie à des risques importants.

I-2 Localisation du processus d'ensablement dans les grandes unités morphologiques de la région :

Avant d'entamer l'étude du processus d'ensablement, un aperçu sur les principales unités morphologiques est essentiel pour bien le délimiter spatialement.

Le relief de la Wilaya de Mostaganem s'individualise en quatre unités morphologiques appartenant à deux (02) régions distinctes : le Plateau et les Monts Dahra.

* Le plateau de Mostaganem appartient au Tell occidental algérien, à une soixantaine de kms à l'est d'Oran. Il couvre une superficie de 750km², son altitude augmente sensiblement d'Ouest en Est (de 130 à 293m). La morphologie du plateau n'est pas absolument plate, on peut voir trois zones « bombées » correspondant à d'anciennes dunes consolidées et entre lesquelles s'intercale chaque fois une dépression. Ces reliefs ont des surfaces inégales : sur environ le 1/3 ouest du plateau, nous trouvons deux zones surélevées entourant une étroite dépression. Sur les 2/3 restants (vers l'est), les dépressions sont plus larges et les parties « bombées » très entaillées avec des replats et des surfaces plates bordées de talus représentant des « reliefs résiduels ». Ces différentes unités morphologiques (composantes principales du relief) sont parsemées de différents types de dunes :

- des dunes vives.
- des dunes consolidées à sommets aigus et d'autres à sommets arrondis.

Parallèlement au plateau il ya le cordon littoral d'une superficie de 27.047ha, il est représenté par des pentes variables, les plus fortes atteignent 25% et se composent de formations dunaires mobiles ou consolidées.

* Les reliefs appartenant aux Monts Dahra s'étendent sur une superficie de 80.337ha. Ils sont constitués par des piémonts à forme molle, de texture limoneuse sableuse avec des pentes de 3 à 25% les altitudes oscillent entre 400 et 600m. Les Monts Dahra sont soumis à une très forte érosion hydrique et éolienne.

I-2-1-Type d'accumulation sableuse :

D'après la répartition des sables à l'échelle de la zone, force est de constater que les accumulations éoliennes sont plus importantes sur le plateau de Mostaganem :

Le cordon dunaire littoral et les dunes à l'intérieur du plateau sont sous forme de dunes vives et de dunes consolidées (Gautier-1902)

1) Les dunes vives :

Parallèlement au plateau et au trait de la côte il existe un cordon dunaire assez continu dû aux accumulations récentes d'origine marine, ce cordon est caractérisé surtout par des formations de dunes vives.

2) Les dunes consolidées : Les deux formations les plus anciennes (quaternaire ancien) sont caractérisées par la présence d'encroûtement très induré et très épais (carapace) formant soit une dalle à croûte grise feuilletée bien indurée, soit une dalle rose saumon gréseuse pouvant atteindre 40 cm d'épaisseur.

Les dunes à croûte rose feuilletée de 50 cm d'épaisseur sont du Quaternaire moyen. Elles comportent souvent un paléosol rouge à deux ou trois horizons

-Les dunes du Quaternaire récent sont des dunes grésifiées, de teinte grise foncée souvent consolidées dans leur masse par le calcaire et qui présentent une structure litée entrecroisée typique. Cette formation est présente dans le plateau de Mostaganem, elle est localisée aux abords de la vallée de jardins.

I-3 Origine des différents Types de sables, côtiers et du plateau :

I.3.1. L'accumulation près des plages : Le cordon dunaire littoral.

L'accumulation des sables près des plages a donné naissance à un cordon dunaire parallèle au plateau et à la mer composé de deux types de dépôts :

- Microdunes éparses : près de la plage, les grains de sable remaniés par les vents d'ouest et les vagues, s'accumulent et forment des petites dunes plus ou moins mobiles.
- Dunes consolidées : en arrière de cette première ceinture de dunes se trouve une deuxième plus large et plus haute atteignant parfois 20 à 30m environ. (Belgat-1984).

I.3.2. Les accumulations à l'intérieur du plateau : le complexe dunaire

D'après G. Thomas (1985), les dépôts non rubéfiés rharbiens se sont mis en place dans les mêmes aires paléogéographiques que les sédiments rubéfiés auxquelles elles succèdent ; les processus sont variés et on peut distinguer les dépôts d'origine alluviale et ceux d'origine éolienne.

Les accumulations éoliennes sont constituées par les sables du plateau de Mostaganem. Le développement de ces accumulations sableuses a donné naissance à des complexes dunaires allongés E-W sur le plateau de Mostaganem. Ils garnissent en partie les dépressions SW-NE occupés par les limons soltaniens et rharbiens et se jettent également sur le versant NW des monts de Bel-Hacel.

D'après SMAHI (2001) plusieurs propositions ont été mises en relief pour identifier la source d'alimentation du sable.

- ❖ La première hypothèse : Le niveau de la mer a changé plusieurs fois au cours du pliocène (au moins deux fois) et du quaternaire. Quand il augmente, la mer recouvre la terre sur une certaine distance et y dépose donc des sédiments généralement fins.

Quand le niveau de la mer diminue, la mer se retire, les dépôts marins se retrouvent donc à l'air libre et par conséquent, l'érosion éolienne peut y être active.

- ❖ La deuxième hypothèse, le sable est fourni par le cordon dunaire côtier (sables marins et alluvions continentales) .Cette hypothèse a été plus ou moins écartée à cause de la

présence de la falaise qui joue le rôle d'obstacle aux vents dominants (N à WSW) chargés de sable ; mais une quantité peut provenir de cette zone.

- ❖ La Troisième hypothèse : le sable provient directement des produits de l'altération de la roche mère. La désagrégation mécanique des grès (calabrien et astrien) a donné naissance à un manteau grès - sableux d'épaisseur variable. Localement les sables de ce manteau sont repris par l'érosion éolienne, ils sont entraînés partout où le sol n'est pas protégé et s'accumulent en formant des dunes. Ces accumulations sont surtout abondantes dans les dépressions et en placage sur les versants N-W d'Ennaro, de Bel-Hacel et l'Akboub.

I-4 Les formes les plus répandues d'accumulations sableuses :

D'après J.Greco et Mainguet, la forme de la dune et le mécanisme de sa formation sont de bons indicateurs du risque d'ensablement.

I.4.1. Transport des sables :

Nous appelons sable toute particule ou fragment de roche susceptible d'être transporté ou mis en mouvement par le vent. Cette mobilisation se produit généralement à partir d'une vitesse comprise entre 4 et 6 m/s. (Henin-1960). Selon leur granulométrie, les grains de sable sont fins ou grossiers. La nature géologique de la roche mère donne aux grains des densités et des teintes différentes, la forme des grains dépend elle aussi des frottements qu'elle subit le long de sa trajectoire de migration.

Sous l'action d'un vent efficace, le sable est mis en mouvement par grains ou en masse.

a/Mécanisme du mouvement par grains:

Les grains de sables se déplacent individuellement suivant l'un des trois modes de déplacement de grains par, saltation, reptation ou suspension. La densité, la granulométrie des grains et la vitesse du vent sont les facteurs qui interviennent dans le classement de ces modes de déplacements précités.

Grâce à sa granulométrie extrêmement fine, le matériel résultant de ce mode de transport ne peut jamais, à lui seul, provoquer un ensablement menaçant.

b/Le mécanisme de mouvement en masse:

Les particules en mouvement sont le siège d'interactions, dont les principales sont l'effet d'avalanche, le triage et la corrosion. L'effet d'avalanche est la conséquence de la saltation. En retombant, les grains de sable provoquent le déplacement d'une quantité plus importante de particules. Ainsi, plus le phénomène causé par le vent est intense, plus le nombre de particules mises en mouvement augmente, jusqu'à ce qu'un maximum (saturation) soit atteint, où la quantité perdue est égale à la quantité gagnée à chaque instant. La distance nécessaire pour atteindre cette saturation va dépendre de la sensibilité du sol à l'érosion.

Le triage, concerne le déplacement par le vent, de particules plus fines et plus légères, alors que les plus grosses restent sur place. Cet effet entraîne progressivement l'appauvrissement du sol puisque la matière organique formée d'éléments fins et légers est la première à être emportée.

La corrosion, est l'attaque mécanique de la surface sur laquelle souffle un vent chargé de sable. Dans les régions arides ou semi aride, elle est la cause aggravante de l'érosion des sols et se traduit par des stries parallèles ou par un polissage des roches.

I.4.2. Principales formes d'accumulation des sables :

Quand le vent perd de vitesse d'entraînement du sable, les particules sableuses se déposent et donnent des formes d'accumulation très complexes qui sont en fonction de la structure du courant éolien, de la nature de la surface du sol, de la topographie, de la végétation et la dimension des particules de sable. Quelques formes des caractéristiques de ces accumulations sont les suivants : (Hennin-1960)

1-Les ripples marks ou rides: Ce sont des rides transversales qu'on rencontre sur les dunes. Ces micro-ondulations de quelques centimètres de hauteur sont disposées perpendiculairement à la direction du vent qui a été à leur origine. (fig.02)

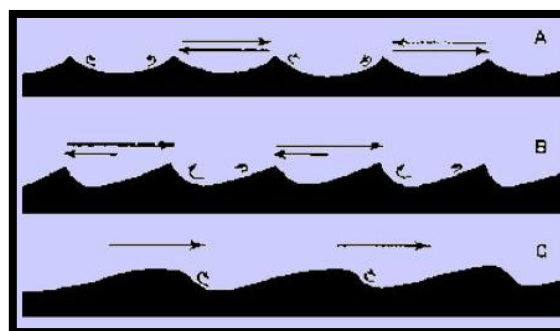


Figure n°02 : Les ripples marks ou ride

A : Symétriques

B : Dissymétriques

C : Rides de courant (Guilcher, 1979)

2-*Voile sableux ou éolien* : qui est un saupoudrage diffus des grains de sable à la surface du sol. Les surfaces très rugueuses ou couvertes de végétation et les pentes sont les lieux privilégiés de formation des voiles sableux. Ce type d'accumulation éolienne est à l'origine de l'ensablement superficiel et prend de l'extension suite aux défrichements, au surpâturage ; le mode de culture et le type de spéculation sont également des facteurs accélérateur du voiles sablonneux.

3-*Nebka* : qui est un dépôt sableux induit par un obstacle (végétal, rocheux,...) se trouvant sur la trajectoire des particules sableuses en mouvement. La taille de nebka est de quelques décimètres de hauteur et de 1 à 4 m de long. En général, l'édification de nebka se fait rapidement en quelques jours de vent fort de direction constante, ce type de formation se trouve dans la bordure Est du plateau de Mostaganem et surtout au long de la frange littorale d'Ouest en Est. (fig.03)

4- *Barkhane* : qui est une dune en forme de croissant. Elle passe par plusieurs stades à savoir le bouclier sableux, bouclier barkhanique et dièdre barkhanique. Il s'agit d'une forme d'accumulation sableuse la plus menaçante pour l'ensablement vu sa capacité de déplacement rapide. La migration des barkhanes requiert trois conditions: un vent constant monodirectionnel, une source de sable importante et de granulométrie allant de 0.12 à 0.25 mm de diamètre, et une surface plane et dure. Les barkhanes étant des constructions instables, mobiles et sans cesse remodelées par le vent, leur vitesse de déplacement peut atteindre plusieurs dizaines de mètres par an. (fig.04)

5-*Dunes linéaires ou sifs* : qui est un édifice allongé, étroit et de forme étirée sur toute sa longueur comme une épée (appelée sif en arabe). Il possède deux côtés à pentes fortes qui se rejoignent en une crête active. La longueur est toujours de huit à dix fois plus importante que la largeur. En générale, les sifs ont de 2 à 3 km de long et 30 à 150 m de large. Quelquefois, ils peuvent être discontinus et assemblés en rides pouvant atteindre 30 à 40 km de longueur. La direction de ces dunes est oblique par rapport à la résultante des vents dominants. Le mouvement d'une dune linéaire se fait par allongement, au fur et à mesure des nouveaux apports de sable par le vent. Ce type de formations existent dans le Sahara Ex : Zahrez, Chotts Gharbi et Chergui et la zone de Mostaganem et loin de sa possession. (fig.05)

6-*Dunes pyramides ou ghourds* : Ce sont des collines de sable souvent en forme de pyramide étoilée avec trois ou plusieurs bras s'étalant à partir d'un sommet qui peut atteindre jusqu'à 300 m de hauteur. Elles naissent à la convergence de plusieurs flux éoliens et sont pratiquement stables et immobiles. Elles deviennent donc des sources de sable qui peuvent donner naissance à des barkhanes ou à des dunes linéaires. (fig.06)

7-*Aklé* : qui est un dense assemblage de dunes qui se tassent et tendent à grimper l'une sur le dos de la précédente. (fig.07)

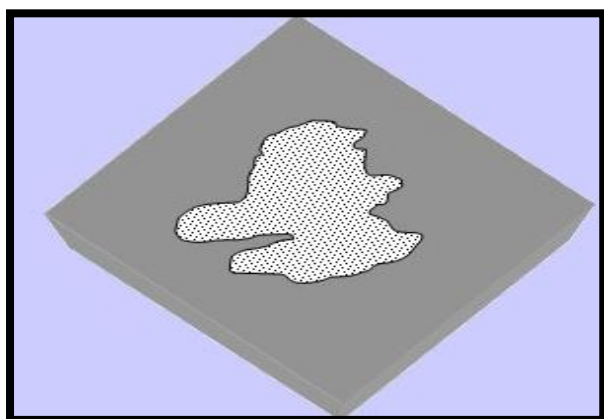


Figure n°03 : Vue superficielle d'une Nebka

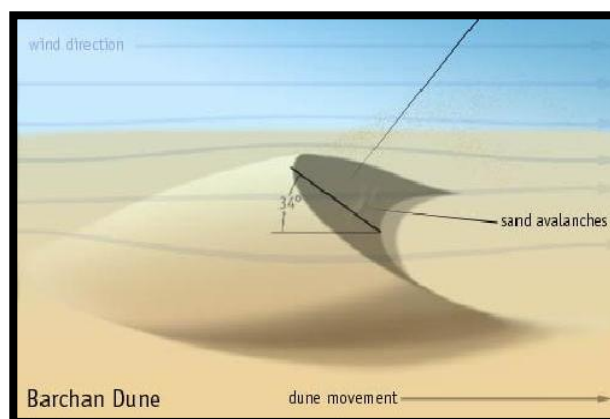


Figure n°04 : Barkhanes

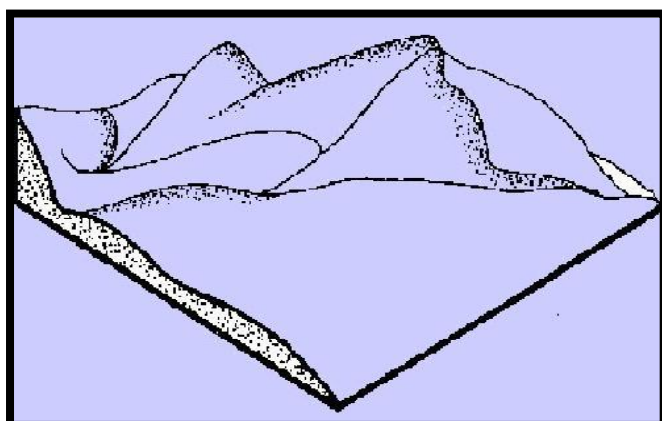


Figure n°06 : Dunes pyramidales.

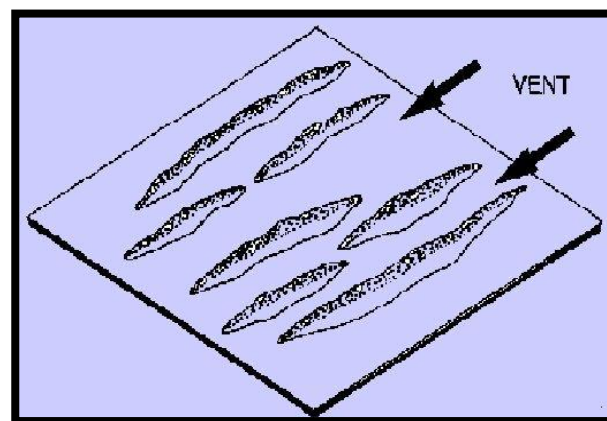


Figure n°05 : SIFS.

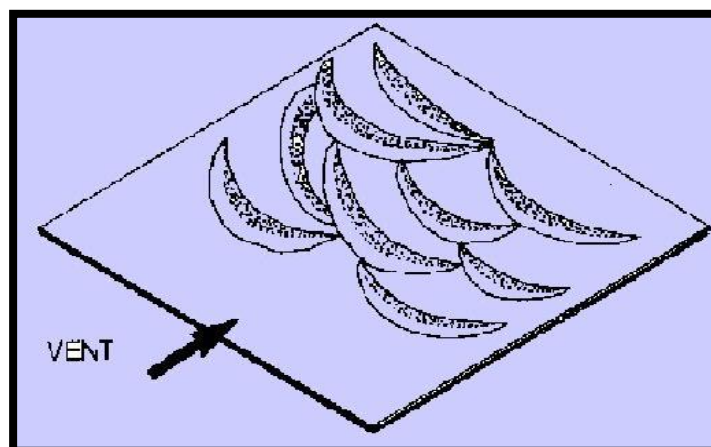


Figure n°07 : Aklés (structure d'erg à plusieurs directions de dunes).

L'effet de l'ensablement sur les milieux agricoles et urbains.

8-*Dune parabolique* : qui est une dune dissymétrique en forme de fer à cheval à concavité au vent souvent plus ou moins fixée par la végétation. Sa disposition par rapport à la direction du vent est inverse à celle de la barkhane. La dune parabolique est peu mobile et généralement ne migre guère une fois qu'elle est formée.

9-*Dunes longitudinales ou sandridge* : qui sont de larges édifices sableux longitudinaux séparés par des couloirs de déflation. Leur masse globale est immobile. Ces cordons longitudinaux sont différents des dunes linéaires. Ils s'alignent dans la direction des vents dominants contrairement aux sifs qui sont obliques par rapport à la direction résultante annuelle. Les dunes linéaires sont façonnées par un dépôt de sable qui arrive obliquement sur la dune tandis que des sandridges existent par suite d'un départ de sable. Les sandridges sont les plus longs édifices éoliens terrestres. (fig.08)

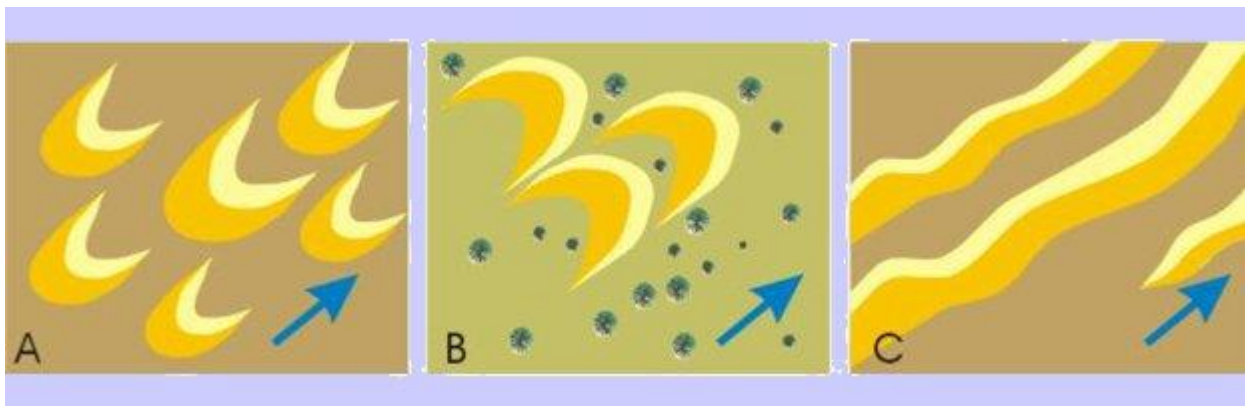


Figure n°08 : Types de dunes;

A: barkhanes; **B:** dunes paraboliques; **C:** dunes longitudinales.
La flèche bleue indique la direction du vent dominant.

Cette démonstration des différents types de dunes est un indicateur de lecture généralisée des formations sableuses qui existent dans un climat semi aride et aride et qui présentent un risque d'ensablement.

Les dunes paraboliques, longitudinales ainsi que pyramidales et les Sifs, Erg sont des formes qui se trouvent dans un climat aride et désertique et qui n'existent pas dans la région.

Conclusion

Nous nous sommes basés sur une étude bibliographique pour mettre en évidence le risque d'ensablement et son identification dans le milieu.

D'après nos observations sur les lieux et sur la base des travaux de recherche, nous avons constaté l'existence de dunes vives, de dunes consolidées sous forme de barkhane et de nebkas ainsi que l'émergence de voiles sablonneux dans le Plateau et parallèlement au trait de côte témoignant ainsi d'une dynamique éolienne et d'un ensablement dans la région. Nous allons développer dans le deuxième chapitre les principaux facteurs à l'origine de cette ensablement.

CHAPITRE II : Le poids des facteurs physiques dans le risque d'ensablement

L'existence de l'ensablement est à l'origine de plusieurs éléments explicatifs que nous allons aborder dans ce chapitre pour aboutir à des facteurs en relation, direct ou indirect avec le processus analysé. (Cf.Organigramme 01)

II.I. Les caractéristiques physiques et leurs effets :

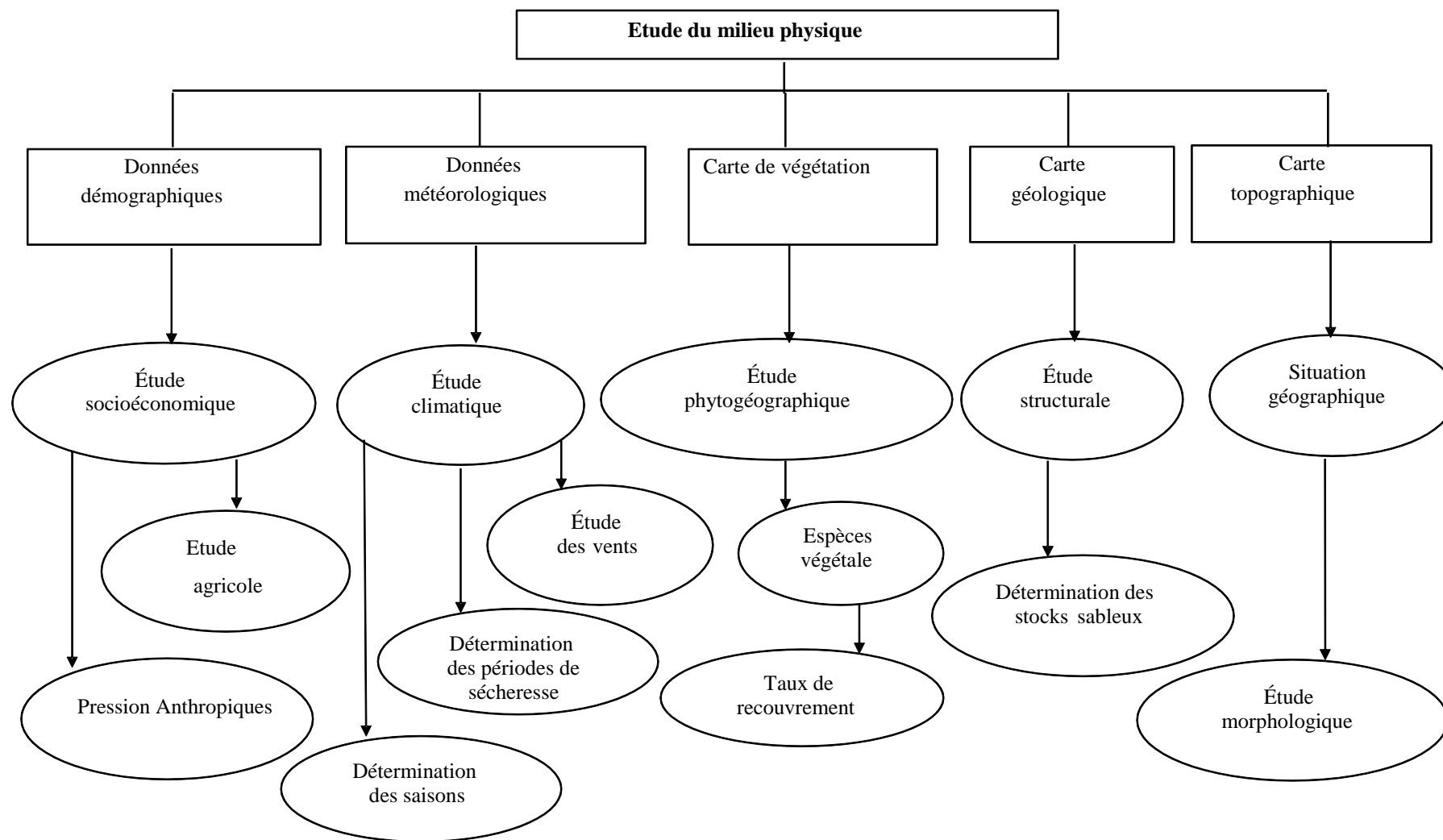
I.1. Les grands traits morphologiques de la zone d'étude :

Plusieurs auteurs ont étudié la morphologie et la structure géomorphologique du Tell algérien, la région de Mostaganem partie du grand Tell a eu sa part dans ces travaux, parmi ces travaux on a ceux de : A. Perodon (1957), de Y. Gourinard (1956), de J. Delteil (1974), de B. Fenet (1975), de G. Gauchez (1975), de G. Thomas (1985), de A. Baiche (1990), S.Blal (1998) ,El.Smahi(2001) et la carte géologique de Mostaganem au 1/50.000 (A. Brives et Dalloni, 1913), les cartes topographiques au 1/25.000 de Mostaganem, feuille n°3/4 et 7/8 et Bel - Hacel, feuille n°1/2 et 5/6 qui présentent un intérêt propre à notre recherche.

Nous rappelons que la wilaya de Mostaganem se caractérise par deux grandes unités morphologiques citées (Cf.PartieI.ChapI) et qui sont ; Le Plateau et les Monts de Dahra.Ces deux ensembles comprennent des sous-unités morphologiques. Nous allons développer beaucoup plus le Plateau de Mostaganem et le littoral du fait de leur importance dans le sujet traité.

La morphologie en général est réduite à de simples collines, d'orientation Nord-Est.

- La pente est peu accentuée. Elle représente 80% des terrains ayant une pente inférieure à 25%.
- L'altitude de la zone est marquée par une dénivelée, qui s'échelonne de 285 m dans la partie Sud-Est et 150 m dans la partie Nord -Ouest. La variation d'altitude entraîne simultanément des variations de microclimat.



Organigramme 01 : Milieu physique, ses différents facteurs et composantes

1-Le plateau de Mostaganem :

Le plateau de Mostaganem couvre une superficie de 750 km² et comporte dix communes. Il présente un relief relativement ondulé s'abaissant sur la plaine d'El Habra et le Golfe d'Arzew : Il surplombe la mer et le Bas Chélif par une falaise de 150 à 200m au Nord et au Nord-Ouest. Il est limité au sud par la dépression de la Macta. A l'Est, il est bordé par des petits reliefs alignés du massif d'Ennaro.

La surface du plateau est ondulée présentant une succession de dépressions et de rides orientées NE - SW.L'étude des cartes topographiques de Mostaganem et Bel - Hacel nous montre une série de dépressions très larges, allongées en forme de fuseau, orientées d'Ouest en Est :

- La dépression de Hassi Mamèche et la Vallée des Jardins au Sud de la ville de Mostaganem,
- La dépression de Kheir - Eddine au Nord,
- La dépression de Hacheme Fouaga au Nord - Est, la dépression de Ouled Ben Bachir au centre, la dépression d'Ennaro à l'Est de Ouled Ben Bachir et enfin celle de Torch vers l'extrémité Est du Plateau.

Ces dépressions sont peu profondes, elles constituent des zones d'accumulation des éléments fins apportés par le vent ou l'eau.

L'altitude moyenne est de 200 m, localement du côté de Aïn -Nouissy, le Dj.Trek Touires culmine 389 m. A l'est du plateau, nous observons une série de collines : Dj.Ouled sidi Abdellah et Dj.Djezzar qui culminent respectivement 314 m et 456 m. Elles sont orientées NNE / SSO.

Les pentes sont relativement faibles, le planimétrage de la carte thématique des pentes fait ressortir que 66% de la surface est comprise entre 0 - 3% (Cf. Tableau. n°01).

Classes des pentes	0 - 3 %	3 - 12 %	12,5 - 25 %	> 25 %	total
Ha	50.100	24.100	0	900	75.000
%	66	32	0	2	100

Tableau n° 01 : La répartition de la superficie par classes des pentes

2-Les Monts du Dahra :

La partie du Dahra s'étend sur une superficie de 80.337 ha et compte dix communes. Elle est constituée par des piémonts à forme molle de texture limoneux- sableuse avec des pentes de 3 à 25%. Les altitudes oscillent entre 400 et 600m. Les monts du Dahra sont soumis à une très forte érosion hydrique et éolienne.

3-Le cordon littoral :

Il compte quatre communes et occupe une superficie de 27.047ha. Il est représenté par une frange de falaises avec de fortes pentes de l'ordre de 25%. Il repose sur un substrat où prédomine des formations tendres.

4-La Vallée du Cheliff :

Dans cette zone sont positionnées deux communes lesquelles font partie de la plaine de Chélif et forme dans la partie orientale une bande d'une dizaine de Kilomètres de largeur qui draine l'oued Chélif depuis la Wilaya jusqu'à son confluent avec l'Oued Mina.

5-Collines sublittorales :

Cette zone comporte deux communes lesquelles s'étendent sur une superficie de 14.273 ha. Elles constituent dans la partie Ouest le prolongement des piémonts des Monts du Dahra. Les altitudes oscillent entre 150 à 200m dans l'ensemble de cette zone collinaire.

6-La Plaine des Bordjias :

Elle couvre quatre communes. Elle a une superficie de 23 897ha. Et occupe la partie Sud - Ouest de la wilaya. Elle présente un relief plat, s'élève à des altitudes de l'ordre de 40 à 50 m. Les pentes sont en générale inférieure à 3%.

I.2.Place de l'approche géologique:

Un aperçu sur la nature géologique est indispensable pour notre étude car la compréhension du comportement de chaque substrat avec les aléas nous permet de définir d'où l'alimentation du sable en permanence. (figure n°09)

1. Marnes bleues du Mio-Pliocene :

Elles sont constituées par les marnes du Miocène supérieur gypseuses et par les marnes du Pliocène inférieur (plaisancien) Les formations du substratum du plateau devraient apparaître au pied des falaises grésocalcaire au Nord et au Sud de la ville de Mostaganem, mais elles sont masquées par les éboulis du piémont et les dépôts dunaires de la zone littorale. Elles sont visibles localement sous les falaises gréseuses côtières au Nord de la ville (Mostaganem) et sous le gré du plateau au Nord du village de Mazagan.

2. Grés du Pliocène :

On les appelle les grès jaunâtres du Pliocène supérieur astien et ceux des lumachelles du début du IV ère calabrien, il forme l'entablement du plateau de Mostaganem, mais sont le plus souvent cachés par les sables plus au moins encroûtés provenant de leur désagrégation ils sont visibles seulement par endroit tout le long de la falaise qui borde le plateau.

3. Sable du plateau :

Les formations s'étalent en manteau continu à la surface du plateau de Mostaganem, résultat de la désagrégation des grès, car là les géologues sont sur un terrain qu'ils connaissent bien, ils n'hésitent pas à reconnaître que les sables des dunes se forment sur place aux dépens des sables pliocènes (E.F.Gautier1908), Les sables se sont formés dans le pliocène et durant le Quaternaire ; Ce sont des sables plus au moins cimentés par du calcaire. (M.Pomel et Pouyanne -1902).

4. Les alluvions Quaternaires :

Généralement présentes dans les dépressions du plateau de Mostaganem où avec des compositions limoneuses et/ou sableux- argileuses, ces alluvions se localisent généralement dans des dépressions du plateau telle que la vallée des jardins, la dépression de Hassi Maméche, Kheir -Eddine, d'Ennaro, et la dépression de Torche qui se situe vers l'extrémité du plateau, elles renferment surtout des substrats en argile et en limon. Ce sont les formations les plus récentes dans la région.

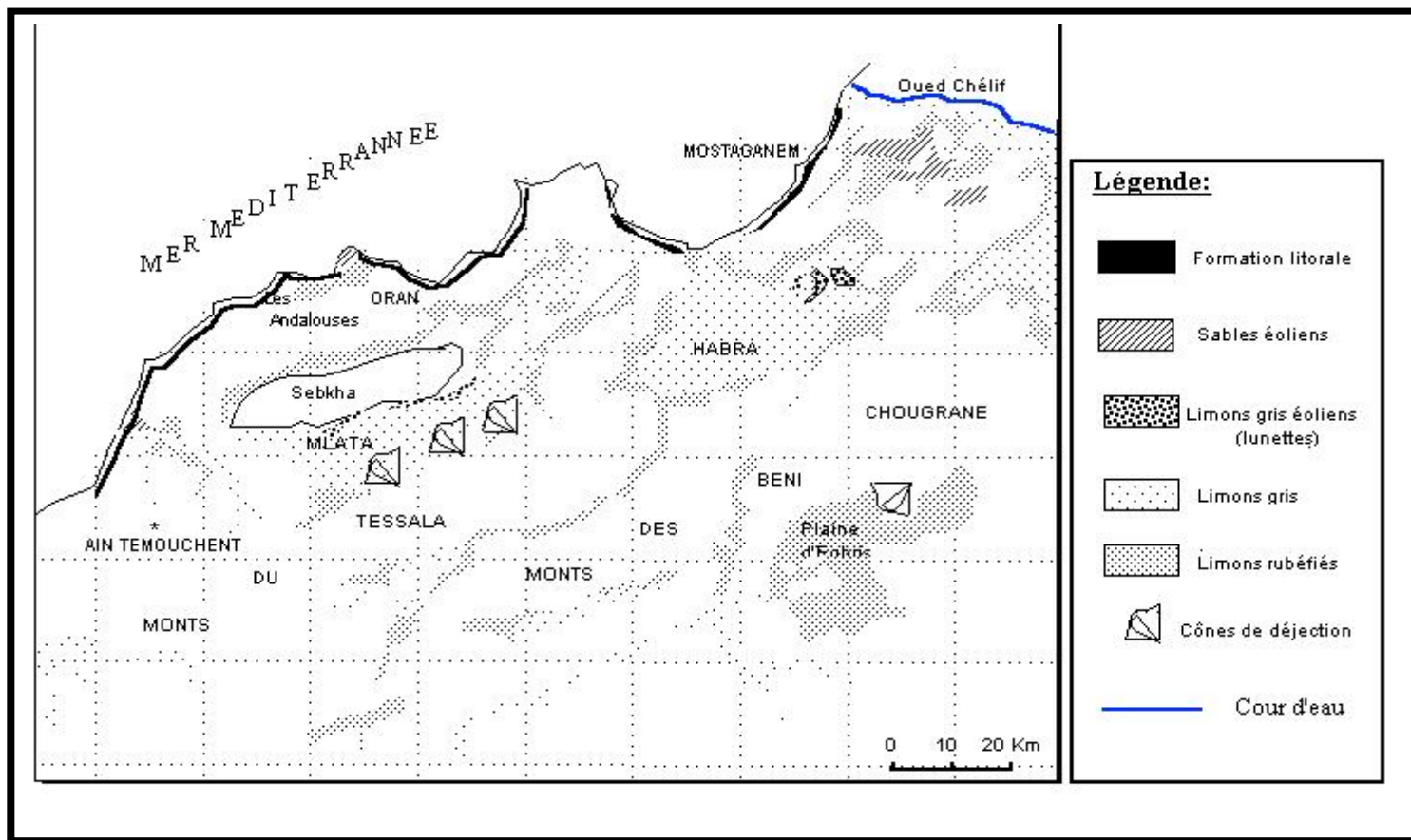


Figure n°09 : Carte géologique de la région de Mostaganem d'après G.Tomas 1985

I.3. Quel rôle pour le réseau hydrographique ?

Le réseau hydrographique est remarqué par sa rareté et par sa désorganisation, du fait de la topographie et de la lithologie de la région surtout du plateau, à l'exception de l'oued Aïn Sefra qui traverse la ville de Mostaganem.

Nous distinguons la présence de deux grands oueds qui bordent le Plateau à savoir :

- Le Chelif, l'oued le plus important de l'Algérie, d'une longueur de 700 km, il borde le plateau au nord avant de se terminer dans la mer par un estuaire resserré.
- La Mina est un confluent du Chelif. Elle a 248 km de long et suit la bordure est du plateau.

Ces oueds sont à l'origine des accumulations dans les dépressions et le long des oueds avec les dépôts éoliens et forment les terres fertiles qui caractérise la vocation principale de la région, qui est l'agriculture, aussi elles forment des Nebkas ou des dunes qui peuvent ensuite être mobilisés et transportés par les vents, vu le dépôt important du sable en terme de quantité transporté.

I.4. L'influence du système hydrogéologique:

L'importance des ressources souterraines dans le sujet traité est incontournable afin de prendre conscience sur le rôle de la réserve en eau dans l'approvisionnement du sol.

1. La nappe du Plateau de Mostaganem :

1.1. Le réservoir :

C'est un substrat imperméable du Miocène et du Pliocène inférieur qui constitue le mur de la nappe. La topographie actuelle reflète bien l'allure du poids du substratum. L'épaisseur du calabrien est maximale dans les dépressions topographiques où elle atteint 100 à 120m, tandis que sur les reliefs qui correspondent à des bombements du Mio pliocène, elle est de 20 à 30m seulement ; Ces dépressions topographiques constituent les zones où les eaux se concentrent, l'épaisseur mouillée est de 100m et les écoulements superficiels sont divergents au milieu des bombements.

La nappe est formée d'une dizaine de sous-bassins hydrogéologiques ou sont isolés par des seuils, les bassins périphériques ont des axes d'écoulement centrifuge, le plus souvent vers des sources, les bassins internes ont des écoulements qui convergent vers le centre où par un axe global vers Mostaganem, l'alimentation de la nappe se fait exclusivement par infiltration des précipitations.

Sur les pourtours du plateau on trouve le substratum imperméable affaissé, là où il y a les exutoires naturels (ex : source de Ain Soltane, Ain Hallouf) (D.R.H 1998)

2. La nappe côtière :

Entre la mer et la bordure du plateau, existe une zone littorale à recouvrement sableux qui renferme une nappe phréatique alimentée par la pluviométrie et par des fuites de la nappe du plateau.

L'étude des nappes et tout spécialement la nappe du plateau (elle constitue le château d'eau de la Wilaya) est utile pour connaître la qualité des eaux souterraines existantes et leurs conséquences, positives ou négatives dans l'irrigation des terres agricoles.

Des études qui ont été faites sur les caractéristiques hydrogéologiques, ont montré que l'eau de la nappe du plateau a une bonne potabilité chimique à l'exception de quelques zones polluées (eau salée ex : Les environs de Ain Nouissy, eau impropre à la consommation et l'irrigation ex: Hassi Maméche) (ANRH 1994).

En conclusion, le plateau de Mostaganem est constitué par les formations suivantes :

+ Des colluvions sablo- limoneuses rouges.

calcaire sommitale.

+ Un ensemble grés-sableux .

+ Un niveau à lumachelles Pliocène.

+ Des marnes bleues plaisanciennes, localement altérées ou des couches de gypses (épaisseur de 10 à plus de 120m).

+ Un substrat allochtone affleurant peu et surtout sur les bordures du N du plateau.

I.5. Une pédologie particulière, favorisant le transport du sable :

D'une façon générale les sols de Mostaganem présentent des compositions diversifiées en fonction de la nature du substratum et des conditions climatiques, de la situation topographique. De ce fait on distingue les sols suivant :

1. Les sols littoraux : Ils se développent sur un substratum quaternaire marin récent et sont caractérisés par la présence de d'horizons calcaires sous forme de croûtes, ces sols sont pauvres en matières nutritives et sont peu fertiles. Le défonçage de la croûte calcaire permet d'enrichir ces sols en devenant plus léger et facile à travailler, donc favorables à certaine implantation tel que l'arboriculture et le maraichage primeurs.

2. Les sols des crêtes et du plateau : Ce sont des sols peu fertiles et constitués de marne et de grés sableux, leurs grandes teneurs en argile les rendent imperméables. ces types de sols sont favorables à la culture de l'olivier.

3. Les sols sableux du Plateau : On distingue les sols sableux rouges et les sols sableux jaunes, ils sont moyennement fertiles,

4. Les sols de dépressions : Se sont les dépressions du plateau et sur la vallée de Nadour et la vallée des jardins qu'on trouve des sols argileux calcaires fertiles, aussi on a des sols silico-argileux et argileux sableux considéré comme des sols moyennement fertiles ou bien dits des sols à faible rendement.

II.II. Une zone climatique semi-aride faiblement arrosée :

Le climat de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par deux saisons bien distinctes, celle des pluies et celle de la sécheresse. L'influence du nord - ouest apporte des courants froids et humides, et celle du sud est beaucoup plus liée à des courants chauds et secs.

Concernant les aspects du climat de l'Oranie ont été analysés par plusieurs auteurs, en démontrant ses effets contraignants sur le milieu naturel et sur l'environnement socio économiques. (Aimé-1991) ont mis en évidence après traitement des données météorologiques d'Oran - Es-Senia et Tlemcen et sur plus de 60 ans (1924-1984) quatre périodes climatiques (grâce à la méthode des précipitations cumulées), dont la tendance se situerait soit au dessous du volume des précipitations moyennes, soit en dessus.

1924-1934 période relativement humide

1935-1945 période relativement sèche

1946-1976 période humide

1977-1985 période nettement sèche

La wilaya de Mostaganem appartient au climat méditerranéen et précisément au climat de l'Oranie, chaud et sec en été, tiède et pluvieux en hiver, les deux éléments principaux du climat (précipitations et températures) conditionnent tous les rythmes d'irrégularités.

II.1. État des précipitations dans la région de Mostaganem:

Le littoral Oranais est la partie la moins arrosée de l'Algérie maritime à cause :

- de la latitude de la côte oranaise qui se situe à la même latitude que les hautes plaines.
- des vents frais chargés de l'humidité de l'atlantique qui sont arrêtés où bien déviés vers l'Est par la Sierra Nevada en Espagne et par le Rif marocaine.

Les données météorologiques de quelques villes côtières montrent qu'il y a une diminution des précipitations d'Est en Ouest, de même pour quelques villes du Tell. Nous remarquons qu'il y a une diminution progressive de 300 mm d'une ville à une autre. Ce qui montre que l'ouest est moins arrosé que l'est. Cela va à l'encontre de la stabilité des sables dans la région.

La connaissance de la répartition pluviométrique dans le temps et dans l'espace est importante car l'énergie des gouttes d'eau désagrège les agrégats et détache des particules fines du sol par le phénomène " splash " et fournit ainsi un produit susceptible d'être transporté par l'eau ou par le vent (Smahi-2001).

Littoral		Tell	
Stations	P (mm)	Stations	P(mm)
El Kala (Est)	1016	El Milia (Est)	1640
Alger (Centre)	715	Kherrata (Est)	1163
Mostaganem (Ouest)	377	Ami Moussa(Ouest)	420
Beni-Saf (Ouest)	367	Relizane (Ouest)	325

Tableau n°02 : Répartition des précipitations d'Est en Ouest

(Données Seltzer 1913- 1938)

1/ Les pluies :

A travers les différentes stations météorologiques (Cf. tableau n° 03) il pleut en moyenne 75 jours par an, avec un maximum en janvier (10 jours), et un minimum en juillet et août (02jours) (Cf. Tableau n°04, fig.n° 10)

Stations	Longitude	Latitude	Altitude
Mostaganem	0°.07E	35°.53	137
Sayada	0°.14E	35°.95	57
Kheir Eddine	0°.17E	35°.98	190

Tableau n° 03 : Localisation des stations météorologiques de la wilaya de Mostaganem

L'étude des précipitations de la dernière décennie (1987-1988) à (1996-1997) nous montre que les précipitations mensuelles maximales au cours de l'année se situent aux mois de novembre et mars, par contre les valeurs minimales sont enregistrées en juillet et août.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Ma	J	Ju	Ao	Année
(P)mm	8.2	22.3	50.4	29.9	39.6	42.2	49.4	31.5	17.6	8.9	3.5	4.7	313.2
Jours	4	8	8	7	10	9	8	9	5	3	2	2	75

Source : Station de Mostaganem

Tableau n°04: Précipitations moyennes mensuelle de Mostaganem (1987-88) à (1996-97)

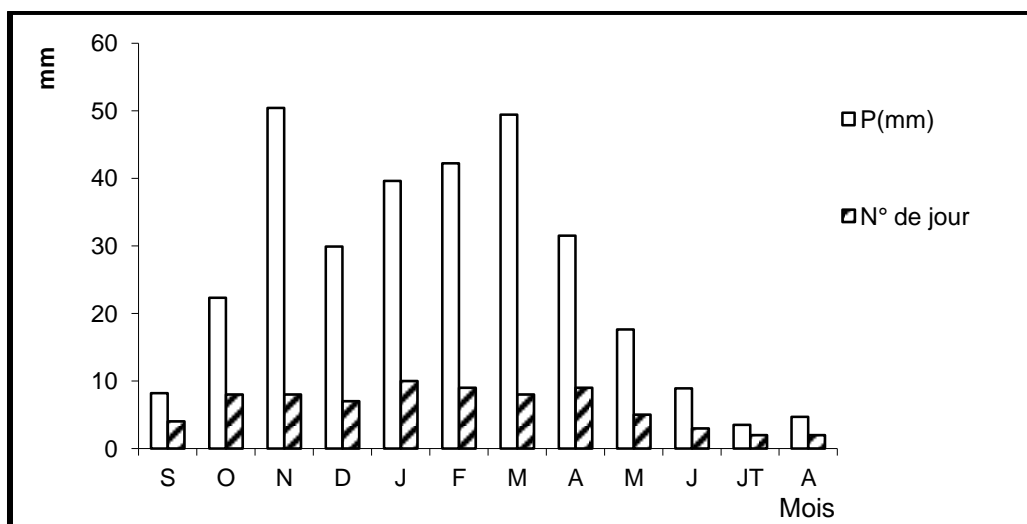


Figure n°10 : Précipitation moyenne mensuelle à Mostaganem (1987 à 1997)

2/ Variation inter -annuelle des précipitations :

L'étude des variations inter-annuelles nous montre qu'il y a deux périodes avec une opposition bien tranchées à savoir :

- Période assez arrosée 1978 à 1986.
- Période moins arrosée 1987 à 1997.

Les variations inter-annuelles des précipitations de Mostaganem témoignent que la sécheresse qui a commencé à travers l'Oranie en 1977 continue jusqu'a présent (Cf.Tableau 05)

Année	77-78	78-79	79-80	80-81	81-82	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87
P(mm)	336.1	428.4	451.6	445.5	148.5	393.0	347.5	448.9	460.6	311.3
Variance(q²)	0.2	18.8	30.8	27.4	106.3	6.2	0.01	29.3	36.3	3.2

Année	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	Moy.
P(mm)	329.0	224.9	175.3	383.4	3352.6	332.9	262.2	299.8	558.9	343.8	345.5
Variance(q²)	0.7	39.8	79.4	3.9	0.1	34.7	19.0	5.7	97.5	0.01	27

Tableau n°05 : Précipitations annuelles de 1977à1997

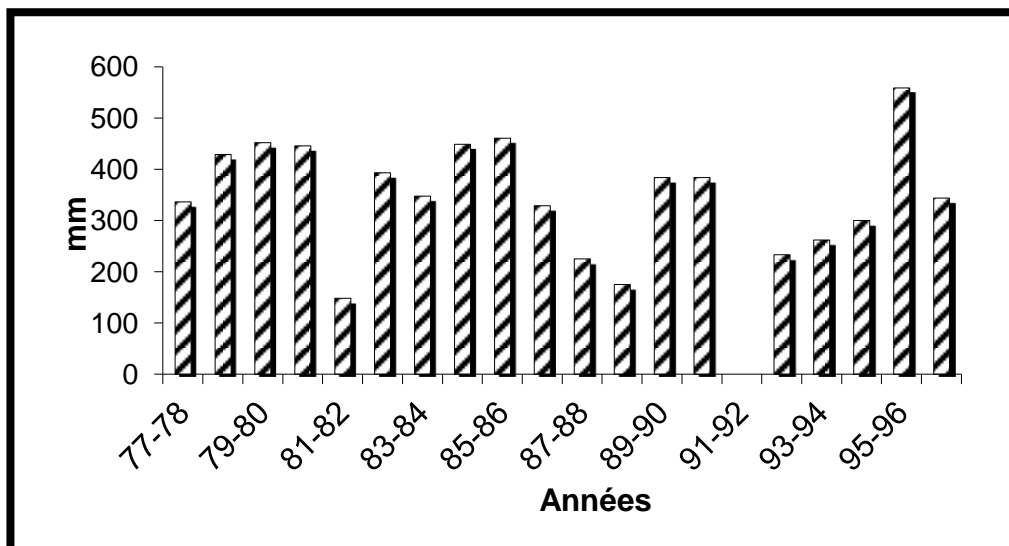


Figure n°11 a : Précipitation inter-annuelle à Mostaganem (1977 à 1997)

Remarque ; La période récente (1997/2013) n'a pas fait l'objet dans notre étude car il y avait un manque en données climatiques. Même si elle est considéré comme plus arrosé (avec une moyenne de 398mm) (Cf. Annexe) que sa précédente (1987/1997) (345mm) elle ne constitue pas un frein à l'érosion éolienne, vu la topographie et la nature du substrat qui favorisent l'infiltration rapide des eaux de pluie, et par conséquent les sables ne conservent pas une certaine humidité pendant longtemps. De plus, cette période est caractérisée par des pluies torrentielles qui altèrent le sol, et dès son assèchement, il sera préparé pour l'action éolienne.

3/La gelée :

Les jours de gelées sont relevés du mois de décembre au mois de mars (gelée hivernale) Le maximum d'apparition de ce phénomène est en mois de janvier (04jours) (Cf. tableau n°06)

Mois	J	F	M	A	Ma	J	Ju	Ao	S	O	N	D	Total
Jours	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10

Source : ONM

Tableau n°06 : Nombre de jours de gelée à Mostaganem (1997)

2. Les températures :

L'un des facteurs constitutif du climat est la température qui a un rôle important influant sur l'ETR (évapotranspiration réel), l'ETP (évapotranspiration potentiel)

Les températures moyennes mensuelles sont relativement élevées et varient de 10 à 26°C, par contre la température moyenne annuelle est de l'ordre de 17.7°C (Cf. Tableau n°07) ; Les températures les plus élevées coïncident avec la période où les précipitations diminuent.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Ma	J	Ju	Ao	moyenne
M°C	28.5	24.3	20.5	17.3	16	16.6	18.6	20.2	20.1	27.4	31.4	32.3	23.1
m °C	17.5	14.2	10.4	7.3	5.7	6.3	8	9	12.5	16.1	19.1	20.3	12.2
M+m/2	13	19.3	15.5	12.3	10.9	11.5	13.3	14.6	18.3	21.8	25.3	26.3	17.65

Source : ONM

Tableau n°07: Température moyenne mensuelle de Mostaganem de (1988 à 1997)

3. Le vent, le facteur principal de transport :

Le vent est un agent efficace de transport, de pollen (végétation), ici il réagit positivement mais il peut être un agent nuisible pour la couverture végétal (déplacement du sable vers les terres productives) ou encore, il s'accumule en voile sablonneux vers les terres fertiles et dans l'urbain (poussière, recouvrement des autoroutes par le sable, formation sableuse dans les agglomérations urbaines.

3.1. Caractéristiques des vents :

Le déplacement du sable ne peut s'effectuer qu'à une certaine vitesse dont dépend la forme du grain, le poids et sa position.

Selon la vitesse et en tenant compte des seize directions internationales, nous pouvons dire qu'il y a deux types de régimes de vents, un régime journalier et un régime saisonnier, et pendant la journée nous avons un régime diurne et un régime nocturne ; K.Remouan (1991), H.Senhadji (1993), El.Smahi (2001)

D'après l'étude réalisée par El.Smahi. (2001) sur le vent ; l'année se divise en deux saisons :

-Un régime de vent d'octobre à avril et un autre de mai à septembre. Le vent est présent sous forme calme, efficace et inefficace. (Cf.tab. n°08)

➤ 1. Les vents calmes :

Les mois sont calmes par ordre de fréquence août (53%), octobre (52%), septembre (49%) et juillet (48%), et le minimum des calmes se situe en janvier (27%), mars (35%) et avril (34%), se sont les mois qui correspondent au mois les plus efficaces de l'année.

➤ 2. Les vents inefficaces :

Les vents inefficaces sont représentés par la classe des vitesses compris entre 1et 4m/s, c'est là où il n'y a pas de transport d'éléments sableux mais il y a un dessèchement des grains qui facilite son déplacement après, par le biais des vents efficaces.

➤ 3. Les vents efficaces :

Les vents efficaces jouent un rôle important dans le déplacement du sable. A l'échelle de la zone d'étude nous observons des édifices éoliens dont les nebkas qui sont les plus représentatives.

L'étude des types des vents dans la région de Mostaganem nous montre que le processus éolien est observé dans les vents efficaces où les fréquences sont très élevées. A noter que les jours sont venteux et les nuits sont calmes dans la région.

La connaissance de la direction, de la force et de la fréquence des vents est nécessaire pour voire non seulement son impact sur le milieu mais aussi pour la mise en valeur agricole d'un périmètre car elle nous permet de prendre des précaution lors en implantant des culture (Ex : Implantation correcte des vergers, de les protéger contre les vents efficaces). (Machai-1972)

Mois	J	F	M	A	M	J	Ju	Ao	S	O	N	D	Tot
Vent													
Calmes	441	519	529	492	660	646	754	892	732	881	705	684	7935
%	27	38	35	34	41	43	48	53	49	52	43	40	42
1-4m/s	664	463	423	432	512	411	498	504	459	451	537	504	5858
%	41	34	28	30	32	27	32	30	31	26	33	30	31
>5m/s	514	389	576	526	425	463	308	298	305	366	408	520	5098
%	32	28	38	36	27	30	20	18	20	22	25	30	27
Total	1619	1371	1528	1450	1597	1520	1560	1694	1496	1698	1650	1708	18891

Source : Smahi2001

Tableau n°08: Caractéristiques des vents selon les mois à Mostaganem

II.2. Les facteurs climatiques secondaires :

1) L'humidité relative de l'air :

Les variations de l'hygrométrie moyennes mensuelles montrent que l'humidité relative (HR) moyenne passe par un minimum au mois de janvier (78%) (cf. Tableau n°09) Elle est plus élevée pendant la saison froide.

Mois	J	F	M	A	M	J	Ju	Ao	S	O	N	D
HR%	78	77	76	73	72	71	69	70	73	75	76	71

Source: DHW

Tableau n °09 : L'humidité relative moyenne en %(1997) à Mostaganem

L'air atmosphérique contient une proportion variable de vapeur d'eau, cette variabilité dans l'espace et dans le temps est due principalement à la température. Cette vapeur d'eau qui alimente les précipitations absorbe en outre les radiations de grandes longueurs d'ondes émises par la terre et l'empêche de se refroidir la nuit en lui renvoyant la chaleur par rayonnement.

- 2) Le brouillard : Ce phénomène est observé durant toute l'année mais ne dépasse pas deux jours par mois (Cf. tableau n°10) Il contribue à l'augmentation de l'humidité en général, son maximum est pendant la saison des pluies.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Ju	At	année
Brouillard	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	21

Source: DHW

Tableau n°10: Nombre de jours de brouillard(1997)

- 3) L'évapotranspiration :

1. ETP :

C'est la quantité d'eau susceptible d'être perdue sous forme de vapeur sous un climat donné par un couvert végétal.

Selon les résultats obtenus par de différents auteurs dont EL.Smahi qui a travaillé sur une période de dix ans sur le bilan hydrique à l'échelle de la wilaya de Mostaganem (1988 à1997), on constate que L'ETP est faible en saison fraîche, et humide, il atteint son maximum durant la saison sèche et chaude.

Le déficit en eau est important entre le début de mai et la fin d'octobre. L'ETP annuel est de 876.3mm. C'est un chiffre alarmant qui ne peut que favoriser la dynamique érosive.

2. ETR :

ETR annuelle est égale à la précipitation moyenne annuelle.

3. RU :

La réserve utile est la quantité d'eau stockée dans le sol et qui peut être utilisée par les plantes. Elle représente environ la moitié de la capacité du champ en eau lorsque cette dernière est en quantité suffisante.

La réserve utile est estimée à 50 mm.

4) Le bilan hydrique à Mostaganem :

Le descriptif des paramètres thermo-pluviométrique établi précédemment nous a permis de faire notre bilan hydrique sur la région. Une comparaison préliminaire des résultats obtenus par quelques études faites, montre un état de divergence.

Parmi les études fondées sur les paramètres climatologiques au niveau de la wilaya de Mostaganem, nous pouvons citer celle de S.Bllal (1997), H.Ismail (1998), EL.Smahi (2001), et A.Tidjani (2001), nous fournissent quelques points marquants à savoir:

➤ L'année hydrique se devise selon deux saisons :

a) La première qui coïncide avec la recharge du sol en eau qui commence en mois de novembre et se termine en mars, donc c'est la période où les précipitations sont utiles.

b) La deuxième est déficitaire, elle commence en avril et prend fin en mois d'octobre, dans cette période l'évapotranspiration potentielle mensuelle dépasse largement les précipitations mensuelles (719.9m>96.7m) (Cf. Tableau n°11)

	Sept	Oct.	Nov	Dés	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Total
P(mm)	8.2	22.3	50.4	29.9	39.6	47.2	49.4	31.5	17.6	8.9	3.5	4.7	313.2
ETP	105.4	71.9	42.6	27.5	22.5	24.3	38.5	48.3	81.3	112.2	150	151.8	876.3
P-ETP	-97.2	-49.6	7.8	2.4	17.1	22.9	10.9	-16.8	-63.7	-103.3	-146.5	-147.1	-
RU	0	0	7.8	10.2	27.3	50	50	33.2	0	0	0	0	-
DRU	0	0	7.8	2.4	17.1	22.7	0	-16.8	-33.2	0	0	0	-
ETR	8.2	22.3	42.6	27.5	22.5	24.3	38.5	48.3	50.8	8.9	3.5	4.7	302.1
S=P-ETR	0	0	7.8	2.4	17.1	22.9	10.9	0	0	0	0	0	-
$R=S/2$	0	0	3.9	1.2	8.6	11.5	5.5	0	0	0	0	0	-

Tableau n°11: Le bilan hydrique à Mostaganem (1988à1997)

Par conséquent l'irrigation devient nécessaire dès avril-mai, et indispensable en juin, juillet août et septembre, les mois où la réserve utile est affaiblie. (Cf. fig n°12)

Le ruissellement est faible, commence à se manifester à partir du mois de novembre et continue jusqu'au mois de mars avec un maximum durant le mois de février (11.5mm)

Les résultats obtenus (Tidjani-2001) montrent que 90.3% du volume des précipitations s'évaporent dans la nature, 4.8% de ruissellement et 4.5% d'infiltration, ce qui favorisent le non-renouvellement des nappes (nappe du plateau de Mostaganem) ajouter à cela le transport des éléments sableux du sol.

En conclusion, la wilaya de Mostaganem accuse un déficit hydrique inquiétant sous toutes ces formes. Une pluviométrie de plus en plus faible, et une température assez élevée des éléments favorisant la dynamique éolienne et la régression du couvert végétal.

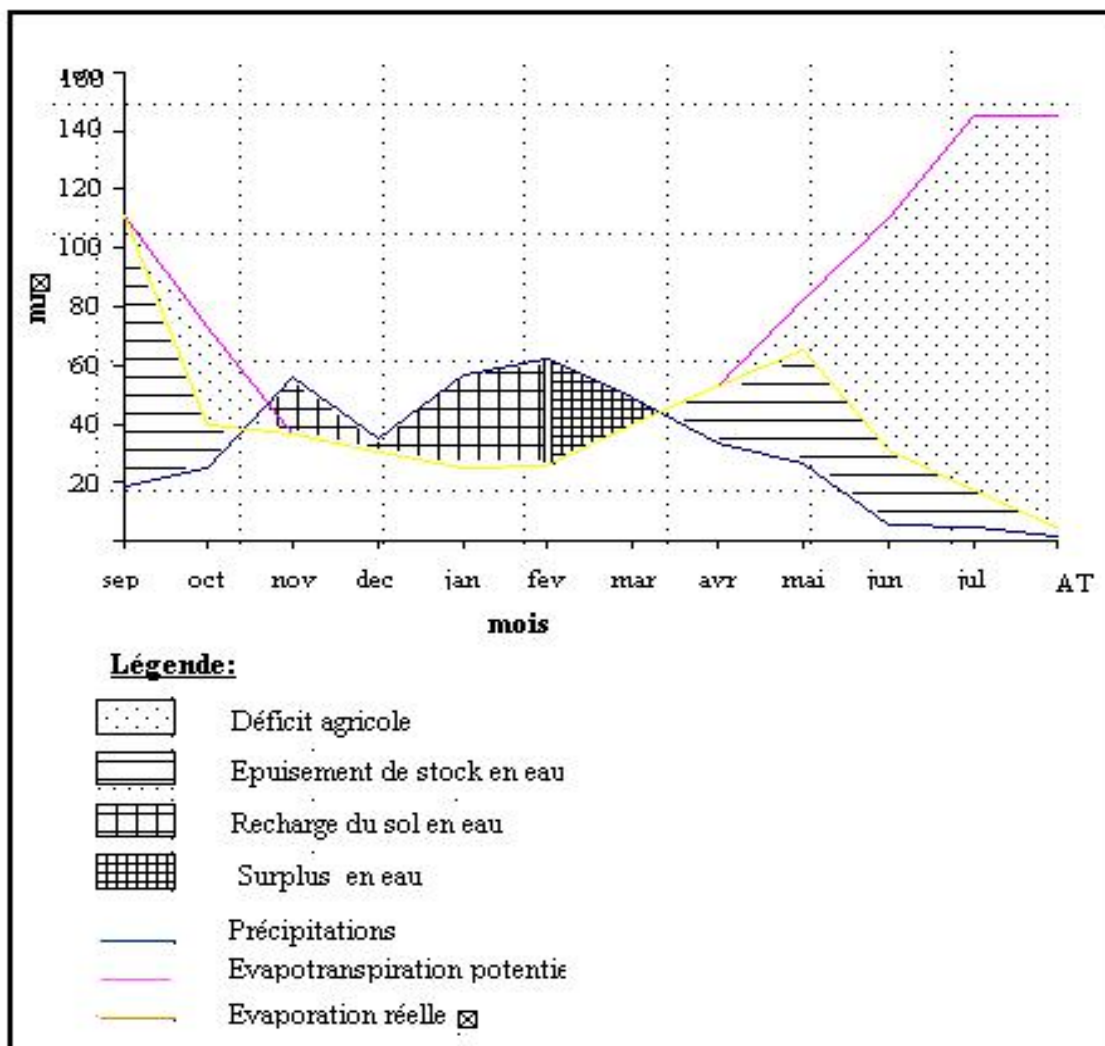


Figure n°12 : Bilan hydrique à Mostaganem (1988/1996)

Source : Smahi-2001

II.3. L'aspect bioclimatique :

3.1. Les indices d'aridité climatique et bioclimatique :

Plusieurs méthodes ont été définies par différents auteurs pour le calcul des indices climatiques. L'utilisation des indices climatiques permet de caractériser la plus ou moins grande aridité du milieu, leur estimation repose sur l'utilisation des mêmes paramètres.

Concernant notre étude, nous avons utilisé les méthodes du climat méditerranéen telle que la méthode de De Martonne, et d'Emberger.

▪ L'indice d'aridité de De Martonne :

$$I = P/10 + T$$

I : Indice d'aridité annuel

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

T : Températures moyennes annuelles (C°)

A partir de la formule, on peut calculer soit l'indice d'aridité annuel, soit mensuel, mais dans le cas étudié nous avons pris l'indice d'aridité annuel.

Grille d'interprétation :

7.5 < I < 10 climat steppique

10 < I < 30 climat semi-aride

20 < I < 50 climat tempéré

	P (mm)	T °C	T+10	I
1988-1997	313.2	17.7	27.7	11.3

Tableau n°12 : Indice de De Martonne

Selon l'indice d'aridité obtenu et suivant la grille d'interprétation, la wilaya de Mostaganem se trouve dans un climat semi-aride à écoulements temporaires (Cf.fig n° 13)

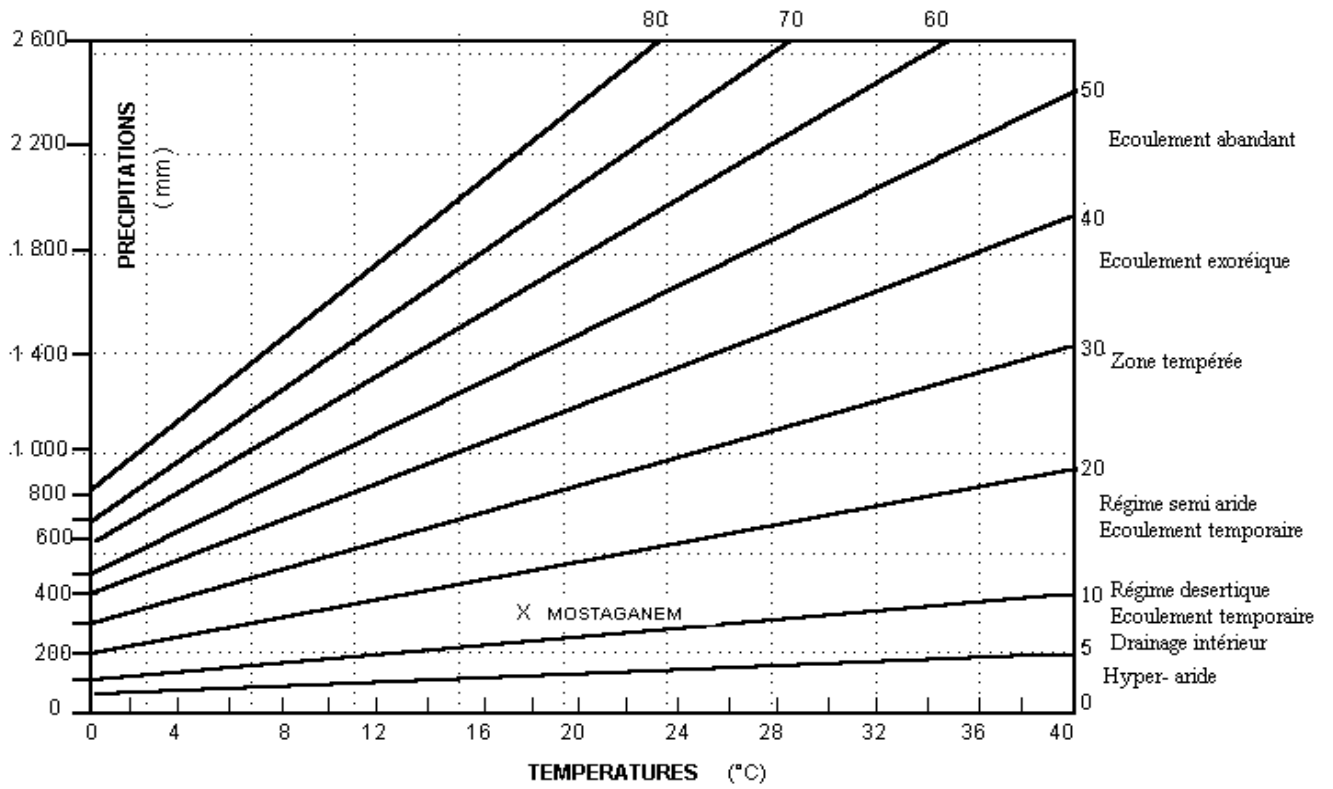


Figure n°13: Position de Mostaganem dans l'abaque de De Martone (1988/1997)

▪ **Le climagramme d'Emberger**

Le climagramme d'Emberger précise la place d'une station d'année selon un étage bioclimatique.

La formule d'Emberger

$$Q2=2000.P (mm)/M^2-m2$$

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

M : Température moyenne-maximum du mois le plus chaud (K°)

m : Température moyenne-minimum du mois le plus froid (K°)

Le climagramme d'Emberger figure en abscisse ; la moyenne des minimums du mois le plus froid (**m**), critère qui définit la limite des étages de végétations et en ordonnées le quotient pluviométrique **Q2**.

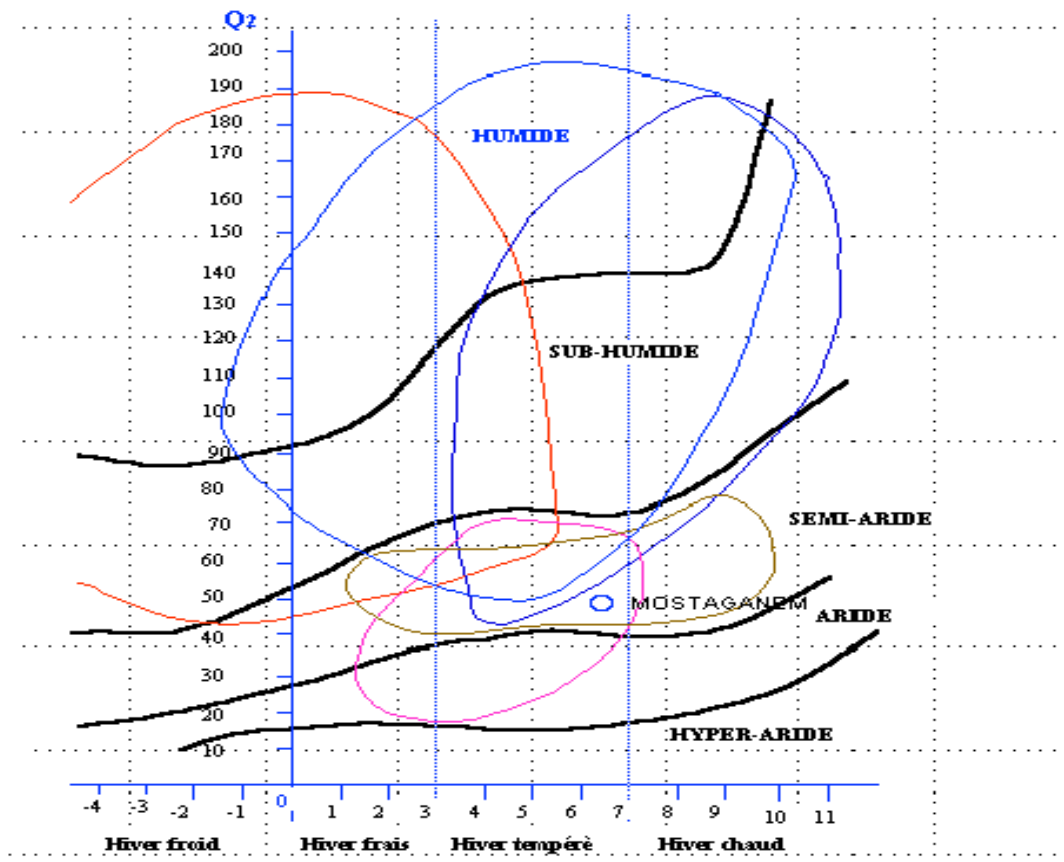
La valeur de **Q2** ainsi notée que le climagramme et en tenant compte de **m** (température moyenne du minimum du mois le plus froid) classe la station de Mostaganem dans l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver tempéré (Cf.fig n°14)

	P (mm)	M k°	m° K	Q2
1988-1997	313.3	305.3	278.7	40.3

Tableau n °13 : L'indice bioclimatique d'Emberger à Mostaganem

Les indices climatiques et les résultats obtenus nous permettent d'affirmer que le climat de la wilaya de Mostaganem appartient au climat méditerranéen semi-aride à écoulement temporaire et se caractérise par une pluviométrie irrégulière (<**400mm**)

Le phénomène de sécheresse apparaît clairement dans la zone d'étude, ce qui favorise la sensibilité et l'assèchement des particules au sol. A cela s'ajoute une couverture végétale faible, ce qui les rend facilement mobilisable par le vent.



LEGENDE :

— Limite d'étage

Limite des espèces végétales "climaciques"

- Chêne liège
- Chêne vert
- Oléastre et lentisque
- Junjubar de bétoune
- Thuya

Figure n° 14 : Position de Mostaganem dans le Diagramme d'Emberger (1988-1997)

II.III. Une richesse floristique menacée : L'aspect Biotique

L'utilité de connaître la couverture végétale est indispensable à la compréhension des manifestations du processus qui se produisent au niveau de la zone ; elle protège contre l'érosion éolienne par son action à réduire la vitesse du vent à la surface du sol. La plupart des sols ont besoin d'une couverture végétale d'au moins de 30% pour prévenir l'action destructrice de l'érosion éolienne.

De multiples documents ont été consultés pour appréhender la situation du couvert végétal à l'échelle de la wilaya de Mostaganem ; la carte de végétation de Bosquet ; Pomel et Pouyanne(1902), Belgat Saci(1984), H. Smail (1998), El .Smahi(2001), et pour une actualisation des données la conservation des forêts de la wilaya.

Le couvert végétal à l'échelle de la région est constitué par deux types d'occupations ; permanente (naturelle et artificielle) et temporaire.

III-1 La couverture végétale permanente :

1.1 Le domaine forestier :

Il occupe une superficie de 30.767 Ha, soit 13,56 % de la superficie totale de la Wilaya, les forêts naturelles occupent 44 % du domaine forestier contre 56% pour les forêts artificielles.

Le taux de couverture forestière se diversifie d'une zone à une autre, multiples raisons expliquent cette variation en densité forestière (nature du sol, la pente, l'action anthropique). Le taux de couverture permanente au niveau de la wilaya est estimé à 14% bien au dessous de la moyenne d'une résistance efficace aux vents dominants au sol qui est au minimum de 30%.

En général la wilaya ne dispose pas de grandes superficies forestières, les plus importantes sont :

- * La forêt de l'Akboub qui a une superficie de 700 hectares et la forêt domaniale d'Ennaro avec une superficie de 350 hectares. Ces formations végétales sont situées sur la limite Est du plateau de Mostaganem.

Les principales essences qu'on y rencontre sont : *Pinus Haepensis*, *Eucalyptus*, *Pinus Pinéa*, *Juniperus Articulata*, *Quercus Suber*, *Quercus Ilex*, *Cupressus Sempervirens*, *Pistacia Lentiscus*

- * La forêt de Stidia est moins importante que les précédentes. Elle est située sur le rebord Ouest du plateau sur un versant avec une altitude ne dépassant pas 250 m.
- * La forêt des Figuiers d'Aïn Nouissy au Sud - Ouest du plateau est composée essentiellement de thuya et de pin d'Alep.
- * Sur le rebord littoral quelques reboisements du *Pinus Halepensis* forment de jeunes forêts dégradées. En effet ce rebord se trouve très exposé au vent d'O et du N. Les arbres subissent son action et ont des ports en drapeau.

-La flore est constituée essentiellement d'espèces méditerranéennes avec la prédominance du Pin d'Alep qui couvre le tiers de la superficie forestière. (Source : Conservation des forêts2008)

Quant au matorral, il occupe surtout les terrains impropres à l'agriculture, cette formation est parfois arborée mais le plus souvent dégradée.

WILAYA	SUPERFICIE AGRICOLE UTILE (HA)				AUTRES TERRES				TOTAL GENERALE DES TERRES
	TOTAL	IRRIGUEE	TERRES LABOUR.	CULTURES PERM.	PACCAGES ET PARCOURS	TERRES INCULTES	TERRAINS IMPR.	FORET ET MAQUIS	
MOSTAGANEM	132268	30595	100610	31658	5110	7400	49590	32532	226900

Tableau n°14 : Répartition générale des terres

1-2 Les cultures pérennes

1.2.1. L'arboriculture :

Cette spéculation occupe une superficie de 18803 hectares à l'échelle de la wilaya, localisée surtout dans le Plateau de Mostaganem avec une étendue de 1680 hectares, elle est dans la plupart du temps protégée par des haies contre les vents efficaces. Parmi les espèces rencontrés dans la région on trouve l'olivier, le figuier, les agrumes et autres arbres fruitiers.

1.2.2. La vigne :

Le vignoble occupe une superficie de 12766 hectares. On le rencontre dans les communes suivantes : Sidi - Lakhdar, Hadjaj et Aïn Tedles ,Sour,Stidia, pour des raisons écologiques aussi économiques cette occupation a connu une petite évolution après les dégâts causés aux sols par son arrachement (Cf.Partie I. Chapitre III).

III-2 La couverture végétale temporaire :

2.1. Les cultures céréalières : Elle est très présente car c'est une culture vivrière pratiquée dans différentes zones de la wilaya dans les plaines et les dépressions, les collines et les piémonts des versants avec une superficie de 57502ha.

2.2. Les cultures maraîchères : Cette culture est représentée dans des espaces agricoles assez grands, on la retrouve dans le plateau de Mostaganem (Aïn Tedles, Ouled Ben Bachir, la région de Hachem Thata, Mesra , ainsi que dans la vallée Ouest de Stidia et Hassi Mameche) et, en moindre importance dans les Monts de Dahra, avec une superficie estimée à 17822 hectares.

III-3 Les terrains nus : En général, ils englobent les zones ensablées, les terres à croûte calcaire ou à affleurements rocheux ainsi que des terrains caillouteux improductifs présentant un risque d'accélération du processus d'ensablement.

II.IV. La présence de l'homme facteur accélérant le processus :

L'évolution des différents secteurs socio-économiques et industriels, les changements dans les modes de vie de la population, les nouvelles conditions qu'exige le monde moderne ont conduit à un développement démographique important dans les grandes villes et agglomérations de la wilaya. L'extension des douars et villages dans la dernière décennie est également preuve de cette évolution.

▪ IV.1. Une population rurale en mutation et une demande croissante en industrie :

La Présence des zones industrielles a encouragé l'attraction et la sédentarisation de la population, de ce fait le développement de l'industrie a été élargi à l'ensemble de la wilaya surtout la région ouest de Mostaganem. Cette industrialisation est due à deux processus de développement parallèle, du secteur privé et du secteur étatique qui coexistaient déjà. Ces unités de productions situées à Mostaganem et à l'extrémité ouest des limites de la wilaya(la grande industrie d'hydrocarbures de l' Algérie, zone Industrielle de Bethioua), ont favorisé un certain dynamisme des agglomérations surtout à l'Ouest de la wilaya (communes de; Mostaganem, Mameche, Mazagran, Stidia, Sayada) et à l'Est et Sud Ouest (Mesra,Ain Tedles,Bouguirat..) encourageant ainsi une extension urbaine et une émigration vers ces zones, donc une main d'œuvre importante a été détournée des exploitations agricoles vers le secteur industriel.

wilaya	P O P U L A T I O N				
	TOTALE	ACL	AS	ZE	Densité
MOSTAGANEM	746947	347505	97304	302138	333
Pourcentage (%)	100	46	13.03	40.45	/

Source : ONS /RGPH 2008

Tableau n°15 : Répartition de la population de Mostaganem par agglomération

A C L : AGGLOMERATION CHEF LIEU

A S : AGGLOMERATION SECONDAIRE

Z E : ZONE EPARSE

Rapportée à la population de 1998 estimée à 629357 habitants, le taux d'accroissement moyen observé est de 1,7 % (1998-2008).

Le milieu humain de la région se définit par deux types d'évolutions, (urbaine et rurale (Cf.Tab n°15), elles s'expliquent par deux différentes approches, la première par une évolution démographique interne et la deuxième par un exode rural. Les grandes agglomérations offrent plus d'avantages (éducation, santé, administration, emplois, sécurité), étant considérées comme des pôles attractifs par les habitants des zones éparses surtout dont les opportunités sont rares en matière d'agriculture ou d'industrie.

Comme le travail de la terre est le moyen principal de subsistance d'une marge considérable de la population rurale, (l'existence d'un sol favorable à l'agriculture) des efforts ont été déployés par l'Etat pour promouvoir un développement agricole afin de maintenir les populations dans les milieux ruraux, ce qui a permis d'accroître la population dans les villages et Douars.

SECTEUR	2006	2007	2008
Agriculture	69 016	70 595	71762
Industrie	2 859	5 648	24167
Travaux Publics	43 784	48 005	51891
Administration	36 399	45 181	45054
Commerce & Services	104 394	96 009	101469
TOTAL	256 452	282 381	312593

Source : Direction de l'Emploi

Tableau n°16: Evolution de La population occupée par secteur économique (wilaya de Mostaganem)

Conclusion

Ces facteurs explicatifs du processus nous renseignent sur la sensibilité de la zone d'étude vis-à-vis de l'ensablement, toutes les conditions sont présentes :

- Un milieu favorable et une réserve naturelle de stock de sable,
- Un aspect climatique et biotique qui facilitent l'amorçage de l'ensablement et son évolution à l'échelle de la wilaya de Mostaganem.
- Une évolution démographique traduisant une demande alimentaire toujours plus croissante qui a mené à :
 - Différents modes de cultures qui fragilisent le sol et favorisent l'action éolienne,
 - Une anthropisation par le surpâturage en terrains fertiles ou en sols déjà fragilisés par les systèmes de cultures,
 - L'apparition d'une extension urbaine et rurale sur des sites inappropriés à la construction

Nous allons développer le sujet relatif à l'anthropisation dans notre troisième chapitre de la partie en cours et dans la deuxième partie opérationnelle.

Ces agents moteurs sont les principales sources d'une manifestation efficace du processus.

CHAPITRE III : Anthropisation, effets et réactivité de l'ensablement

Après avoir traité les grands éléments explicatifs du processus d'ensablement au deuxième chapitre ; l'anthropisation est une menace latente négligée par les collectivités locales qui minimisent ses effets sur les milieux, ce qui a conduit à l'aggravation de l'ensablement.

Les mutations dans l'espace (couvert végétal et urbanisation) accélèrent aussi pour leur part le processus, pour cette raison un aperçu sur l'historique du foncier et de l'occupation du sol au niveau de la zone est très utile pour argumenter son ampleur dans le temps.

D'après Claude.S (2000) la définition d'un impact anthropique au sein d'un géosystème doit se limiter à une action humaine ayant un effet sur ce géosystème, qu'il soit négatif ou positif.

III.1. Une agriculture marquée par les héritages:

Dans la période précoloniale et jusqu'en 1825, la région de Mostaganem a connu un peuplement de différentes nations, les Romains, les Arabes VII ème siècle, les Espagnols en 1509 et les Turcs en 1517, à cela s'ajoute le retour des espagnoles arabo-musulmans en 1609 expulsés d'Espagne. Ces différentes conquêtes ont introduit des pratiques culturelles nouvelles comme les cultures industrielles (coton, tabac, lin) et les cultures maraichères et arboricoles sous forme de jardins, la région de Mostaganem comptait 75000 parcelles consacrées à du jardinage avant la colonisation française.(PDAU-1998)

1831-1962 cette période marque le passage progressif d'une polyculture sur de petites parcelles vers la monoculture de la vigne sur de grandes superficies au dépens des céréales et des cultures industrielles. La disponibilité de l'eau a permis également d'implanter des vergers et des maraichages en irrigué. En 1860 on comptait déjà 220 fermes isolées sur 3300ha et en 1936 vers 13000 exploitations sur les 2/3 de la superficie agricole du plateau. En 1959, le paysage agraire était constitué de deux secteurs (colonial et algérien), les exploitations coloniales largement dominantes et nettement affirmées dans la zone, et les petites exploitations nombreuses et très dispersées, elles étaient destinées surtout à l'autoconsommation. Cette période donne une place importante au vignoble dans le Plateau de Mostaganem et à la végétation naturelle par rapport aux autres cultures. Par ailleurs l'arboriculture et les maraichages tiennent une faible part dans la surface agricole utile. Une forte concentration du vignoble était présente 75% de la SAU puisque ce milieu était favorable (climat et sol), la plupart des parcelles cultivées étaient cloisonnées par des haies et par des brises -vents (Cypres, roseaux, arbres fruitiers...etc.) comme protection contre les vents dominants. Les quelques parcelles appartenant au secteur privé sont cultivées en maraichages, céréaliculture ou laissées en jachère surtout quand il s'agit de terres à faible rendement.

1.2. L'héritage colonial ; place du statut foncier dans le processus l'ensablement :

Le secteur agricole en Algérie n'a pas vécu une stabilité. Il est passé par plusieurs modifications et transformations dans les structures agraires ; du secteur colonial, socialiste, à la révolution agraire, aux restructurations des terres en 1981 qui a vu naître les DAS (domaine agricole structuré) .En 1987 apparition du système de privatisation des terres agricoles avec la création des exploitations agricoles collectives et individuelles au détriment des DAS.

Pour le secteur public le droit d'usage des exploitations agricoles individuelles et collectives a entraîné un manque d'intérêt du paysan pour la terre.

EXPLOITATIONS	SUPERFICIE	NOMBRE D'EXPLOITANTS
E.A.C (EXPLOITATIONS COLLECTIVES)	44.598	1.268
E.A.I (EXPLOITATIONS INDIVIDUELLES)	12.143	2.713
FERMES PILOTES	1.325	03
OFFICES AGRICOLES	611	01
AUTRES	810	283

SOURCE : D. S. A

Tableau n°17 : Répartition des terres du secteur public

Dans le secteur privé, l'émiettement des terres lié aux héritages empêche toute possibilité de modernisation de l'agriculture par le remembrement d'exploitations.

Secteur	Superficie	Nombre d'exploitation
PUBLIC	59.487	4.268
PRIVE	72.781	20.536
TOTAL	132.268	24.804

SOURCE :D.S.A

Tableau n°18 : Nature juridique des terres agricoles (S.A.U)

Ces restructurations dans le domaine agricole ont eu des impacts sur le processus éolien et plus précisément sur l'action des vents.

1.3 .L'influence de l'occupation du sol et des superficies cultivées :

Les mutations agraires post-indépendance, ont métamorphosé le statut juridique des terres ainsi que l'occupation du sol, au niveau du plateau de Mostaganem le vignoble à diminué de 75% en 1959 à 69,8% en 1972 jusqu'à 5.2% en 1991 à cause de l'arrachage massif de cette spéculation et son remplacement par les cultures céréalières. Une telle politique a déclenché l'érosion éolienne en accélérant le processus d'ensablement des terrains agricoles et a mené à l'appauvrissement des terrains fertiles et leurs stérilisations (l'apparition de la forme squelette par l'enlèvement des particules fines du sols par le vent) au vu de l'absence d'une couverture végétale pendant presque toute l'année.

Pour une agriculture de subsistance avec un besoin en aliment toujours croissant, des efforts ont été consentis par les collectivités locales pour diminuer l'impact d'ensablement sur le milieu qui est déjà vulnérable. Un programme financé par l'Etat a été consacré au développement durable dans la région.

	1980	1985-1986	1997-1998	2002-2003	2006/2007	2007/2008
Total SAU	-	118 425	131 178	132 000	132268	132268
Jachère	-	-	-	15 956	5414	-
Céréales	35 967	38 141	66 340	64 211	21542	17822
vignoble	44 772	19 489	7 841	11 672	13267	12766
Arbres fruitiers	3 821	4 059	7 458	10 155	18476	18803
maraîchages	4 219	11 159	16 866		21542	17822

Source :DSA

Tableau n°19: Évolution de l'occupation agricole

La superficie agricole utile a augmenté entre 1986 et 2008 de 13843ha soit un taux de 629 ha/an, cette évolution s'explique par l'arrachage du vignoble dans les années soixante dix et la récupération des terres en jachère.

1.3.1. La céréaliculture, une pratique très répandue dans la région :

Cette culture très pratiquée à l'échelle de la zone d'étude se caractérise par sa faiblesse d'enracinement et de rétention en laissant le sol libre et exposé aux vents dominants (période juin à janvier). L'évolution positive de la superficie agricole utile de la culture céréalière qui a duré une trentaine d'années se traduit par la politique citée auparavant (arrachement du vignoble), et puisqu'elle demeure une culture vivrière malgré son impact au sol (par son recouvrement d'un voile sablonneux ou bien par la reprise de la déflation dans le voisinage immédiat d'où la formation de petites dunes accumulées) sa diminution en terme de superficie n'a guère été prometteuse qu'à 2007(Cf.fig n°16)

1.3.2. Les effets de l'arrachage du vignoble, et sa reconstitution par la suite :

Cette spéculation, dans les premiers temps a pris la place de la forêt qu'a été défrichée lors de la période coloniale pour des raisons jadis sécuritaires. Cette déforestation a été la cause principale du déclenchement du processus éolien dans la zone, aussi le déficit qu'a connu la France (1867, suite à l'apparition du " PHYLLOXERA dans la culture du vignoble ") a favorisé la plantation du vignoble en masse dans la région de Mostaganem.

La superficie de la vigne a vu une très forte baisse par la politique de l'arrachage de la vigne en 1972 et son remplacement par la céréaliculture. Cette régression continue en surface n'a fait qu'aggraver le phénomène d'ensablement, elle occupait 75% de la superficie agricole utile en 1959 pour arriver à 5.2% en 1991. Actuellement, elle représente 10% soit une superficie de 12766 ha (Cf.fig n°16). Le mode de culture du raisin de table est le plus fréquent et différent du mode de vigne de cuve, d'après (Smahi-2001) cette différence du point de vue de la dynamique éolienne est intéressante car la vigne de table protège mieux le sol.

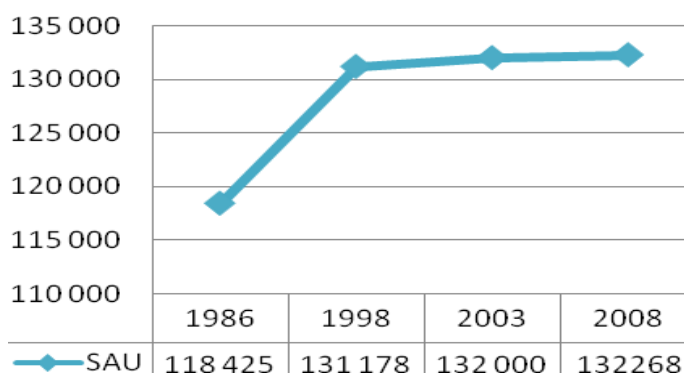


Figure n° 15: Evolution des superficies agricoles utiles entre 1987 et 2008 à l'échelle de la wilaya de Mostaganem

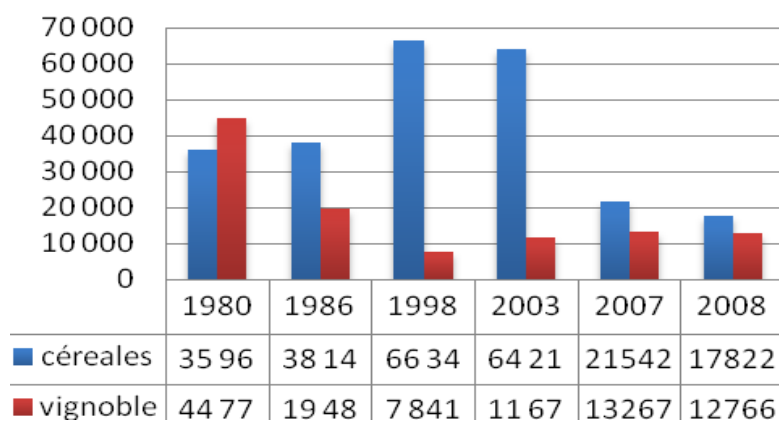


Figure n° 16: Evolution des spéculations en relation avec le phénomène à l'échelle de la wilaya (Céréaliculture et vignoble).

1.3.3 Les outils de travail et les systèmes de cultures:

Le mode d'action de l'outil sur l'état structural du sol contribue à sa destruction (compactage, semelle de labour, lissage de pulvérisation), les façons culturales avec le passage de l'extensif vers l'intensif favorise la création de conditions propices au phénomène de l'érosion. La mécanisation inadaptée et mal maîtrisée est à l'origine de dommages irréparables parfois du sol, environ (66.7%) (Larid-1994) des terres du plateau à texture grésocalcaire sont affectées.

Des efforts ont été consacrés par l'Etat pour réduire les mauvaises pratiques culturales comme par exemple ; les labours superficiels, le dry-farming, la jachère intégrale, l'utilisation de la charrue à disque sur les terres pentues... mais ils n'ont pas vraiment contribué à la réduction de l'érosion éolienne sur des milieux déjà fragilisés.

1.4. Surpâturage et raréfaction des espèces végétales : la vulnérabilité en question :

Le processus de surpâturage est intimement lié à l'idée de charge et de surcharge. Il y a surpâturage lorsqu'il y a prélèvement sur une végétation donnée d'une quantité de fourrage supérieure à la production annuelle et quand il ya un déficit en terres de parcours par rapport au nombre du bétail. À l'échelle de la zone d'étude le nombre du cheptel est estimé à 235330 têtes sur une superficie de 5110 ha de pacages et parcours. Cette superficie est insuffisante car on remarque un entassement des sols dans les terrains agricoles, aussi une réduction du couvert végétal des espèces vivaces qui est aussi un problème qualitatif entraîné par la raréfaction des espèces appréciées qui sont sélectivement éliminées par les troupeaux. Le cordon dunaire déstabilisé dans la région en témoigne parfaitement. Une métamorphose a été constatée dans la morphologie de ces dunes et a facilité l'ensablement dans le voisinage agricole (Cas des dunes de *Stidia* déstabilisées par l'anthropisation du cheptel et le recouvrement des sols agricoles dans les zones limitrophes par un voile sablonneux) dès les premiers écoulements éoliens arrivés suite à la présence d'un vent efficace.

Cette détérioration de la structure dunaire littorale et des dunes situées à l'intérieur du plateau par le pâturage mène à une réduction du couvert et à l'accumulation du sable dans les terrains fertiles limitrophes et vers les constructions urbaines et routes à leur proximité (Cas de Sidi El Mejdoub, kharouba, Souafliia, Mesra, Sayada, safsaf, et aux environ de bled Touahria, Bahara et Nekmaria, Ouled Boughalem,) ces dépôts de sable sont favorisés surtout par l'action des vents et/ou bien par de fortes précipitations dans ces endroits dont on observe chaque saison hivernale des catastrophes.

III.2. L'urbanisation ; une menace sur les sols et un facteur aggravant des risques d'ensablement:

Les causes de l'ensablement ne sont pas simplement dues qu'aux variations du climat, mais aussi à mettre sur le compte les activités humaines telles que citées précédemment (les façons culturales, l'occupation agricole, le surpâturage), la croissance urbaine de sa part et d'une manière différente est vecteur à l'accélération du processus par:

-L'étalement et l'affectation de son espace bâti (l'occupation du sol),

-La morphologie du bâti (hauteur, emprise au sol des constructions, exposition des habitations face au vent...etc.) et son impact sur le climat de la région,

Ces paramètres ne sont pas pris en considération par les collectivités locales et les règles d'urbanismes ne sont pas appréciées ni précisées dans les instruments d'aménagement et d'urbanismes. On va démontrer la relation entre les différents facteurs urbains qui peuvent être l'un des causes imperceptibles de l'ensablement.

2.1. La Croissance Urbaine :

Selon le classement national, la wilaya de Mostaganem est à prédominance rurale avec un taux de ruralité de 61.89%(S : Armature urbaine 2008) ce classement n'a pas empêché d'avoir une croissance urbaine surtout que les agglomérations rurales subissent elles aussi des transformations économiques en matière d'infrastructures de base et de logement, d'emploi, de loisir... et sont reclassées en agglomérations urbaines. Ce phénomène de reclassement réfère au transfert des agglomérations de la catégorie rurale à la catégorie urbaine survenant quand l'une d'entre elles finit par satisfaire aux critères de l'urbain se qui est observé au niveau de la région, plusieurs agglomérations étaient considérées comme rurales et se sont développées en unités urbaines surtout quand elles se retrouvent incorporées à une agglomération urbaine en expansion.

La croissance urbaine est donc définie comme étant un processus d'accroissement démographique (croissance de la population urbaine) et/ou spatiale (extension, étalement...) des unités urbaines.

Pour bien comprendre cette croissance la mesure du rythme et d'indice de l'urbanisation est très utile. (Cf.tab n°20)

2.1.1. Les indices de l'urbain et la mesure du rythme de l'urbanisation :

Le phénomène urbain peut être appréhendé à partir de trois grandeurs:

a) L'effectif de la population urbaine : Pu C'est le nombre absolu de personnes d'un pays vivant dans des villes ou agglomérations urbaines.

b) Le taux d'urbanisation ou degré d'urbanisation: proportion de citadins dans la population totale exprimée en pourcentage :

Avec **Pu** = Population urbaine et **Pt** = la taille de la population totale

c) La mesure du rythme d'urbanisation : est définie comme la différence entre les taux de croissance de la population urbaine et celui de la population

rurale : $\Delta / (\Delta t) = \Delta Pu / (Pu \Delta t) - \Delta Pr / (Pr \Delta t)$

Wilaya	Croissance urbaine		Taux d'urbanisation			Rythme d'urbani	
	1987/1998	2008/1998	1987	1998	2008	1987/1998	1998/2008
Mostaganem	55352	60000	32.93	34.96	38.11	0.82	1.41

Source : Armature urbaine 2008

Tableau n° 20 : Evolution de l'indice urbain de la wilaya entre 1987 et 2008

Le taux d'urbanisation a augmenté de 32.93 en 1998 à 38.11 en 2008, cette croissance lente n'a pas empêché d'avoir des expansions hasardeuses expliquées par l'absence d'un plan d'aménagement urbanistique, la construction des logements se faisait dans une confusion certaine.

L'évolution modérée de ces indices à l'échelle de la wilaya ne reflètent guère la spécification de chaque commune, il y a certes une timide augmentation dans certains endroits par rapport à d'autres, mais si on prend l'exemple des communes limitrophe à la commune chef lieu de la wilaya on remarque spatialement une croissance urbaine preuve d'une attraction (emplois, administration, santé, universités...etc.) et d'une différenciation en rythme d'urbanisation dans la région.

Cette croissance urbaine a créé une tension sur les espaces fragiles (terrain agricole et cordon dunaire), a mené à de vrais problèmes liés à une urbanisation précipitée vers les milieux sensibles, là où le phénomène d'ensablement est très actif du fait de l'impact de l'érosion éolienne sur le géosystème dunaire en pleine destruction (Par constructions ou bien par pillage de sable), à des pertes de plus en plus de sols fertiles (dilapidation des terres agricoles par le bâti et/ou par un voile sablonneux).

Il y a une relation étroite entre croissance urbaine, dégradation du cordon dunaire, ensablement des terres agricoles et infrastructures routières, c'est toute une boucle.

Vu l'étendue du bâti et son influence sur l'ensemble de la région, des difficultés pour le suivi se posent. Pour ces raisons nous avons choisi des zones tests pour mettre en évidence l'impact du processus d'ensablement sur la région.

-Dans un premier temps nous étudierons l'évolution urbaine de la commune de Mostaganem afin de bien suivre les mutations spatiales.

-Dans la deuxième partie de l'étude (par le biais d'imageries satellitaires) nous démontrerons l'impact de l'expansion urbaine, sa pénétration dans le massif dunaire et dans les terres agricoles, dans les zones tests en questions.

2.2. Les effets de l'étalement spatial :

Pour bien comprendre le rapport entre les différents éléments explicatifs du processus de l'ensablement une approche urbaine est essentielle.

2.2.1. La ville héritée de la période coloniale :

-El-Matemare et Tidjitt sur la rive droite, composent un arc épousant le tracé de l'oued et la déclivité des terrains.

- Derb-Tebbane dénommé El Bled, sur la rive gauche est cerné d'une muraille. Sa position lui conférait le rôle de contrôler l'ouest et la mer. Réservé au commandement beylical et à l'aristocratie locale, il constitue le noyau de la ville traditionnelle qui abrite plusieurs édifices religieux et administratifs (La grande mosquée, le Bordj M'hal, la mosquée de Sidi Yahia, le palais du Bey Mohamed El-Kebir et deux zaouias). Il est structuré en outre, par des rues animées Cette description évocatrice de quelques caractéristiques de la cité précoloniale, illustre la conception linéaire du souk plutôt qu'au sein d'une place. Cette forme d'organisation de l'espace commercial le long de la rue, est une constante majeure et un trait culturel dans l'aménagement urbain.

La ville traditionnelle constituait une certaine cohérence et une permanence de son tissu urbain malgré la présence d'une topographie accidentée se qui a permis d'apprécier les principes de sa composition. L'agencement compact des maisons, l'ordonnance de la mitoyenneté et les autres traitements architecturaux donnent à la ville son unité et une homogénéité dénuée de monotonie.

Dans la période coloniale le noyau initial était la source des plantations urbaines à côté ; L'orientation Nord-Sud adoptée au début a été rapidement abandonnée pour des raisons topographiques. Les quartiers se sont développés en échiquier autour du centre, suivant une croissance radioconcentrique ordonnée par les éléments régulateurs que sont le port et l'oued vers le Sud-Est. (Cf.fig n°17 A)

La première période d'urbanisation de type militaire (1833-1850) et d'occupation de la ville existante, se poursuit par la création de la ville dite moderne. Initiée en 1855, elle donne naissance à la physionomie urbaine de Mostaganem selon un plan d'alignement des rues, ponctué de places et de carrefours. Une succession de projets a été entamés postérieurement par la construction de L'hôpital militaire et de la Place d'Armes, qui deviendra plus tard la Place de la République, plantée d'arbres et dont la position centrale regroupe l'église et des bâtiments de deux à cinq niveaux pour usage d'habitation. La conception des façades avec des balcons et de grandes fenêtres jouissent de la vue, tout en assurant l'ensoleillement et l'aération. Les rez-de-chaussées en arcades sont généralement réservés aux activités commerciales. Au fur et à mesure que la ville prend forme, on observe l'apparition de plusieurs quartiers (La marine, La pépinière, Beymouth et Saint-Jules) autour du centre colonial, offrant aux ingénieurs et bâtisseurs français en Algérie l'opportunité d'expérimenter des techniques et des dispositifs urbanistiques nouveaux. C'est la période des orientalismes

qui ont laissé des traces visibles dans la conception des projets architecturaux. Entre 1910 et 1959, la viticulture cette spéculation qui a développé le secteur économique d'où l'exécution de nombreux projets structurants de la ville. L'Hôtel de ville, en 1927, constitue par son architecture massive un fait marquant et un repère dans la représentation sociale. D'autres équipements importants ont suivi, tels que l'Hôtel des finances, La poste et les banques qui ont été réalisés le long du boulevard principal Benaïd Bendehiba (Ex. Avenue de Premier de Ligne). L'édification de nouveaux quartiers (Monplaisir à l'Est, La Salamandre au Nord Ouest) ainsi que la jonction des quartiers existants (Beymouth, Saint-Jules et Raisinville) donnent à la ville la configuration héritée après l'indépendance. (Cf. fig n°17 B, C,)

Jusqu'aux années 1940, la production des logements a été le fait de l'initiative privée.

Ce n'est qu'après 1954 que les autorités françaises ont mis en œuvre des formules pour loger la population algérienne défavorisée, issue de l'exode rural, celle-ci était installée dans des bidonvilles à proximité de Monplaisir, El Arsa et Tidjditt. Au nord de ces quartiers, l'armée française en 1956 a construit un camp de recasement dénommé «Les maisons du capitaine», et l'office HLM (Habitations à loyer modéré) pour sa part, a réalisé des logements de types divers sur deux sites. Durant les dernières années de la Guerre de libération nationale, le Plan de Constantine a financé des logements type HLM à Raisinville, Beymouth et à l'extrémité Sud Est de la ville. Les différents tissus européens qui se sont juxtaposés en adoptant, en général, le même type d'urbanisme, définissent les lignes de croissance radioconcentrique de la ville après l'indépendance. C'est ainsi que l'urbanisation s'est déployée selon trois axes principaux reliant Mostaganem à Oran à l'Ouest, Relizane au Sud et Ténès à l'Est. (Yamani et Brahim 2009)

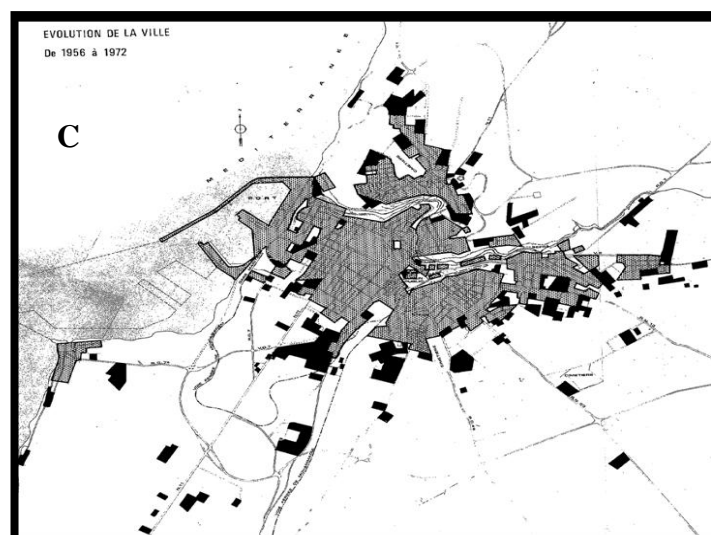
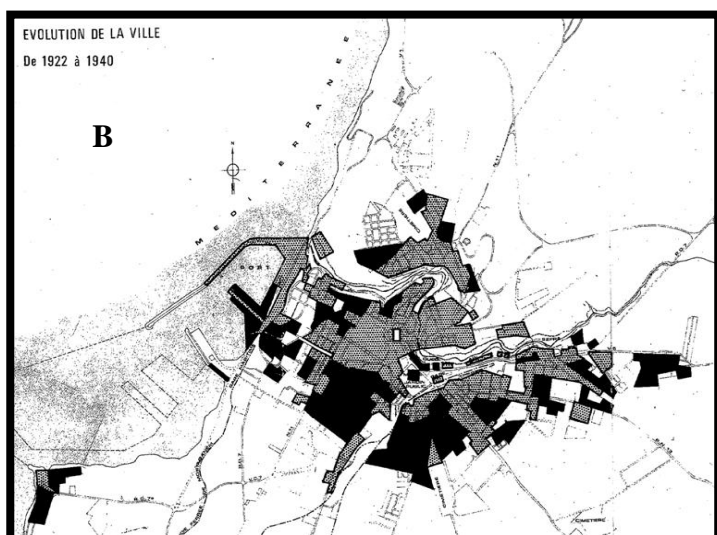
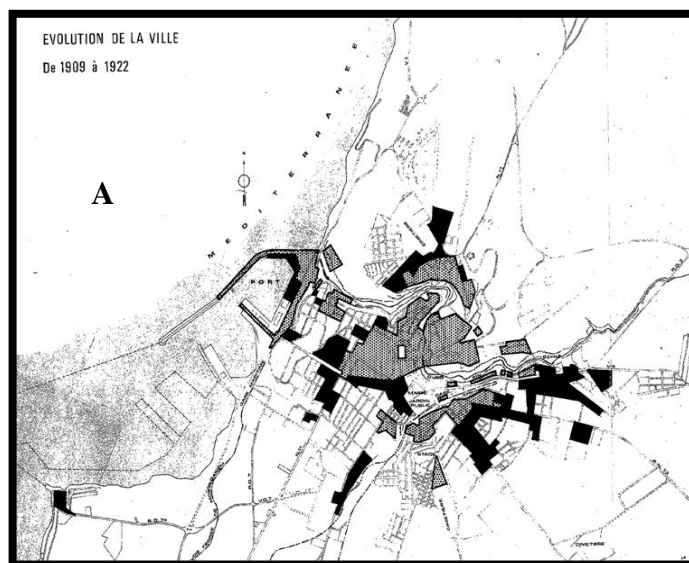


Figure n°17 : Evolution de la ville de Mostaganem de (1909-1972)

2.2.2 Nouveaux espaces urbanisés et nouvelle morphologie urbaine :

Le rythme d'urbanisation de la ville comme celui de la wilaya est considéré comme un rythme relativement lent. Les principaux projets qui ont marqué son évolution, sont le siège de la Wilaya, l'Institut technologique de l'enseignement, quelques écoles primaires et l'achèvement des programmes HLM entamé à la fin de la Guerre de libération nationale.

Dans les années 1970, Mostaganem a bénéficié d'un programme de planification urbaine qui tracera les grandes orientations de son expansion urbaine, de grands projets structurants verront le jour tels le nouveau pôle universitaire, des cités universitaires et le nouvel hôpital. Durant la décennie suivante, d'autres programmes d'envergure, planifiés par le Plan d'urbanisme directeur (PUD), contribuent foncièrement à la mutation spatiale de la périphérie de Mostaganem. Elle se mesure en termes de nombreux projets localisés surtout au sud-est de la ville et greffés aux quartiers existants. C'est en définitif, un ensemble de variétés fonctionnelles que l'on peut qualifier de mixité urbaine, qui apparaît à travers la diversité des activités ainsi que les types d'habitat et des équipements réalisés.

Les années 90 des procédures d'auto-construction ont marqué la région de Mostaganem par l'édification de lotissements et de coopératives immobilières. C'est ainsi que l'espace bâti de Mostaganem a augmenté de 169% entre 1977 et 2000 soit à un rythme annuel de 7,34 %, la superficie bâtie de la ville étant multipliée par 1,5. (Bendjelid-2005)

La planification urbaine (PDAU et POS) impulse à l'urbanisation une accélération remarquable. L'observation de la périphérie actuelle montre que cette extension a été facilitée par l'existence de terrains plats le long des axes routiers modifiant ainsi la forme radioconcentrique de Mostaganem en un étalement linéaire qui diverge dans trois directions.

- Au sud-ouest, l'agglomération de Salamandre est atteinte, d'une part grâce aux équipements structurants symbolisant le pouvoir administratif local (tribunal, extension de la wilaya, Directions techniques,...) et d'autre part, par la réalisation de bâtis résidentiels (habitat semi-collectif de haut standing et collectif de type LSP ainsi que des coopératives d'habitat individuel). (Cf.fig.n°18°)

- Au sud vers Mazagan, comprenant l'habitat collectif social et individuel de type coopératif immobilier sur des poches urbaines aux limites de la commune signifiées par un boulevard périphérique. L'extension sur ce territoire a reçu un programme de logements en location vente type AADL.

- Au nord-est vers Kharouba par la création de deux grandes zones urbaines linéaires traversées par la Route nationale 11. L'une, en direction d'un massif forestier, abrite de grands équipements de différentes catégories (cités universitaires, université, sûreté urbaine, école de la protection civile et hôpital) et des logements sociaux participatifs semi collectifs. L'autre, parallèle à la plage de Sidi El Medjdoub, développe son programme d'habitat le long du littoral. Dans l'état actuel des faits un ensemble de logements individuels offre le spectacle de vastes chantiers de bâtisses en construction. Créées sur des terrains libres, elles constituent un territoire urbain en devenir où se reflète une importante dynamique en totale rupture morphologique avec la conception des quartiers centraux.

Les nouveaux espaces urbains, en effet, se juxtaposant aux anciens sans articulation paysagère, qualifient cette discontinuité d'une double déficience au niveau urbanistique. La première est spatiale et se traduit, par leur non intégration aux anciens quartiers de la ville ; la deuxième concerne la disparition des éléments structurants relatifs à des repères mentaux tels que le centre et les rues. L'image de la périphérie renvoie à une forme éclatée et discontinue caractérisée par un bâti éparpillé séparé par des terrains libres compliquant davantage la reconnaissance des lieux et la lisibilité.

Cette aspect d'urbanisme est l'effet de la priorité des réalisations à grandes échelles donc le résultat d'après Yamani et Brahimi (2009) est une mosaïque de forme architecturale et une multitude de façades, cette architecture qui a certes rompu avec la monotonie des années précédentes, n'a pour autant pas donné naissance à un tissu urbain harmonieux.

Les prescriptions de l'urbanisme normatif et la croissance spatiale ont en effet occulté les règles de l'esthétique et de la fonctionnalité ainsi que les besoins de la population. Par ailleurs, La composition de l'espace, est faite sans une vision globale d'aménagement.

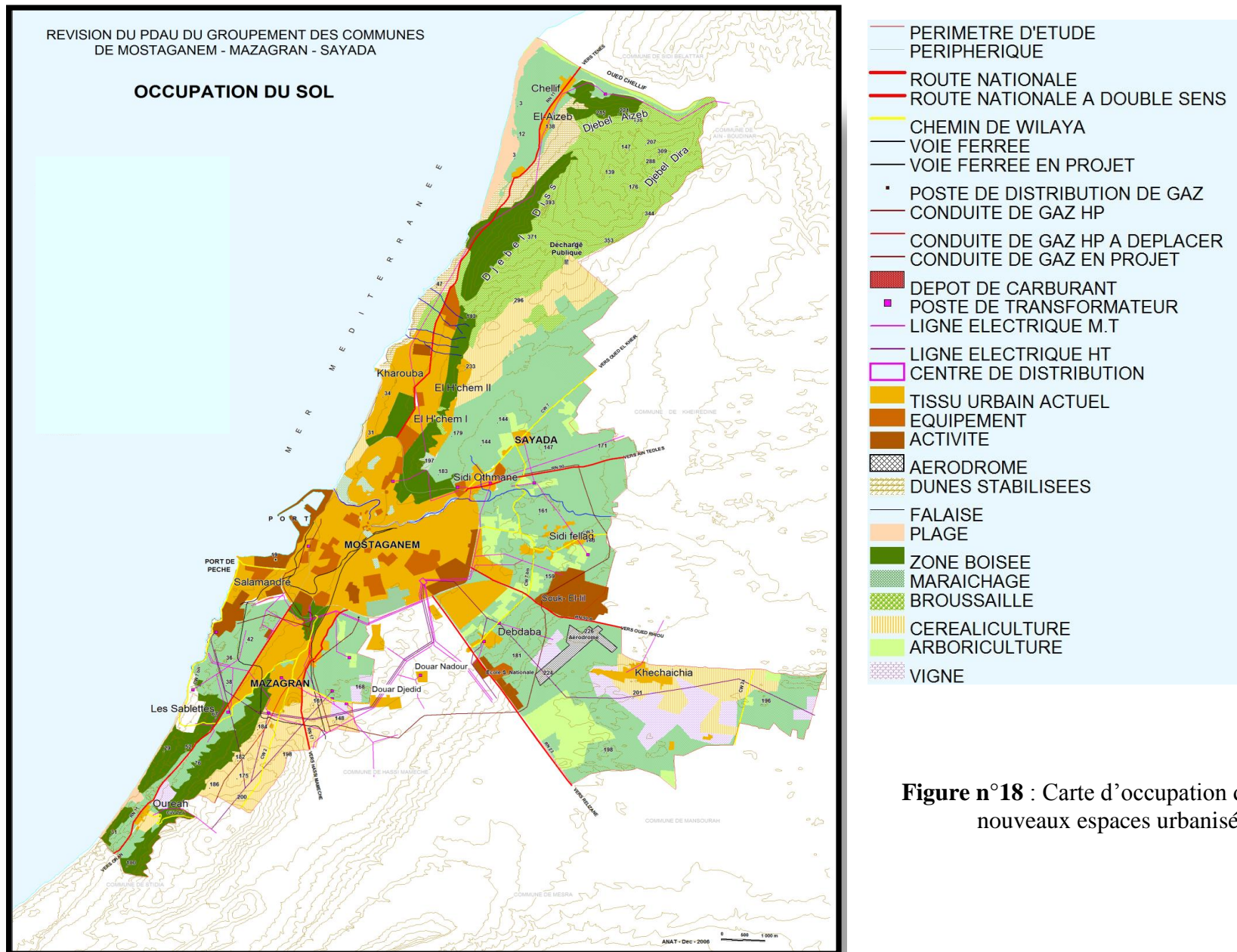


Figure n°18 : Carte d'occupation du sol des nouveaux espaces urbanisés.

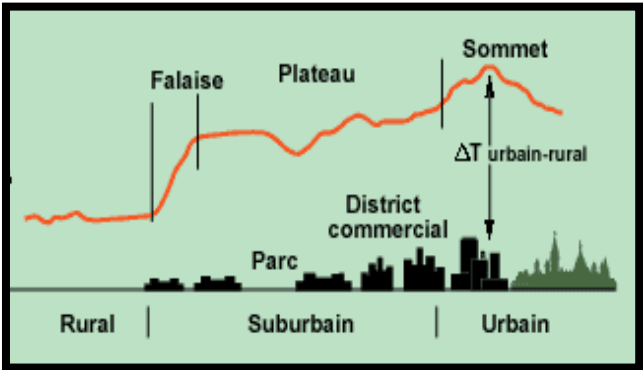
2.3. Morphologie urbaine : microclimat et ses effets sur la direction des vents :

Les éléments bâtis du tissu urbain modifient fortement les paramètres microclimatiques à l'échelle locale en perturbant la distribution de l'écoulement du vent et en amplifiant les transferts de chaleur entre les surfaces. Le bilan énergétique thermo-radiatif des espaces extérieurs est ainsi étroitement lié à la nature et à la morphologie des arrangements de bâtiments (ex : formes compactes , pavillonnaires, verticales et répétitives ou traversantes).

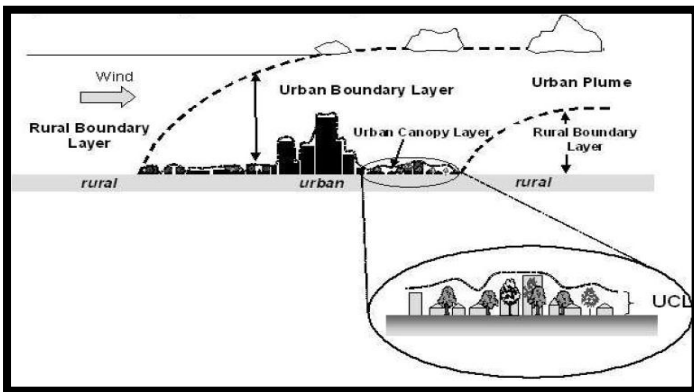
L'approche de la forme urbaine comme forme bioclimatique a une grande importance dans le cas de notre étude. La définition de cette approche selon (Athamina-2012) (d'après Escourrou 1980-1991) est traitée dans sa dimension environnementale comme microclimat urbain, tant dans ses variations géographiques par quartier, que dans sa diversité liée aux types de tissus (ouvert, fermé, vertical), selon l'orientation (héliothermique), selon le site (eau, relief, végétation).

L'approche *bioclimatique* a conduit à un important débat sur les formes urbaines du futur (formes étalée ou compactes) initié autour de l'enjeu du développement durable, du surcroît de la consommation d'énergie et ses conséquences sur le climat et récemment avec l'optimisation des ambiances physiques dans les espaces urbains. En effet, Les éléments composant les formes des *tissus urbains* et des *tracés* agissent comme des facteurs de variation du microclimat urbain et induisent une distribution fluctuante des paramètres de confort (température de l'air, vitesse du vent et rayonnement incident par exemple).

Plusieurs recherches récentes ont mis en évidence le rôle de la morphologie urbaine sur le climat dont l'importance est celle de l'îlot de chaleur et du confort thermique (Cf.fig.n°19). celui-ci est une recherche basée sur des mesures sensibles et authentiques qui méritent d'être étudié par les spécialistes ou bien d'être un sujet de recherche aux niveau de la région. Notre souci majeur dans la zone d'étude est d'appréhender le comportement du vent vis-à-vis d'un obstacle (bâtiments, rue, îlots) car il ya apparition de voiles et d'accumulations sableuses dans le voisinage immédiat des constructions suite aux différents modes d'écoulement éoliens perturbés et chargés de grains de sable ; l'existence d'un stock de sable et de vents efficaces (Cf. ChapI et II-Partiel), une hétérogénéité dans l'espace et dans la morphologie du bâti.



A



B

Figure n°19 (AB): L'influence de la densité urbaine sur le microclimat.
S : Athamina-2012

2.3.1. Le rôle de la densité d'un tissu urbain dans l'orientation des écoulements éoliens :

La densité bâtie varie selon le mode d'occupation de l'espace. Ce dernier est fondé sur une progression de l'habitat collectif du plus compact vers l'habitat individuel pavillonnaire et le plus ouvert, avec des formes urbaines de transition. La variation des densités entre différentes portions urbaines, fait ainsi émerger des espaces publics extérieurs de dimensions variées. Le cœur des villes est souvent plus confiné que les quartiers périphériques, car les parcelles sont occupées en totalité. Les espaces publics et les vides subsistant entre le bâti sont alors de faibles dimensions horizontales (largeur et longueur de l'espace) (Ait-ameur, 2002, p.129).

La mesure de la densité d'un tissu urbain permet d'évaluer sa porosité par rapport au vent. Dans les tissus compacts et resserrés, seuls les toits et les terrasses constituent des probables zones d'inconfort (augmentation de la vitesse du vent). Un groupement de construction à décrochement organisé de manière verticale peut engendrer un effet de pyramide défini par (Gandemer -1976).

La porosité d'un tissu urbain conditionne la pénétration du vent dans le tissu. Le vent arrivant sur l'agglomération avec une vitesse plus faible que sa vitesse d'origine est soumis à une variation de sa trajectoire ainsi que de sa vitesse. Des survitesses peuvent en effet apparaître dans un canyon urbain. Des mouvements tourbillonnaires peuvent aussi se produire à proximité d'obstacles urbains atypiques pour une silhouette urbaine spécifique. (Cf.fig n°20).

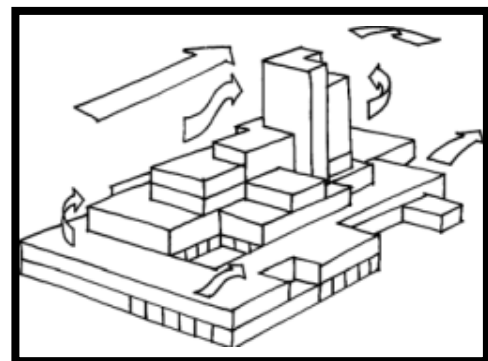
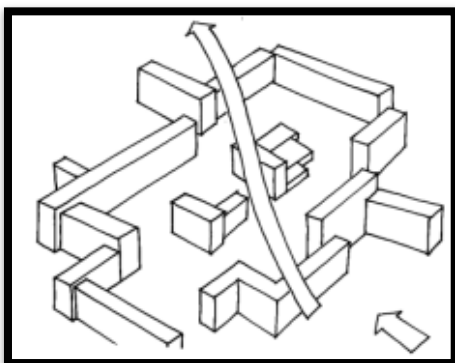


Figure n° 20:

A gauche: Un tissu poreux présentant des bâtiments de hauteurs homogènes.

A droite : Un effet de pyramide sur un groupement de construction à caractère pyramidal.

(Gandemer-1976)

2.3.2. Le comportement du vent ; agent principal de transport et de dépôts sableux :

Le vent peut être défini comme étant le mouvement horizontal de l'air créé lorsque celui-ci tente de compenser les différences de pression dans l'atmosphère (Parisel-1986). Ce mouvement se produit lorsque l'air des secteurs froids de l'atmosphère remplace l'air des secteurs chauds (Melaragno-1982). Le vent est essentiellement lié aux différences de températures dans l'atmosphère. (Cf.fig n°21)

Le comportement du vent autour d'un obstacle simple a fait l'objet de plusieurs études, lorsque l'écoulement du vent est perturbé par un obstacle, une zone de pression positive se forme en amont alors qu'une zone de pression négative se forme en aval de l'obstacle. Cette différence de pression crée une accélération du vent et des tourbillons dans l'environnement immédiat de l'obstacle. (Yan Laplante -2006)

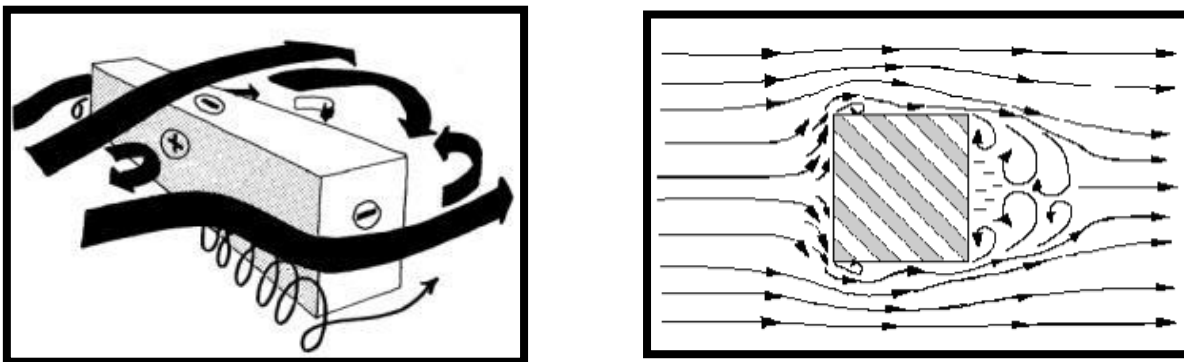


Figure n°21 : Schématisation du contournement d'une structure bâtie par le vent (Gandemer-1981).

Le comportement dynamique de la circulation éolienne en présence d'un obstacle a fait aussi l'objet d'étude sur quelques exemples du Sahara par (Mainguet et Remini -2004) sur des obstacles naturels (*dune, montagne, roche sableuse*) elles ont constaté que la présence d'un obstacle moyen ou méga obstacle dans un fluide provoque des déformations dans le fluide qui se traduisent par des perturbations de la pression et de la vitesse et quand on s'éloigne du corps, ces perturbations s'éteignent rapidement. Ce même phénomène se produit lorsque les courants éoliens transporteurs de sable rencontrent les obstacles topographiques, il se forme une succession d'aires aux comportements dynamiques différents.

Donc plusieurs auteurs ont évalué les effets causés par l'écoulement du vent autour d'un obstacle (Gandemer-1976). Les plus intéressants dans le cadre de cette recherche sont l'effet de sillage, l'effet de barre, le rouleau tourbillonnaire et l'effet de coin dont l'impact est significatif en terme d'accélération du phénomène d'ensablement.

1-Effet de sillage :

L'effet de sillage se définit comme étant une circulation d'un fluide tourbillonnaire en aval d'un obstacle. La visualisation de la morphologie de cette zone tridimensionnelle caractérise principalement l'hypothèse selon laquelle il est possible d'utiliser le vent comme outil de création architecturale. A l'intérieur de la zone de sillage les niveaux de survitesse décroissent et créent par le fait même des zones calmes.

2-Effet de barre :

L'effet de barre se caractérise par une déviation en vrille de l'écoulement éolien en contact avec une barre selon une incidence approximative de 45 degrés. Dans ce cas particulier, une zone critique apparaît derrière l'obstacle dans laquelle la vitesse de l'écoulement est accélérée.

3-Rouleau tourbillonnaire :

Le rouleau tourbillonnaire survient au pied de la face au vent d'un obstacle. L'effet de rouleau apparaît lorsque la hauteur d'un obstacle est supérieure à quinze mètres. Cette effet devient désagréable en raison du mouvement vertical de l'écoulement dans le tourbillon (Gandemer-1976).

4-Effet de coin :

L'effet de coin est un phénomène d'écoulement caractérisé essentiellement par la zone de surpression et la zone de pression latérale de l'obstacle. L'effet de coin a pour incidence de créer une zone de survitesse importante aux arêtes de l'obstacle particulièrement inconfortable pour les piétons.

Cette démonstration des différentes manifestations du vent sur un obstacle à pour but de comprendre la gravité des perturbations d'une circulation éolienne liée à l'avancement du sable dans l'environnement (routes, infrastructures, constructions, terres fertiles). C'est le cas de la région de Mostaganem là où toutes les conditions sont réunies « climatiques géologiques ainsi que plantations urbaines dans le cordon dunaire » pour une action efficace du processus, l'accélération et la déviation des écoulements éoliens sont donc responsables du transport et dépôt des particules de sable sous forme de micro-dunes ou d'accumulations sableuses en mouvement, dont ils deviendront une source d'alimentation à l'action des vents dominant de la région.

L'urbanisation anarchique et la morphologie des bâtis conduisent elles aussi à la destruction du système dunaire et sa perturbation par ;

*Le rasage de la dune « les auto-constructions et l'abandon de sable sur place et/ou les carrières du sable légales ou illégales ».

*Les implantations lourdes le long de la côte, sur des dunes stabilisées « métamorphose du couloir dunaire et son déplacement sous forme de voiles dans le voisinage immédiat ».

Dans la deuxième partie de notre thèse, nous allons développer sous forme d'illustration certaines zones touchées par ces phénomènes et les catastrophes qui en découlent suite à cette relation.

Conclusion

Ce présent chapitre nous avons voulu mettre l'accent sur les pressions urbaines et rurale sur les milieux fragilisés de la zone, ces dernières créés des perturbations socio-économique qui se traduisent par le renforcement du risque d'ensablement, parmi celles ;

- Le poids de l'histoire que se soit par les mutations agraires et les modes cultureaux, ou par la mauvaise distribution du pâturage d'où le surpâturage.
- La croissance urbaine et l'étalement démesuré de l'urbanisme, aussi par le comportement des vents avec les nouvelles mutations en morphologies urbaine.

Si le phénomène d'ensablement se manifeste timidement au niveau des structures en bâtiments, il est fort appréciable et demeure influençant pour le réseau routier, puisqu'il entraîne des coupures fréquentes de trafic, et présente un danger permanent pour les usagers de la route, pour l'agriculture il est remarqué par la perte en fertilité des sols donc en usage en sol agricole.

C'est à travers la deuxième partie que l'effet de ce processus sera bien illustrer par le biais de l'imagerie satellitaire et par des photographies prises sur les lieux dites sensibles.

Conclusion de la première partie

Conclusion de la première partie

Dans cette présente partie, nous avons étudié les éléments physiques et anthropiques qui sont à l'origine de ce processus.

En premier lieu, une étude bibliographique à partir des différentes lectures est à la base de notre recherche. Nous avons constaté que le relief est caractérisé par deux grandes composantes morphologiques : le Plateau et les Monts de Dahra avec des sous unités morphologiques présentant un relief peu contrasté dont l'altitude varie entre 285 m dans la partie Sud-Est et 150 m dans la partie Nord -Ouest. Notre zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen semi -aride à écoulement temporaire, caractérisé par une longue période sèche qui s'étale de mai à septembre donc défavorable au bon développement de la végétation qui joue un rôle essentiel dans la sédimentation et la fixation du sable dunaire. L'évapotranspiration moyenne annuelle (876,3 mm) dépasse largement les précipitations moyennes annuelles (313,2 mm) et augmente par conséquent la sensibilité des sols et leurs mobilisations par le vent efficace abondant dans la région.

Mostaganem est une région à vocation agricole, l'agriculture est considérée comme un moyen de subsistance d'une marge importante de la population. La superficie agricole utile (132268ha) est constituée en majorité par la céréaliculture avec une superficie de 57502 hectares, les cultures pérennes (arboriculture et vignoble) sont insuffisantes et représentent 23% de la SAU et 14% de la SAT.

Rapportés à la population de 1998 estimée à 629357 habitants et à 746947habitants en 2008, le taux d'accroissement moyen observé est de 1,7 %. Une croissance urbaine (un rythme de 1.41) résultat d'une évolution démographique a créé un processus en liaison avec le phénomène d'ensablement ; l'anthropisation en zones sensibles (urbanisation dans le cordon dunaire et terrain agricole et intensification des systèmes agricoles...etc.) va à l'encontre de la politique du reboisement envisagée.

Le changement de la morphologie urbaine suite à l'étalement spatial, a eu un effet dans des changements au microclimat de la région, la manifestation des vents dans un milieu construit crée une déviation dans le couloir dunaire et les zones de turbulences , donc différent facteur ont participé à d'ensablement. Dans la deuxième partie nous avons intégré l'outil satellitaire pour le suivi de l'évolution du processus d'ensablement et pour cibler aussi les extensions urbaines.

PARTIE II
**L'Evolution Spatio-temporelle de l'ensablement
et d'urbanisation**

« Be glad that you have some little knowledge of something that you cannot penetrate. Don't stop to marvel. »

Albert Einstein (Life, 30-V-1955)

De nombreuses études consacrées à l'approche urbaine ont tenu compte du cadre environnemental et du contexte paysagère, mais faisant abstraction des risques naturels tant les dégâts causés par une urbanisation non maîtrisée étaient souvent sous-estimés.

La prise de conscience du facteur risque dans les implantations urbaines n'est effective que lors de situation de catastrophe naturelle (inondation ou séisme), et aucune anticipation du risque n'est observé dans la production de la ville et de ses nouvelles périphéries.

L'ensablement est un risque naturel qui affecte aussi bien les milieux urbains (agglomération et leurs infrastructures routières) que les milieux ruraux (terrains agricoles). Les différentes formes d'anthropisation aggravent ce phénomène. Le suivi constant de ces processus par des analyse spatio-temporelle que seul l'outil satellitaire peut appréhender étant donné l'ampleur du phénomène est essentiel dans notre cas, car il permet une large couverture des aires touchées par ces phénomènes.

Dans cette partie nous allons présenter les images satellitaires utilisées ainsi que les différents traitements effectués pour l'identification des zones touchées par l'ensablement et d'en assurer un suivi dynamique.

Ce choix va nous permettre de bien suivre l'ensablement et l'orientation de la dynamique urbaine sur dunes jusqu'aux limites orientales de la région de Mostaganem.

Enfin, pour une meilleure approche du phénomène et afin de cerner les discontinuités de son action nous avons voulu tester l'imagerie satellitaire afin de produire des résultats fiables et facilement généralisables tout en moins pour l'ensemble de la wilaya étudiée ;

1- Quel rôle joue l'imagerie satellitaire dans l'approche de ce risque?

2- Peut-on cerner les évolutions et les progressions ?

C'est à l'ensemble de ces questions qu'on tentera de répondre dans cette partie expérimentale.

Cependant la télédétection est un outil très pratique dans cette étude, permettant une analyse fine du phénomène mais la fiabilité n'est possible que si cet outil est accompagné de relevés terrains judicieusement localisés grâce aux cartes topographiques numérisées et géo-référencées.

L'outil télédétection dépend de :

*La résolution au sol du pixel,

* Le nombre d'intervalle des bandes spectrales fournies.

*Le cycle d'enregistrement disponible (diurnes, nocturnes, multi-saisons)

*La zone couverte par la scène.

Dans la chaîne de traitements arrêtée, quatre méthodes sont proposées:

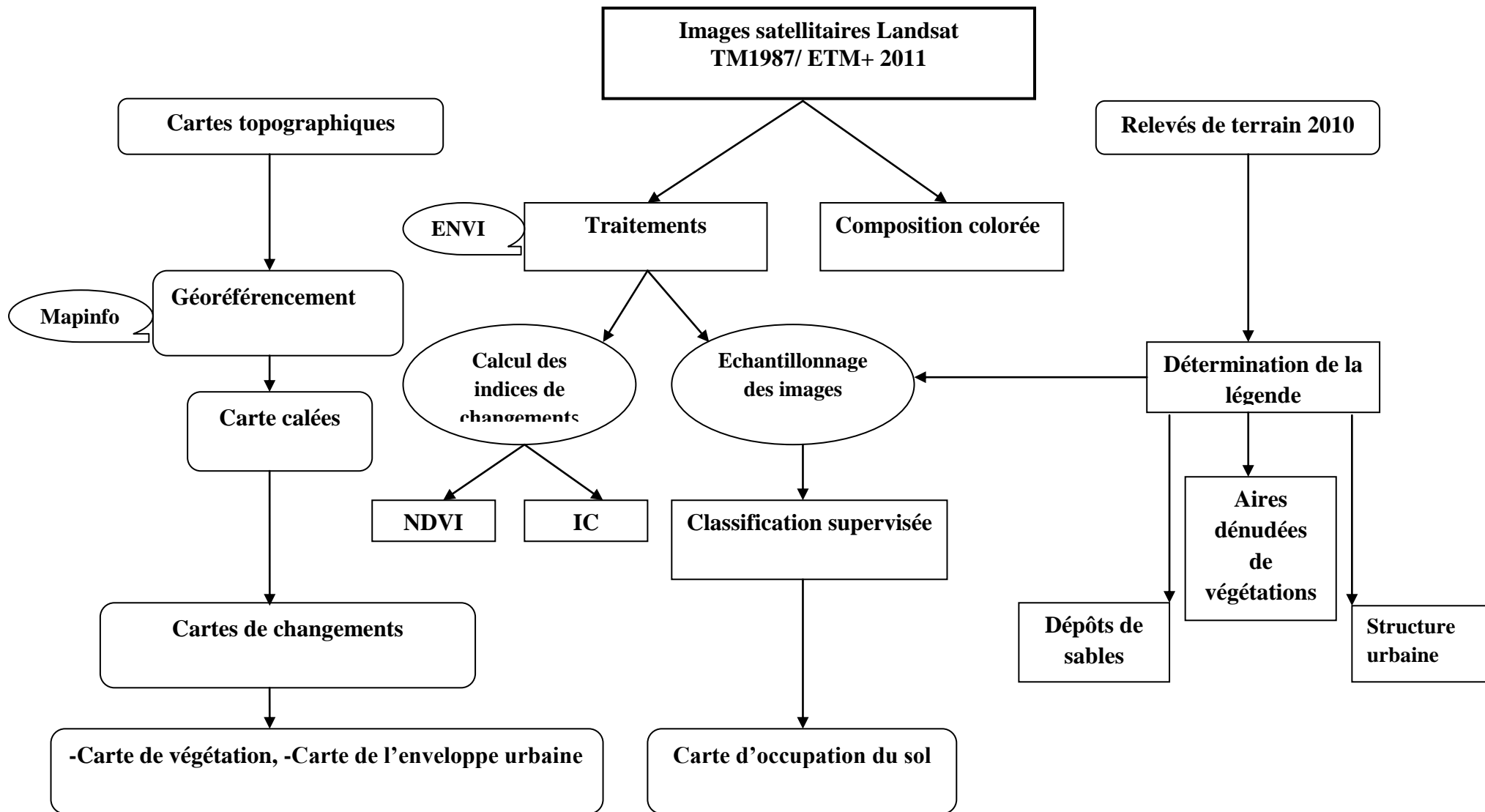
-La classification des images pour l'identification de l'occupation du sol et la détection des zones ensablées.

-L'indice de végétation avec une comparaison entre deux NDVI à de différentes dates (1987/2011) (Normalized Difference Vegetation Index) pour saisir le couvert végétal, sa régression et le voile sablonneux qui le menace.

- L'indice de cuirasse IC (1987/2011) (Indice de l'enveloppe urbaine) qui permet l'identification des zones fortement minéralisées et urbanisées.

-L'interprétation visuelle des résultats obtenus afin de proposer une nomenclature thématique.

*L'organigramme ci-après présente la chaîne de traitements adoptée.



Organigramme 02 : Arborescence du traitement des images satellitaires

CHAPITRE I : L'apport de l'outil satellitaire et scènes utilisées

L'un des grands avantages de la télédétection spatiale est sa capacité à amasser périodiquement de l'information d'une même région de la Terre. Les caractéristiques spectrales de la région observée peuvent changer avec le temps.

L'imagerie spatiale est devenue actuellement l'outil principal de surveillance et de suivi des différents phénomènes terrestres. La comparaison d'images multitemporelles permet de détecter ces changements.

I.1. Images satellitaires utilisées :

Nos images sont fournies gratuitement par l'USGS (US Geological Survey) (<http://www.usgs.gov>) avec un niveau de prétraitement *LI*. Ce dernier concerne une correction radiométrique et géométrique par rapport au système géodésique mondial *WGS84* et la projection *UTM* (Universal Transverse Mercator), *zone 31*.

Dans la présente étude deux images satellitaires *TM*¹ et *ETM*² du satellite Landsat 5 sont utilisées ; la première date de 1987 et la seconde de 2011. Chaque image comporte 7 bandes (canaux) dont chacune a un domaine d'application comme le montre le tableau n°21. À titre d'exemple la différenciation sol/végétation est fournie pour le canal 1 alors que la différenciation des espaces végétalisés est beaucoup plus identifiable dans le canal 3 de Landsat.

Canal	Min (en μm)	Max (en μm)	Utilisation	Domaine spectral
1	0.45	0.52	Différenciation sol / végétaux, zones côtières	Visible
2	0.52	0.60	Végétation	
3	0.63	0.69	Différenciation des espèces végétales	
4	0.76	0.90	Biomasse	Proche infrarouge
5	1.55	1.75	Différenciation neige/nuage	
7	2.08	2.35	Lithologie	Moyen infrarouge
6	10.40	12.50	Thermique	Infrarouge thermique

Tableau 21 : Caractéristiques spectrales des canaux du capteur TM/LandSat
(Source : <http://eoedu.belspo.be/fr/satellites/landsat.htm>).

¹ Thematic Mapper

² Enhanced Thematic Mapper

1.2. Caractéristiques spatiales et spectrales des images satellitaires :

Pour une large couverture et un maximum de données, le choix des images s'est appuyé sur les images à moyenne résolution spatiale des produits Landsat avec un pixel de 30m x 30m au sol. Quant à l'image Quickbird de résolution spatiale de 0,61m, elle couvre la fenêtre panchromatique, avec des qualités proches de la réalité terrain.

Les caractéristiques de nos images sont portées sur les tableaux n° 22 et 23 :

Image : Satellite/ Capteur / Référence	Date et heure de prise de vue	Angle d'élévation solaire en degré	Azimut solaire en degré	Nombre de canaux acquis	Résolution spatiale	Observation
Landsat5 TM* Etp197r37	02/10/1987 à 09h59mn	56.47	120.25	7	30m	Couvre toute la zone d'étude
Landsat5 ETM*** Elp197r037	06/02/2011 à 10h22mn	37.61	146.09	7	28,5m	Couvre toute la zone d'étude
				2 (61 et 62)	57m	
				1 panchromatique	14,25m	

Tableau 22 : Principales caractéristiques des images satellitaires Landsat.
(D'après images header files et CCT documentation)

Note abréviation :

Image TM87 - Etp197r37 = TM87 (E)

Image TM87 - Etp198r37 = TM87 (O)

Altitude	450 km	
Résolution au sol	0,61 m panchromatique 2,44 m multispectrale	
Largeur de fauchée	16,5 km x 16,5 km	
Méthode de balayage	Longitudinale	
Date et heure de prise de vue	2008	
Observation	Couverture non complète.	
Délai de ré-observation	Intervalle de survol= au plus 20 jours Intervalle de survol = 1,5 à 2,5 jours (avec une configuration de deux satellites)	
Caractéristiques spectrales (nm)	Panchromatique 450 to 900	Multispectrale 450 - 520 (bleu) 520 - 600 (vert) 630 - 690 (rouge) 760 - 900 (PIR)

Source : <http://www.eurimage.com/>

Tableau 23: Les spécifications techniques de QuickBird

L'image Quickbird utilisée présente l'avantage d'être corrigée géométriquement par rapport au système géodésique mondial WGS84 projection UTM (Universal Transverse Mercator) zone 31. Elle est utilisée comme une base de référence au troisième chapitre de cette partie car elle nous permet d'avoir une approche plus détaillée et plus fine des processus.

1.3. Description des logiciels utilisés dans ce travail

Les traitements des images satellitaires ont été effectués à l'aide du logiciel ENVI 4.6 : compositions et classifications. Quant au logiciel MAPINFO 7.0, il a été utilisé pour les rendes cartographiques après calage des couches raster issues du traitement sur ENVI.

Le logiciel ENVI est un logiciel commercial complet de visualisation et de traitement d'images issues de la télédétection. Toutes les méthodes de traitement d'images de corrections géométriques, radiométriques, de démixage radiométrique, de classification et de mise en page cartographique sont présentes. D'autres outils relatifs à la visualisation et à la modélisation de données topographiques sont aussi disponibles.

1.4. Composition colorée utilisée

Les compositions les plus communes proviennent de la superposition de trois bandes spectrales sur les canaux rouge, vert et bleu d'un écran cathodique. Cette superposition donne une image en "couleurs naturelles".

Une composition colorée particulièrement efficace en télédétection est la composition dite fausses couleurs dans la mesure où la végétation apparaît dans les tons rouges. Elle associe les bandes du proche infrarouge au rouge et vert du capteur aux couleurs rouge verte et bleue de l'écran. Cette composition (RVB) est très efficace pour analyser la végétation. Elle exploite la particularité du spectre réfléchi par les végétaux, qui présente un "pic" important dans le proche infrarouge. Sur une image en "fausses couleurs infrarouge", la végétation qui a une forte activité photosynthétique apparaît en rouge vif (pic de l'infrarouge proche), l'eau apparaît pratiquement en noir (ce matériau absorbe pratiquement toutes les longueurs d'onde) et les surfaces minérales (sol nu, béton), apparaissent dans des tons de bleu à blanc. (fig.22)

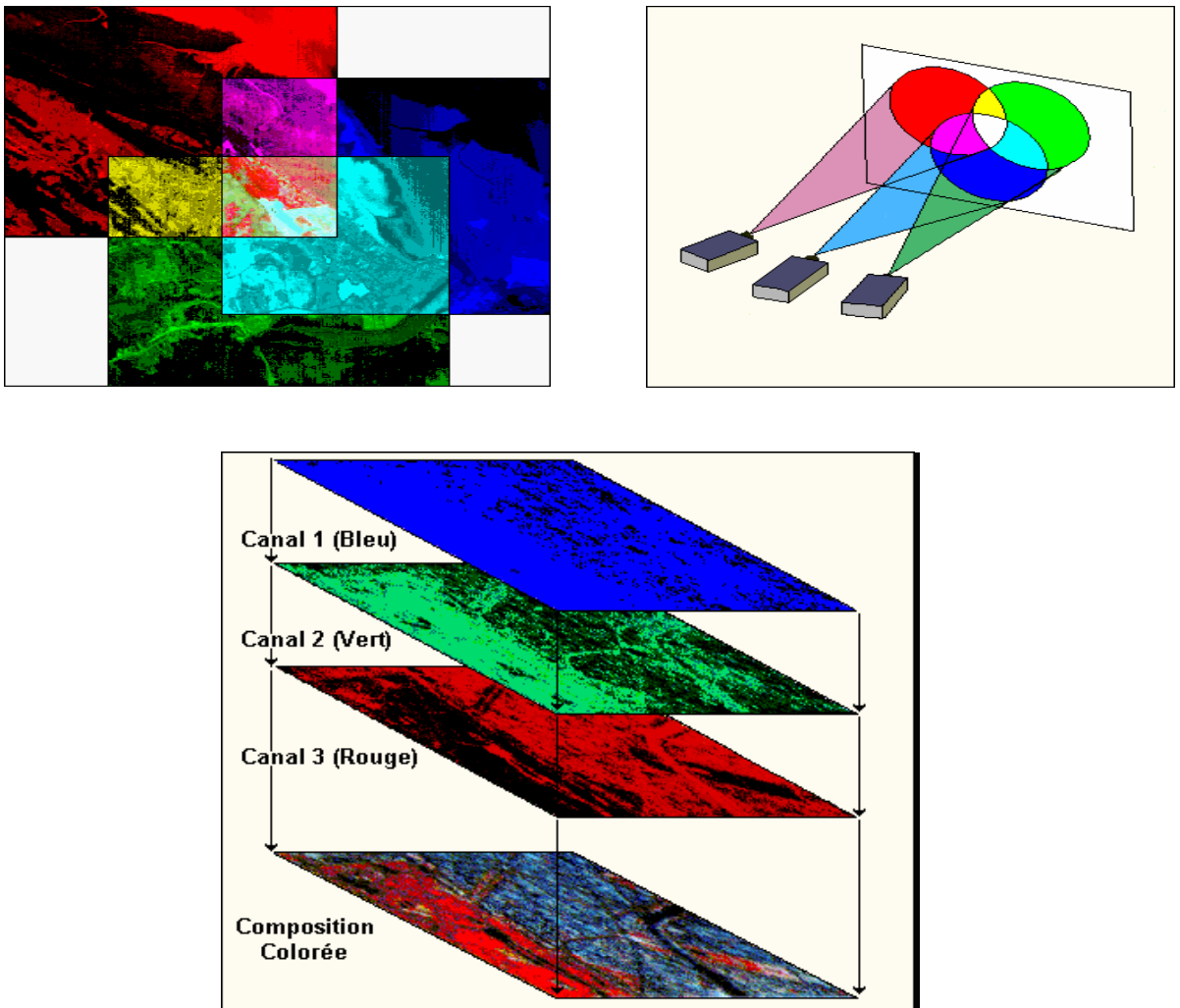


Figure n °22 : Les étapes d'une composition colorée

Dans notre cas, et pour le suivi des changements de l'occupation du sol et de l'ensablement dans la région de Mostaganem, la composition colorée *fausses couleurs* des trois canaux 4-3-1 ou PIR-R-B (Proche infrarouge-Rouge-Bleu) (Cf. Tableau.n°22) donne une image particulièrement riche en informations sur la couverture végétale et le sol (BONN et ROCHON, 1993).

Plusieurs auteurs ont utilisés cette méthode de composition colorée dans différents domaines d'applications : le suivi de l'occupation du sol, la cartographie, la désertification, l'urbanisme... Les travaux menés dans les régions arides et semi-arides subhumides qui, ont donné de bons résultats.

Pour visualiser une image en fausse couleur, on valide l'option RGB³ dans la boîte de dialogue « Available bands list » puis on attribue la couleur correspondante à chacune des bandes : les informations sur la localisation de chaque point sur la carte sont disponibles en cliquant sur Cursor Location/Value.

1.5. Obtention d'un masque à partir d'ENVI

Le logiciel de traitement Envi permet de faire un masque sur image, ce qui facilite la délimitation de notre zone d'étude à travers un masque qui contient les limites de notre région (ici c'est le masque limite wilaya qui a été choisi). (fig.23)

Les traitements préconisés dans notre investigation comme la classification supervisée et les calculs d'indices en question ne s'effectueront qu'après la construction du masque d'indices.

L'outil de création de masque sous ENVI propose la possibilité de construire un masque en suivant ceci;

- Ouvrir image [File -> Open Image....] et votre vecteur [Vector -> Open Vector File]
- Lancer l'outil de création de masque [Basic Tools -> Masking -> Build a Mask]
- Puis a partir de cet outil [Option -> Import EVFs...]
- Cocher la case [Option -> Selected area 'off'] pour indiquer que vous souhaitez masquer les pixels a l'extérieur du shapefile.
- Puis "Apply" pour créer le masque.

³ Red-Green-,Blue

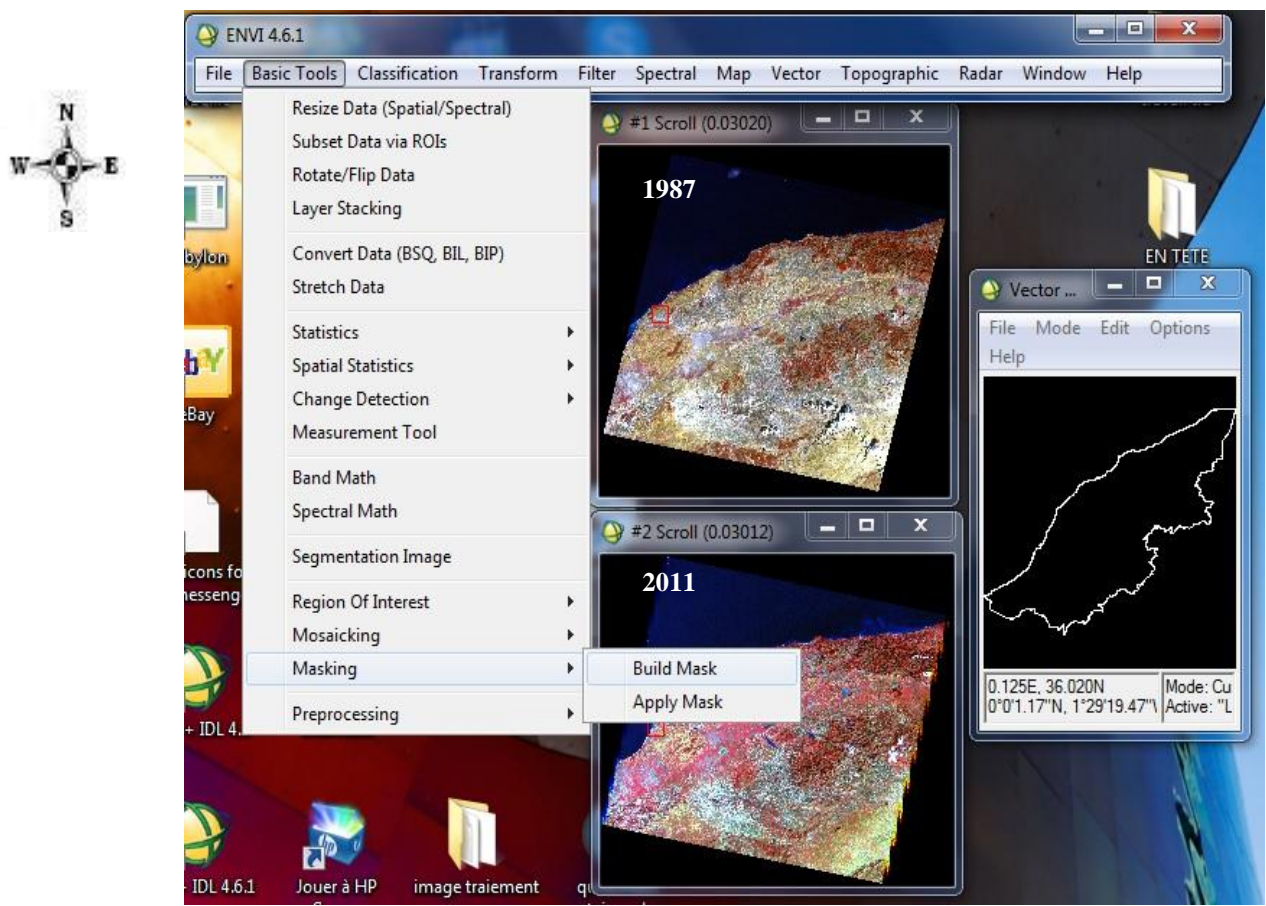


Figure n°23, a : Visualisation d'images en composition colorée,
(Ici, 4.3.1, Combinaison standard en fausses couleurs)

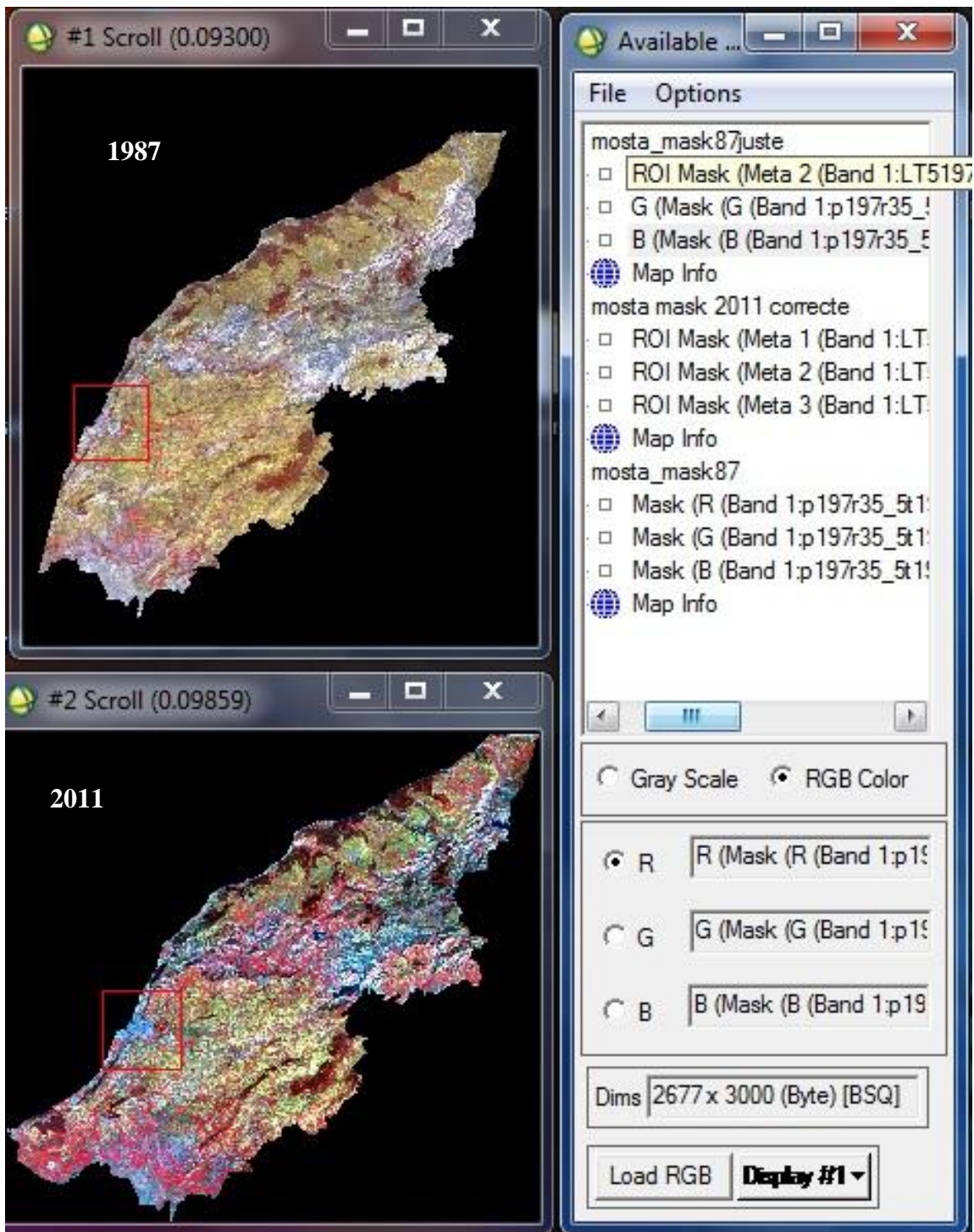


Figure n°23, b : Visualisation d'images en composition colorée en combinaison avec le masque wilaya.

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

La télédétection est un outil performant pour élaborer des diagnostics territoriaux, saisir les changements (par des études diachroniques) qui s'opèrent dans l'espace entre deux dates. Cet outil apporte une aide précieuse à la décision.

Avant de mettre en place la chaîne des traitements, l'examen de compositions colorées est une étape importante. Nous avons opté pour la composition 4.3.1(RVB) car elle fournit une bonne différenciation entre bâti, sols nus cultures et végétation naturelle. La nécessité d'une construction d'un masque correspondant aux limites de la wilaya de Mostaganem permet de focaliser l'approche du risque dans une zone bien ciblée.

CHAPITRE II : Les traitements réalisés

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents traitements qui ont fait l'objet de notre étude dont le but d'avoir des résultats crédibles. Après avoir extrait la zone d'intérêt selon les limites administratives de la wilaya de Mostaganem, d'autres traitements numériques ont été appliqués sur les deux images TM avec le logiciel *ENVI* (Environnement Visualizing Images) ainsi :

- La classification supervisée ;
- Calcul de l'indice normalisé de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ;
- Calcul de l'indice de Cuirasse (détection de l'enveloppe urbaine)
- Utilisation de l'image *Quickbird* (0.6 m panchromatique et 2.44 m multispectrale-2008) comme support de contrôle et de comparaison des résultats obtenu de la classification et de calcul des deux indices ci-dessus.

1. Classification supervisée

Il existe deux grandes méthodes pour obtenir une carte thématique, la classification dite supervisée et la classification non supervisée. Dans le premier cas on connaît au préalable le type d'objets contenus dans l'image, ce qui va permettre de se baser sur ses connaissances pour ensuite attribuer chaque pixel à une classe. Dans le deuxième cas cette attribution des pixels va se faire de façon automatique uniquement avec les valeurs radiométriques des différents canaux et sans références-terrain en raison de l'absence de données sur le contenu de l'image. (Caloz R. Et Collet- 2001).

La classification supervisée est celle qui a été choisie dans notre investigation, c'est un outil d'interprétation des images qui vise à obtenir une image dont le contenu ne présente plus une mesure (réflectance spectrale) mais une interprétation et une catégorisation de la nature des objets associés aux pixels. L'objet est ici considéré comme un ensemble de pixels assez homogènes qui forment des régions significatives.

L'adoption d'une classification supervisée est basée sur nos connaissances du terrain qui s'organisent comme suit :

-Pour la classification des images TM 1987 et TM 2011 nous avons utilisé le croquis de localisation du processus d'ensablement, réalisé par EL.Smahi (2001) à l'échelle du plateau de Mostaganem sur une zone test. Ce croquis nous a aidé à identifier l'ensablement dans l'image afin d'obtenir une meilleure classification, des cartes topographiques à l'échelle 1/25000^e ont été aussi consultées, celles de Mostaganem (feuille n°3/4 et 7/8) Bel-Hacel (feuille n°1/2 et 5/6) à l'échelle

1/25.000. A cela s'ajoutent les relevés de terrain à l'aide du GPS que nous avons pu effectuer en janvier 2010 malgré les difficultés rencontrées.

-l'image quickbird 2008 ; elle nous a permis d'ajuster notre analyse à partir de l'interprétation visuelle sur la ville et les zones périphériques

Les échantillons ont été rangés comme suit :

1/ Les accumulations sableuses ;

- amas et voiles sableux;
- nebka ;
- barkhane;
- cordons dunaire ;

2/ Aires dénudées de végétation ou sols nus (affleurement rocheux, zones de déflation et extension des sols salins).

3/ agglomération urbaines :

- Bâti sur dune.
- Bâti sur terre agricole.

4/ forêt, reboisement ;

5/ terrains agricoles ;

6/ terres mis en jachères

1.1. Choix d'algorithme de classification :

Le logiciel ENVI propose plusieurs algorithmes de classification supervisée qui sont :

- parallelepiped,
- maximum likelihood,
- minimum distance,
- mahalanobis distance,
- spectral angle mapper,
- binary encoding.

Nous avons choisi l'algorithme de maximum de vraisemblance pour notre classification (maximum likelihood). Cette méthode présente l'avantage de minimiser les erreurs de la classification (LI D. et al. 2000).

Cet algorithme est largement appliqué par de nombreux utilisateurs de la classification supervisée (Manière R. et Al. 1993, Markon C. J. Et Derksen D. V. 1994, Geeson N.A. Et Al. 2002, Maunier A. H. Et Al. 2004).

1.2. La définition des classes :

- L'image TM87 classées couvrant Presque toute la wilaya, du fait de sa correction radiométrique et une déformation de l'image lors de son téléchargement il y aura une absence de certaines translations. (fig.24).
- L'image ETM + 2011, couvre toute la wilaya (Cf.fig.n°24.b).

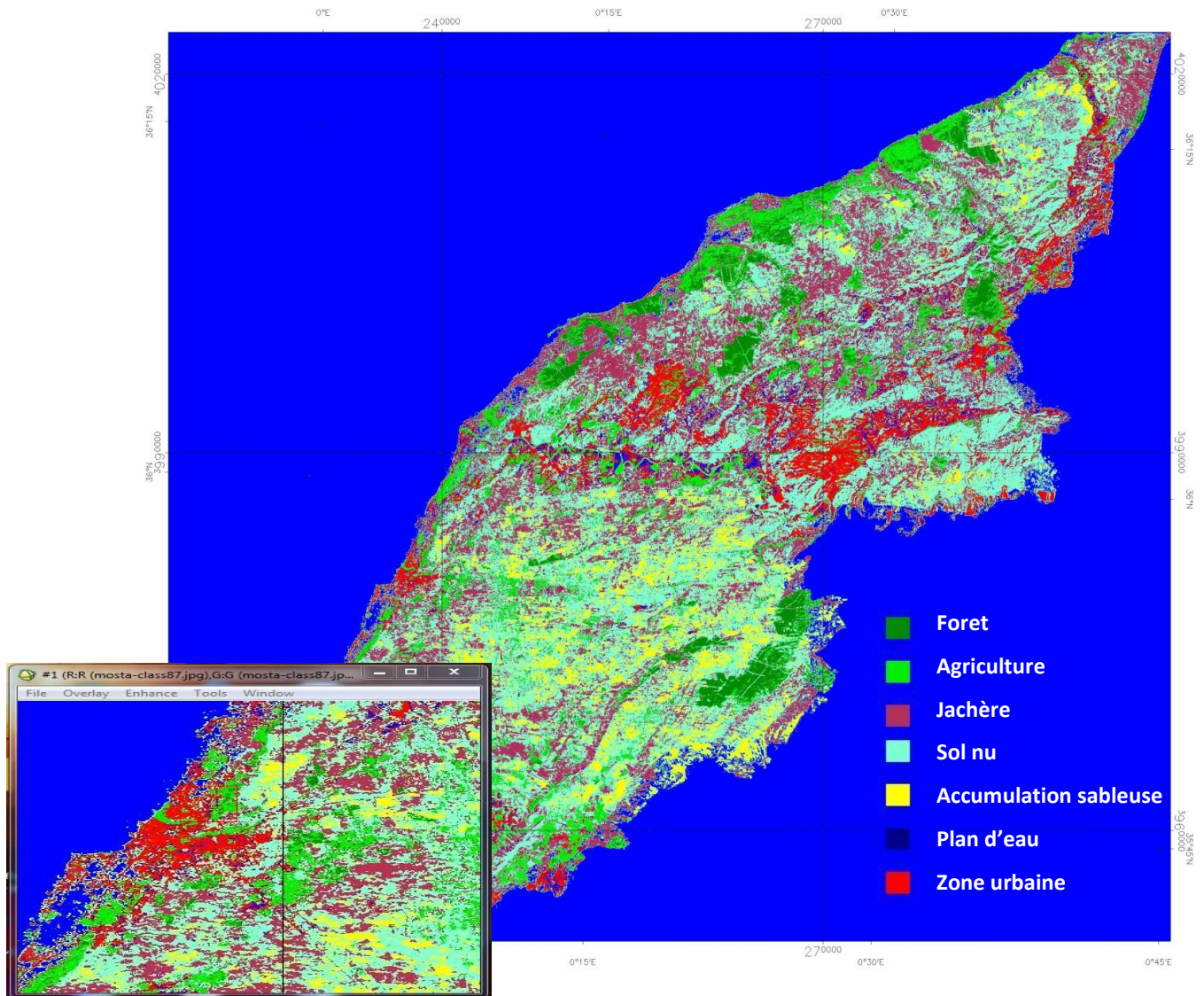


Figure n° 24: Carte d'occupation du sol de la wilaya de Mostaganem (1987)

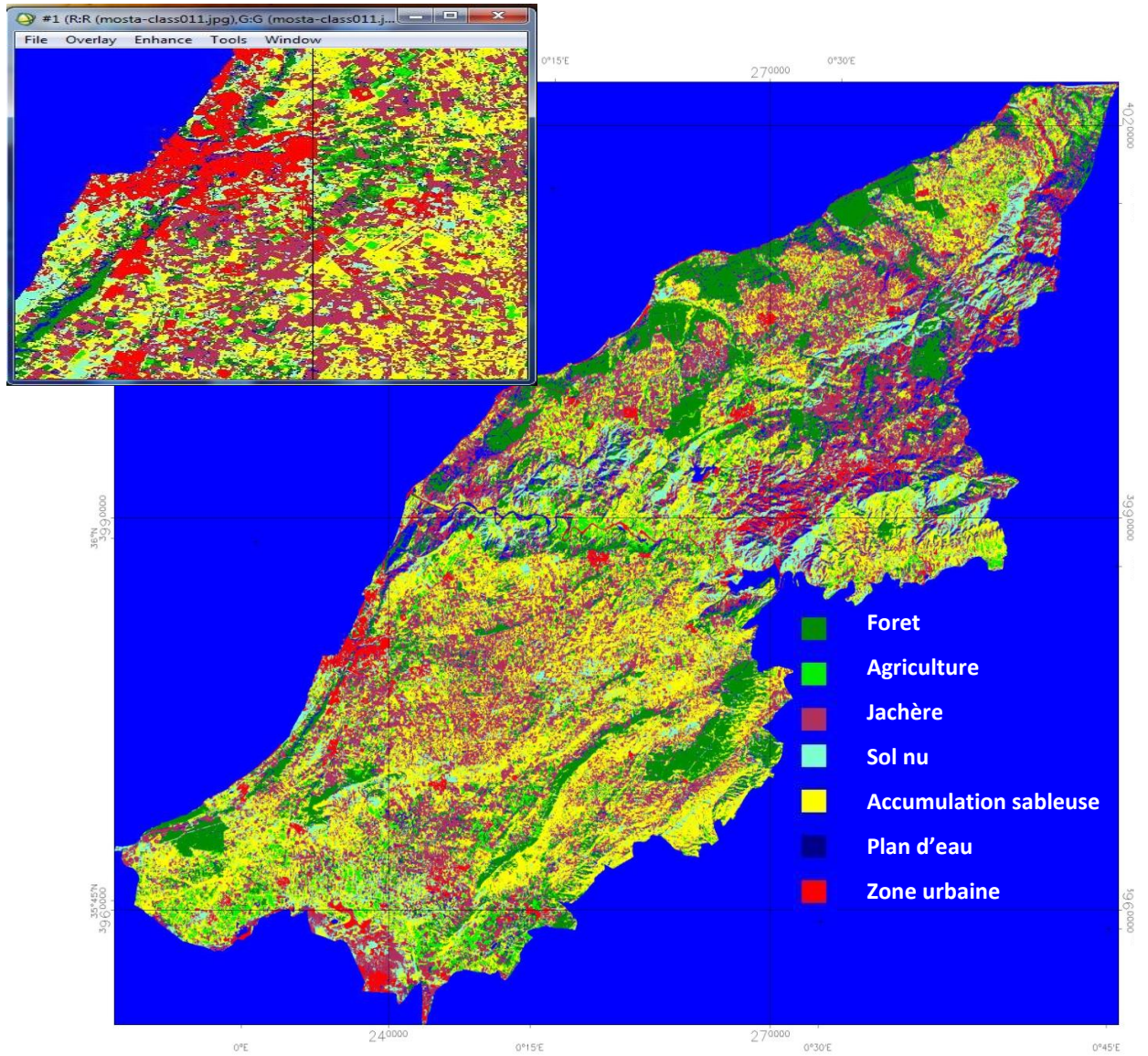


Figure n° 25: Carte d'occupation du sol de la wilaya de Mostaganem (2011)

1.3. Evaluation de la qualité de la classification :

Pour une bonne évaluation de la qualité de classification on opte pour l'analyse de la matrice de confusion.

Qu'est-ce qu'une matrice de confusion ?

C'est une matrice d'erreur issue de la classification, sous forme d'un tableau cette dernière détermine la marge d'erreur avec précision en affichant les résultats des statistiques obtenues à partir de la classification d'image. Elle nous permet de confronter des vérités terrains au résultat de la classification et d'évaluer la précision de la classification par rapport aux références sur le terrain.

La matrice de confusion nous aide à identifier la marge d'erreur à partir d'une série de mesures calculer avec précision à partir de l'image classifiée (output-image) et celle échantillonnée (input ground truth information).

L'information des rangées (données horizontales) correspond habituellement aux échantillons (réalités de terrain). Quant aux colonnes (données verticales), elles contiennent l'information thématique résultant de la classification. Les valeurs de la diagonale de la matrice représentent le nombre de pixels correctement classifiés. De plus, la somme des cellules de la diagonale de la matrice représente le nombre total de pixels correctement classifiés.

3.1. Matrices de confusion :

Les matrices de confusion calculées à partir des différentes images classées représentent en pourcentage les pixels correctement classés en les mettant dans les cellules diagonales, dont 75 % constitue « un seuil de fiabilité de la classification supervisée » (GEESON N.A. et al. ,2002).

-La matrice de confusion calculée à partir de l'image TM87 évoque des pourcentages de pixels supérieurs au seuil; en diagonal 97.83% pour les plans d'eau et 93.26% pour la zone urbaine qui représentent les pourcentages des pixels, les bien classés. Une confusion de la classe plan d'eau et classe de l'urbaine est de 2.17 % et 6.74% du nombre totale de pixels de l'image. La réflectance d'objets apparait similaire malgré qu'en réalité ils sont distincts, ce qui explique cette confusion entre les thèmes, la qualité de l'image téléchargée aussi est vecteur de cette confusion car elle subit des déformations.

-Les résultats obtenus de la classification supervisée d'image ETM+ 2011 indiquent une certaine cohérence et moins de confusion par rapport à sa précédente car la date de prise des échantillons sur le terrain (2010) est proche de la date de capture de l'image (TM2011) ce qui justifie la fiabilité de notre classification à travers la matrice de confusion.

1.4. Interprétation de la classification supervisée :

Suite aux résultats obtenus, l'analyse de la matrice de confusion est donc un bon outil d'aide à l'interprétation des images classées, les confusions dégagées entre les classes sont causées souvent par la ressemblance de réflectances d'objets qui sont dans la réalité bien distincts, ces confusions sont dues aussi à l'image elle-même (TM 1987, la date de prise de l'image) et aux relevés du terrain qui ne correspondent pas à la même date ;

- L'image TM 87 classifiée d'une qualité de précision moyenne vue le manque de thèmes (absence d'observations terrain en 1987).
- L'image ETM+ 2011 classifiée a donné de bons résultats suite à l'interprétation de la matrice de confusion et c'est celle qui représente un degré de précision élevé.

Le but de cette classification est l'obtention d'une carte d'occupation du sol afin de déterminer non seulement le changement mais aussi la disposition générale des différentes occupations sur le terrain.

Les résultats tirés de ces deux cartes d'occupation du sol nous renseignent sur le changement qui s'est produit durant les 24 ans (1987/2011) à partir d'évaluation de différentes classes obtenues qui, peuvent être tangibles dans certaines classes comme ils peuvent être négatifs dont les conséquences sont visibles sur le terrain ;

-La classe « forêt » entre les deux images classées est évolutive de 1.68% obtenu en 1987 à 6.67% en 2011, les données terrain expliquent bien cette évolutivité durant cette période, du fait de la politique de reboisement qui a été appliquée afin de renforcer la lutte contre l'ensablement. La date de capture de l'image, Octobre 1987 correspond à un réel déficit en pluviométrie, contrairement à l'année 2011 où l'image captée un mois de février indique une élévation du taux d'humidité et de pluviométrie (373 mm); la réflectance d'un sol humide étant différente à celle d'un sol sec, explicite une réflectance très élevée, induisant une augmentation justifiée du pourcentage dans le cas de cette classe.

-La classe « agriculture » a diminué entre 1987 et 2011 de 3.38% à 1.44% , cette baisse des terrains agricoles est causée par deux facteurs importants durant cette décennie (urbanisation et ensablement), plusieurs terres fertiles ont été détournées de leur vocation principale vers des terres pour le bâti surtout celles qui se trouvent dans les communes de Mostaganem, de Mamèche, de Mesra et de Ain Tedles qui sont les plus productives de la région .Ces terrains « dilapidés » par une forte croissance urbaine et une industrialisation n'ont pas échappé au processus d'ensablement, observé sous forme de voile sablonneux ou parfois même par la présence de formes dunaires dans certains lieux dits agricoles, causés par l'arrachage du vignoble.

Selon les données statistiques du terrain la superficie agricole⁴ a vu une évolution entre 1987 et 2008, respectivement 130020 ha et 177310 ha ; quand à la SAU de la wilaya de Mostaganem estimée à 118 425 ha en 1987 et à 132268 ha en 2008, a connu également une augmentation.

Si on fait référence à la superficie agricole totale dans ces années ; en 1987, 91% de la SAU sont issues de la SAT par contre en 2008 seuls 74% de la SAU sont issues de la SAT, ce qui explique cet écart négatif dans l'exploitation des terrains agricoles. La nécessité de récupérer des terrains comme surface utile afin de rattraper la perte des terrains agricoles durant cette période n'est pas forcément un gain en surfaces agricoles.

⁴ DSA : Direction Agricole de la wilaya de Mostaganem

-Les classes « accumulations sableuses, sols nus ainsi que la jachère et urbain » ont vu une évolution qui s'explique par la perte des terres agricoles et leurs affectations à d'autres activités, ici la superficie obtenue à partir de la classification supervisée n'est pas prise en considération, pour être plus réaliste, on va prendre les résultats obtenus par les services des forêts et des travaux réalisés à l'échelle de la zone d'étude pour les trois premières et pour l'urbain on va se baser sur les indices calculés.

La légende choisie à la base de cette classification nous a permis d'identifier le changement en occupation des sols des deux dates spatialement, mais sur le point de vue superficie les données obtenues restent à discuter car radiométriquement certains thèmes étaient proches de l'eau et des sols nus, pour cette raison nous nous sommes alors intéressés aux traitements des indices suivants : « l'indice de végétation, l'indice de Cuirasse », pour que cette confusion d'objets soit bien cernée.

2. Indices de végétation :

Pour déterminer la végétation active, il a été choisi de se baser sur un indice de végétation fréquemment utilisé : l'indice de végétation normalisé (NDVI).

L'indice NDVI est lié à l'activité du couvert végétal. En effet les pigments foliaires (chlorophylle, xanthophylle, carotène...) absorbent fortement le rayonnement dans le rouge alors que le parenchyme réfléchit une grande partie du rayonnement dans le PIR. Si l'on se place dans le cas d'un couvert végétal en plein développement, la réflectance de celui-ci dans le PIR augmentera alors qu'elle diminuera dans le domaine du rouge. C'est le signe d'un bon développement. L'inverse se produit donc pour de la végétation en fin de cycle.

Les valeurs de ce ratio s'étendent de -1 à 1 ; une valeur de 1 est signe d'une très haute densité de feuillage et une valeur en dessous de 0 est équivalente à une absence de couvert végétal. L'activité végétale peut donc être évaluée semi-quantitativement par ce rapport. (Ranga.B. et al ,1995)

2.1. NDVI

Le calcul de l'indice de végétation sur l'image TM87 et ETM+ 2011 aboutira à la caractérisation et au suivi du changement survenu sur le couvert végétal entre ces deux années, et connaître par la suite les surfaces végétalisées dilapidées par le bâti et/ou envasées par le sable.

Exprimé par la formule suivante ;

$$\mathbf{NDVI = (PIR-R) / PIR+R}$$

Avec :

PIR : la réflectance mesurée dans le canal du proche infrarouge (canal TM4).

R : représente la réflectance du canal rouge (canal TM3).

2.2. Interprétation des résultats du NDVI :

Le NDVI met en évidence l'activité chlorophyllienne ; les valeurs de chaque pixel comprises entre le 0 et 1 représentent successivement le sol nu et le couvert végétal maximal, le néocanal résultant présente un gradient croissant d'activité végétale allant de la couleur noire qui signifie absence de couverture végétale jusqu'au blanc qui présente une très forte activité chlorophyllienne.

Le NDVI représenté en noir et blanc (figure.26, a) est issu du canal infrarouge et du canal rouge. Nous avons affecté la couleur d'origine vers une dégradation de couleur verte pour avoir une meilleure interprétation de la palette des nuances. (fig.26, b).

-L'indice calculé à partir de l'image TM-1987 nous indique que la couverture végétale n'était pas très dense dans son ensemble, reflétée par la couleur sombre dans notre NDVI, ce qui confirme notre classification. L'analyse de la palette des nuances fait apparaître un ratio allant de [-1 à 0.65]. Cette nuance fait ressortir trois classes avec une densité de feuillage maximale allant jusqu' à (0.65) qui, représente le taux de recouvrement le plus fort. La valeur négative (-1) correspond à une absence totale de l'activité chlorophyllienne « présence de sol nu et d'accumulations sableuses ».Les valeurs voisines du zéro indiquent une présence d'une végétation clairsemée.

- NDVI calculé à partir de l'image ETM+ 2011 présente un maximum de valeur de (0.75) et un minimum de (-0.53), la valeur positive indique qu'il ya eu une augmentation dans la densité végétale (étalement du domaine forestier), les valeurs négatives proches du zéro représentent les aires dénudées de végétation et les sols sableux, ce ratio [-0.53, 0.75] s'explique par la politique du reboisement qui s'est effectuée durant les années qui ont suivi l'arrachage du vignoble (l'ensablement qui s'est produit et les zones de déflations), aussi la décennie passée a connu un véritable processus d'urbanisation au détriment du couvert végétal ce qui a conduit les collectivités locales à rattraper cette perte en sol par la reconstitution du vignoble et l'intensification du reboisement (fixation des dunes), la récupération des surfaces agricoles utiles témoigne d'une perte en superficie agricole.

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

L'analyse spatio-temporelle de la carte de changement obtenue à travers la combinaison des deux indices de végétation témoigne d'un changement au niveau des surfaces végétalisées, cette densification en couverture végétale est le résultat de fixations des dunes dans la bande littorale (ex : forêt des dunes de Stidia, de Chleff et Hajadj plage, Abdelmalek Ramdan) et d'un reboisement dans les zones du plateau.

Cette carte de changement de la fig.26.a, est représentée par le jaune et le vert ce qui signifie ce qui existe réellement, quant à la couleur rouge, elle indique le changement et exprime, une extension urbaine, une végétation et/ou un ensablement. La couleur noire détecte le non changement.

La forêt figurée dans la carte de changement prouve qu'il s'est produit un changement, argumenté par les aires clairsemées de bois, ce changement n'est pas un défrichement de cette forêt ni une extension urbaine au détriment de la forêt mais plutôt un recouvrement des sols de cette forêt par le sable.

Dans le NDVI de 1987 la forêt apparaît en blanc ce qui détecte une certaine densité chlorophyllienne par contre le NDVI de 2011 figuré ci-dessous (fig.26,a) montre que cette même forêt accuse un changement, la couleur est devenue grisonnante malgré que ce dernier indice calculé expose une densité végétale importante par rapport au premier indice représenté par le ratio obtenu.

La dérive Est de l'oued Chelif jusqu'à l'extrémité des limites wilaya est un système dunaire en plein destruction ce qui explique que certaines parties de cette forêt a été ensablées, quant à la dérive Ouest de l'oued, elle montre nettement des extensions urbaines dans cette partie reflétée par la couleur rouge qui explicite le changement entre ces deux dates, donc l'interprétation de cette variation en densité végétale différent d'un endroit à un autre et selon la nature de l'occupation du sol.

En se basant sur nos résultats de classification supervisée et NDVI ainsi que sur nos relevés de terrains et observations sur les lieux, nous constatons que l'ensablement dans la région est en évolution malgré la volonté de minimiser ses risques (le reboisement et la reconstitution du vignoble) car, les mauvaises pratiques agricoles et la mauvaise projection des travaux d'aménagements touristiques ainsi que l'affectation du cadre bâti en général (PDAU) dans un milieu déjà sensible vont en contradiction avec les travaux de fixation de dunes.

L'ensablement a fait l'objet de recherches de plusieurs auteurs à travers la région, mais sa mesure et le suivi de son évolution à l'échelle spatiale restent difficiles, pour cette raison nous avons consulté des résultats plus fiables en terme de surface ; ceux de la direction des forêts, Smahi-2001, Hanni-1991.

Les résultats obtenus à travers cette étude et ces travaux ;

- Au niveau du plateau de Mostaganem, la superficie affectée par le phénomène d'ensablement est estimée à 13.856ha soit 18.47% de la superficie totale de la wilaya (Conservation des forêts 2003).
- Sur une zone test de 13507ha, 7% sont les surfaces ensablées, d'après les travaux de Smahi (2001).

L'évolution du processus d'ensablement est estimée à 1,5 ha/an (Hanni-1991 et Smahi-2001) l'équivalent de 2.2% de la superficie totale de la zone d'étude. Cela indique qu'on est face à un sérieux problème d'ensablement, donc des mesures appropriées doivent être prises incessamment pour juguler ce phénomène que nous citons dans la troisième partie.

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

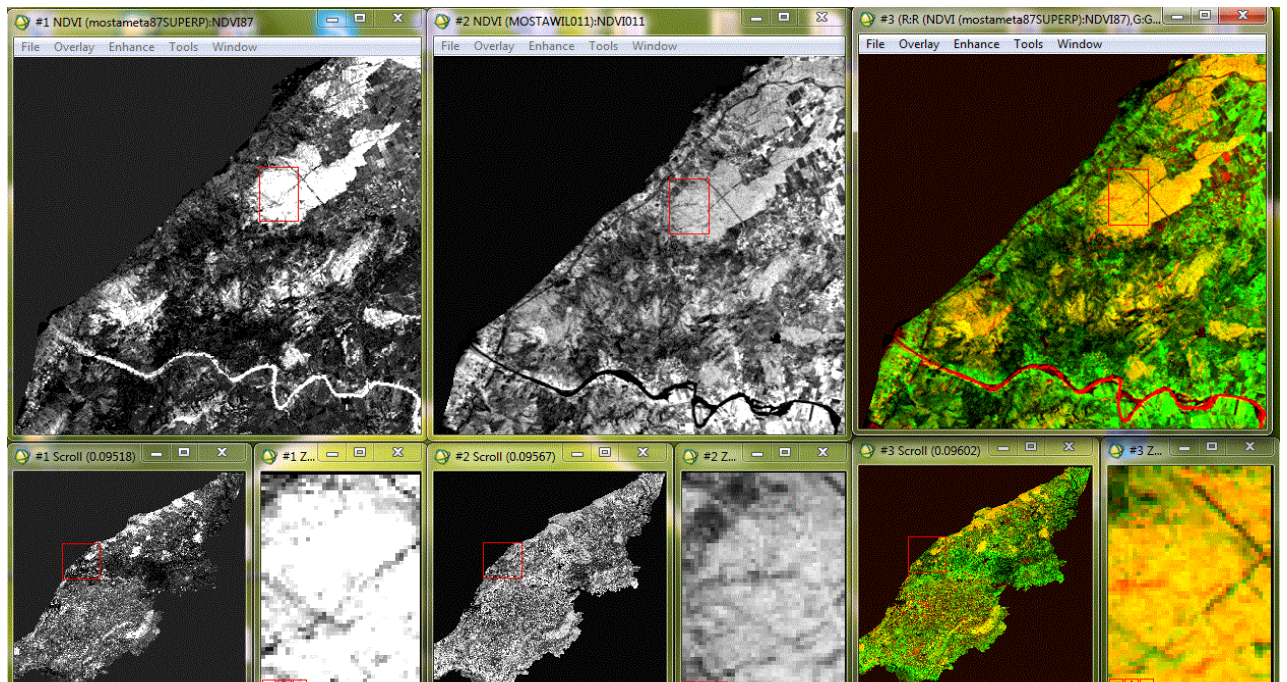


Figure n °26 a : Détection du changement à partir de 2 images NDVI de Mostaganem.

à gauche : NDVI d'Octobre 1987 en noir et blanc ; au centre : NDVI de février 2011 ; à droite : détection du changement.

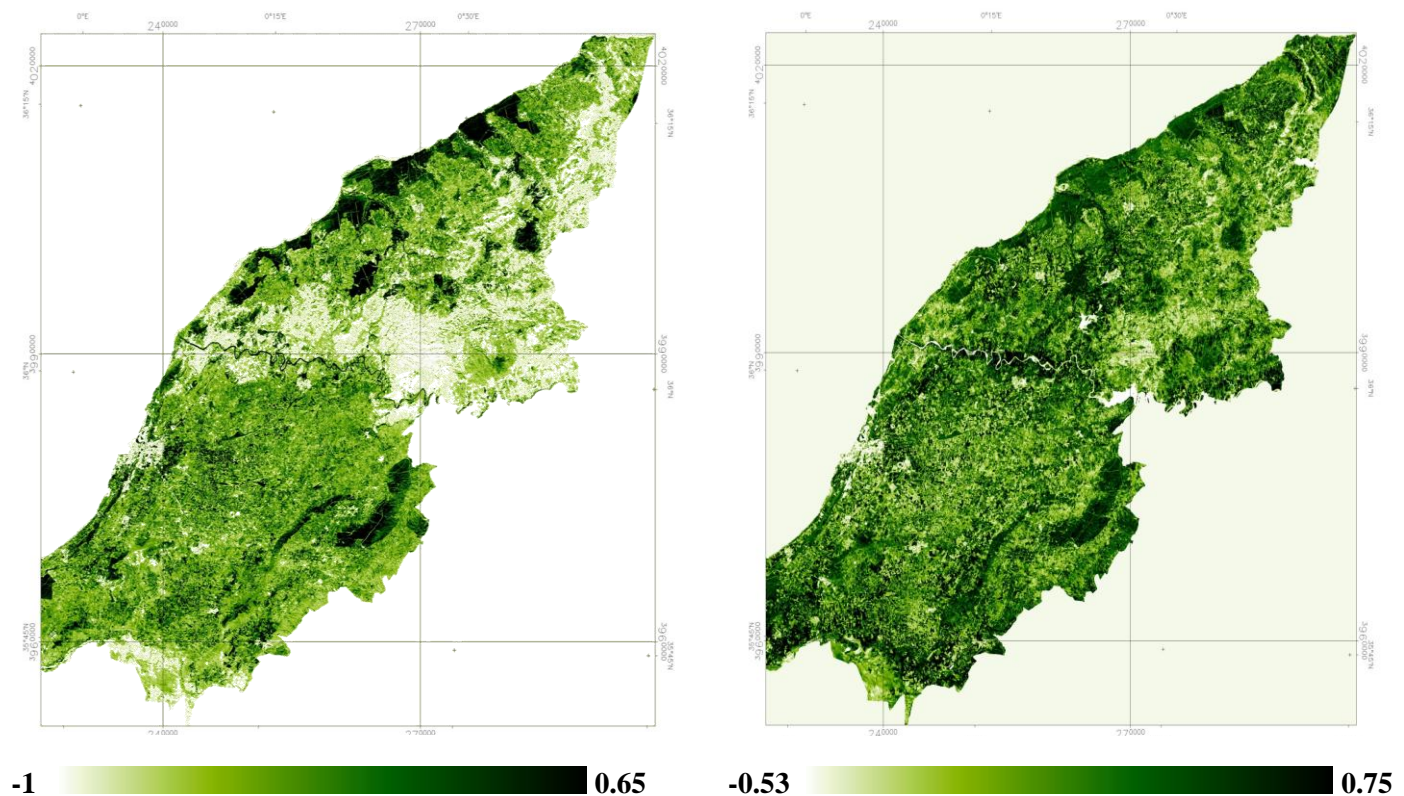


Figure n° 26b: Indice de végétation sur des images Landsat TM ; à gauche : NDVI 87 avec normalisation de la gamme des valeurs [-1, 0.65] ; à droite : NDVI 2011 avec normalisation de la gamme des valeurs [-0.53, 0.75]

3.L'indice de Cuirasse :

L'indice de cuirasse est un calcul très performant car il nous permet la mise en évidence et la distinction entre les surfaces bâties et les surfaces nues. Les surfaces végétalisées et aquatiques apparaissent en noir alors que les surfaces minéralisées sont codées en gris clair ou en blanc.

3.1. IC :

Indice de cuirasse répond aux besoins par sa capacité à identifier l'enveloppe urbaine et sa différenciation des sols nus donc pour avoir une approche sur les superficies bâties et l'orientation du tissu urbanisé.

-Exprimé par cette formule ;

$$\mathbf{IC = [(3*vert) - rouge - 100]}$$

« L'élaboration de compositions colorées en combinant filtres, indices et canaux source permet une forte augmentation des contrastes et une mise en évidence optimale de certains thèmes en particulier l'urbain. » (THOMAS.Pouchain -2001)

On a calculé l'indice de cuirasse à partir de deux images TM (1987 et 2011) pour aboutir à la carte de changement urbain entre ces deux dates (sur une période de 24ans), par la suite on a comparé le résultat avec les données terrains. Le but de notre étude à travers cet indice est de savoir à quel point peut-on démontrer l'ampleur des extensions urbaines et leurs effets sur la déstabilisation du cordon dunaire et l'ensablement des terrains et infrastructure dans le voisinage immédiat de ces constructions ? (Voire Chap. III.Part.II)

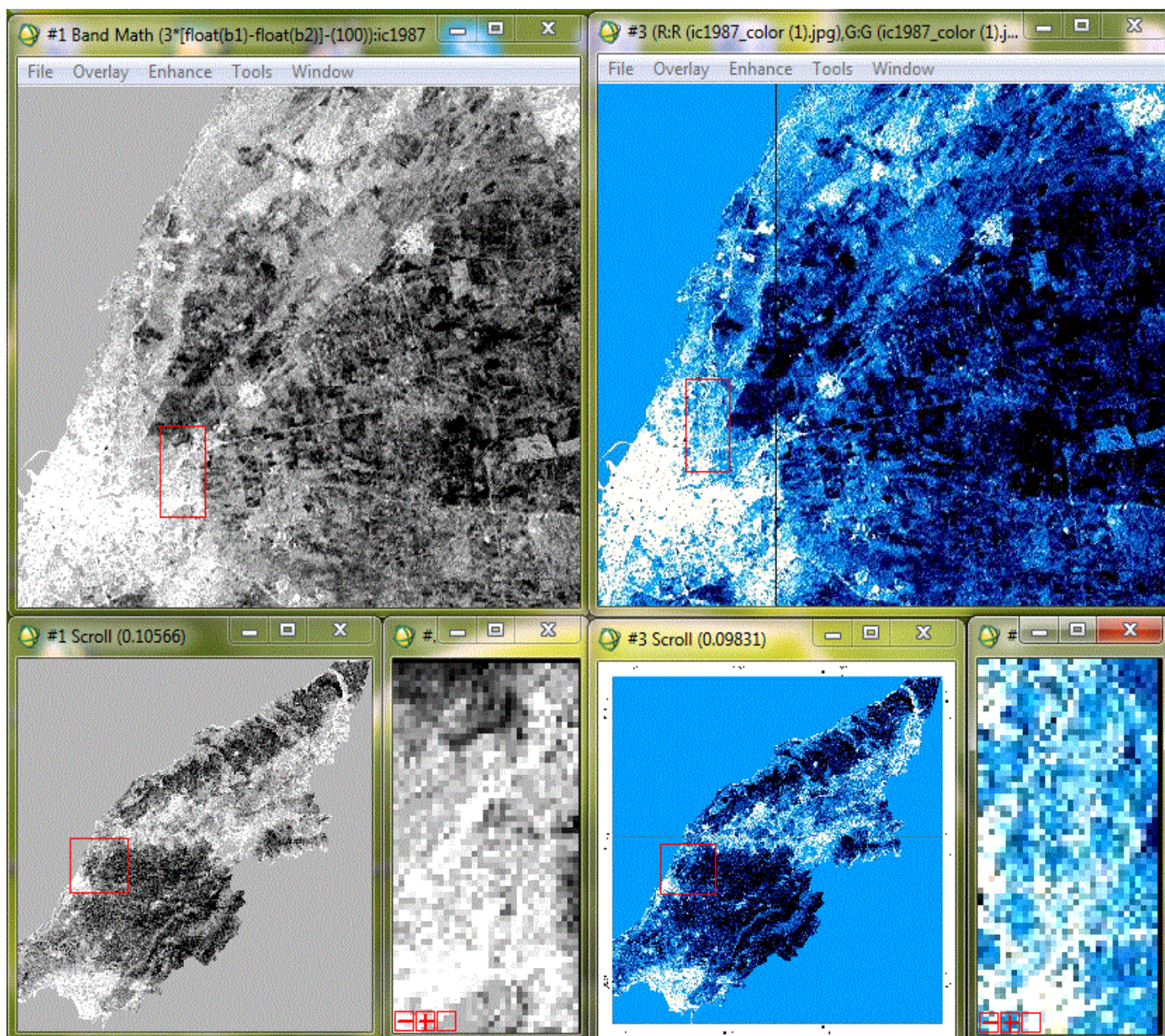


Figure n °27 : Indice de cuirasse(IC) calculé à partir de l'image TM/87 sur ENVI cas de la zone de Mostaganem.
 à gauche : IC, Octobre 1987 en couleur d'origine ; à droite : IC, Octobre 1987 affecté à la couleur bleu.

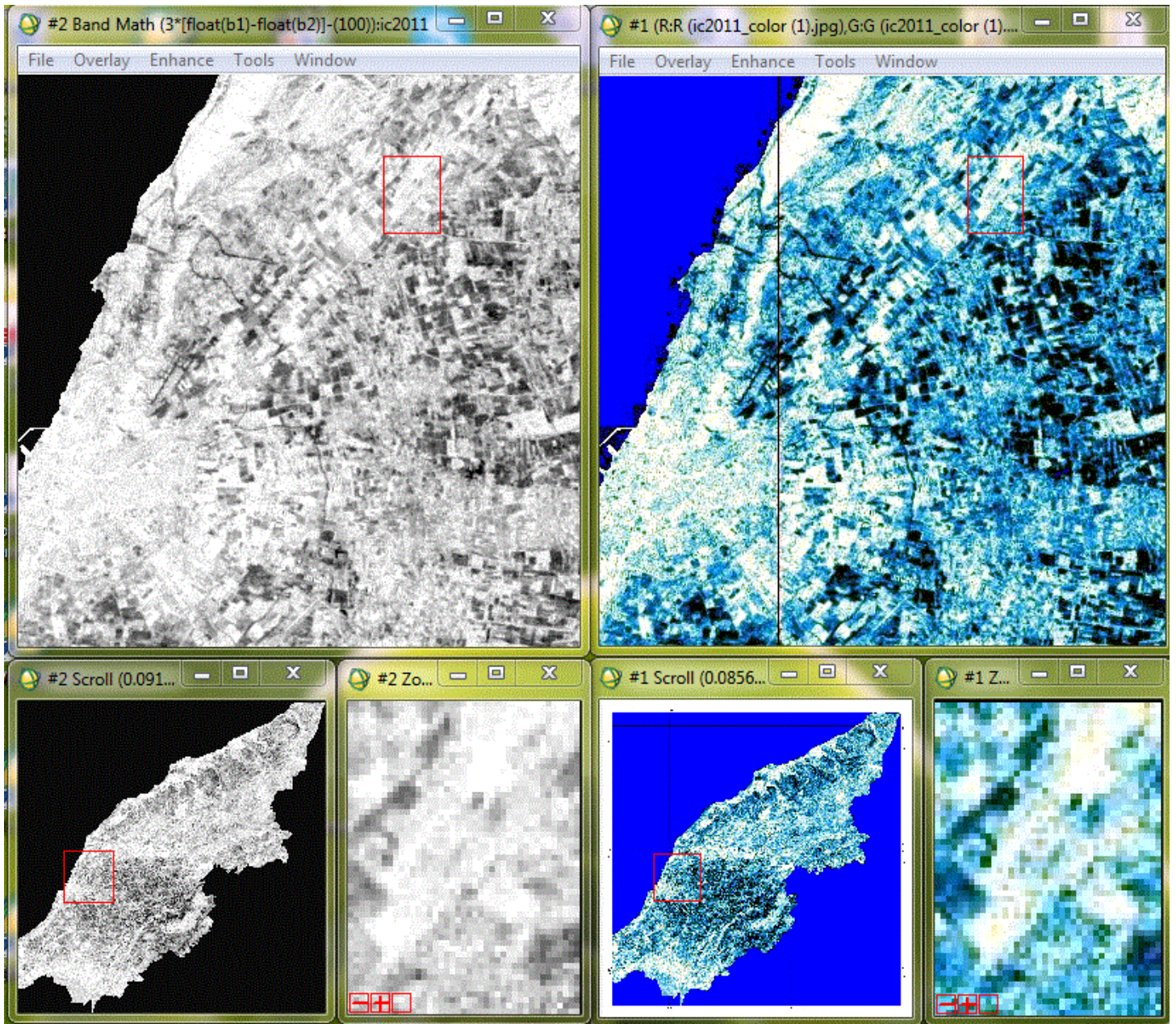


Figure n °28 : Indice de cuirasse(IC) calculé à partir de l'image TM/2011 sur ENVI cas de la zone de Mostaganem.
à gauche : IC de février 2011 en couleur d'origine ; à droite : IC de février 2011 affecté à la couleur bleu.

3.2. Interprétation des résultats à partir du calcul de l'indice de cuirasse:

Cette méthode de calcul a donné de bons résultats sur les tissus urbains car elle nous a facilité la détermination de l'enveloppe urbaine à travers :

- L'affectation des couleurs originales de l'indice calculé à partir des images TM/87 et TM/2011 du noir et blanc vers la couleur bleue qui, exprime bien le changement urbain durant ces deux dates, cette affectation a donné une meilleure interprétation de cet indice.

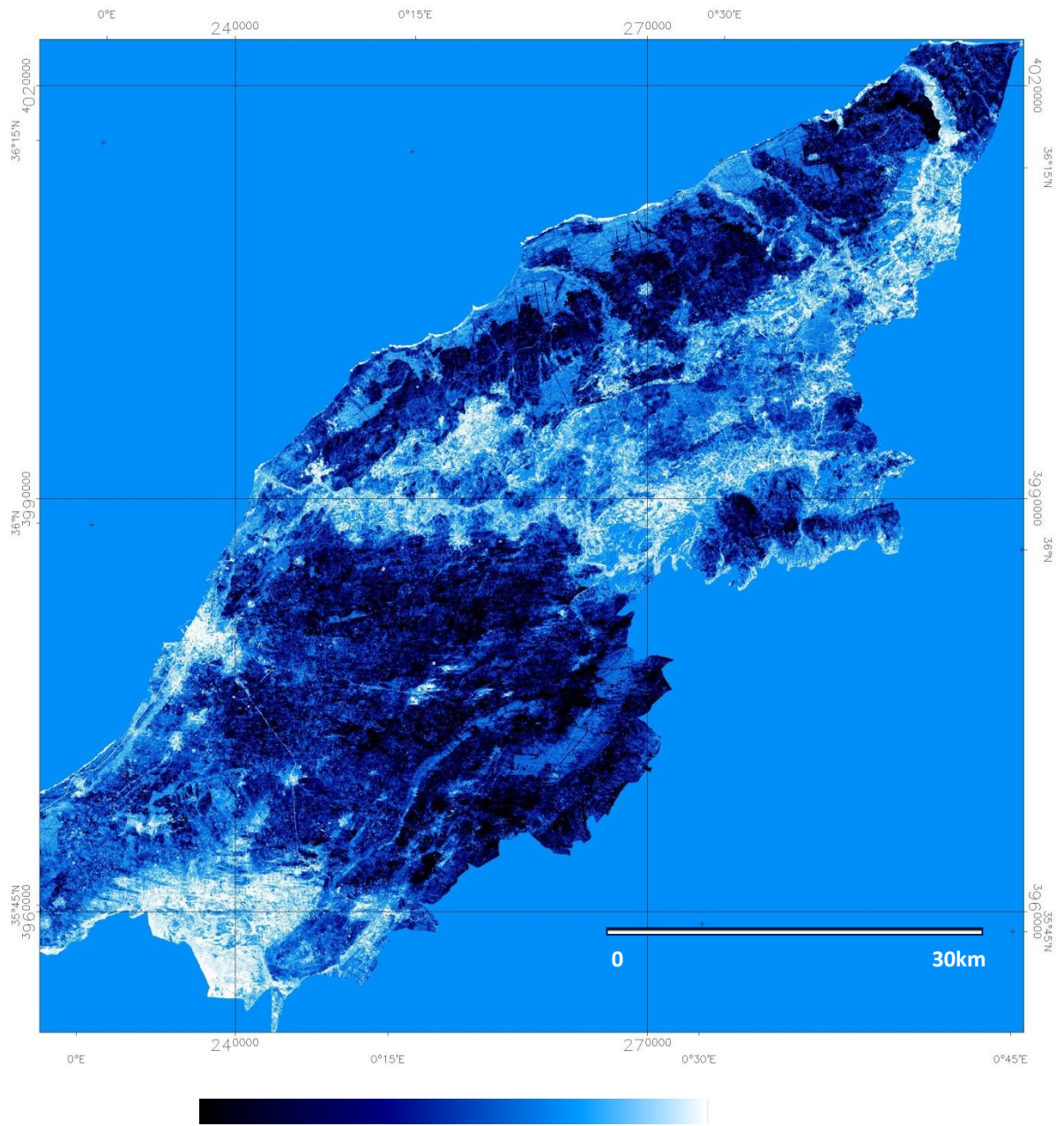
- La réalisation de la carte de changement à partir des deux indices calculés est aussi un bon outil d'aide à l'interprétation des résultats. En affectant la couleur rouge à l'indice 2011 et la couleur verte à l'indice de 1987 et, en procédant à leur superposition nous obtenons une combinaison qui nous permet de détecter les structures urbaines et de suivre leur évolution durant ces deux dates.

- La délimitation des zones à partir de la numérisation urbaine des deux indices de Cuirasse et leur transformation en mode vectoriel, ceci afin d'obtenir une carte d'évolution urbaine.

L'extraction du tissu urbain résulte des traitements effectués précédemment, se qui nous permet d'aboutir aux calculs de la superficie des zones d'extensions.

Les figures fig27 et 28-29 et 30 font apparaître les entités urbaines en couleur blanche à grise (les surfaces minéralisées) tandis que le noir reflète les sols végétalisés, le bleu affecté à droite des deux premières figures montre nettement l'apparition de taches urbaines à partir de cet indice. Entre ces deux dates l'extension urbaine est visible dans l'indice calculé de 2011 à travers l'étalement des noyaux urbains en le comparant avec le premier indice 1987 (fig.29 et 30).

L'étalement urbain suivait une forme radioconcentrique organisée dans l'agglomération chef lieu, actuellement la forme a mué vers une croissance en bras suivant les axes routiers. Cet étalement est imposé par une présence de terrains plats vers ces axes et une topographie accidentée dans l'est et le Nord –Est (cordon dunaire et Djbel Arsa, Djbel Diss) qui donne naissance à de formes urbaines incohérentes; les villes satellites autour du chef-lieu de wilaya ont subi, elles aussi une évolution urbaine malgré que le rythme d'urbanisation soit relativement lent (Cf. chap.III.Partie I) mais, qui ne se reflète guère sur toute la wilaya car il ya une différenciation dans le rythme entre les différentes communes. Celles, limitrophes de la commune de Mostaganem subissent des évolutions perceptibles à travers les deux indices calculés. Ces extensions ont été faites sur des terres agricoles ; les programmes dans les années quatre vingt jusqu'aux années quatre vingt dix ont vu une intensification des constructions ; les projets de construction qui succédèrent plus tardivement ont contribué également à la vague de dilapidation des sols fertiles, pour arriver à un autre type de consommation des terres, celui du cordon dunaire.



-529

251

Figure n°29 : Carte d'identification du tissu urbain obtenu par le biais du calcul d'indice de Cuirasse 1987

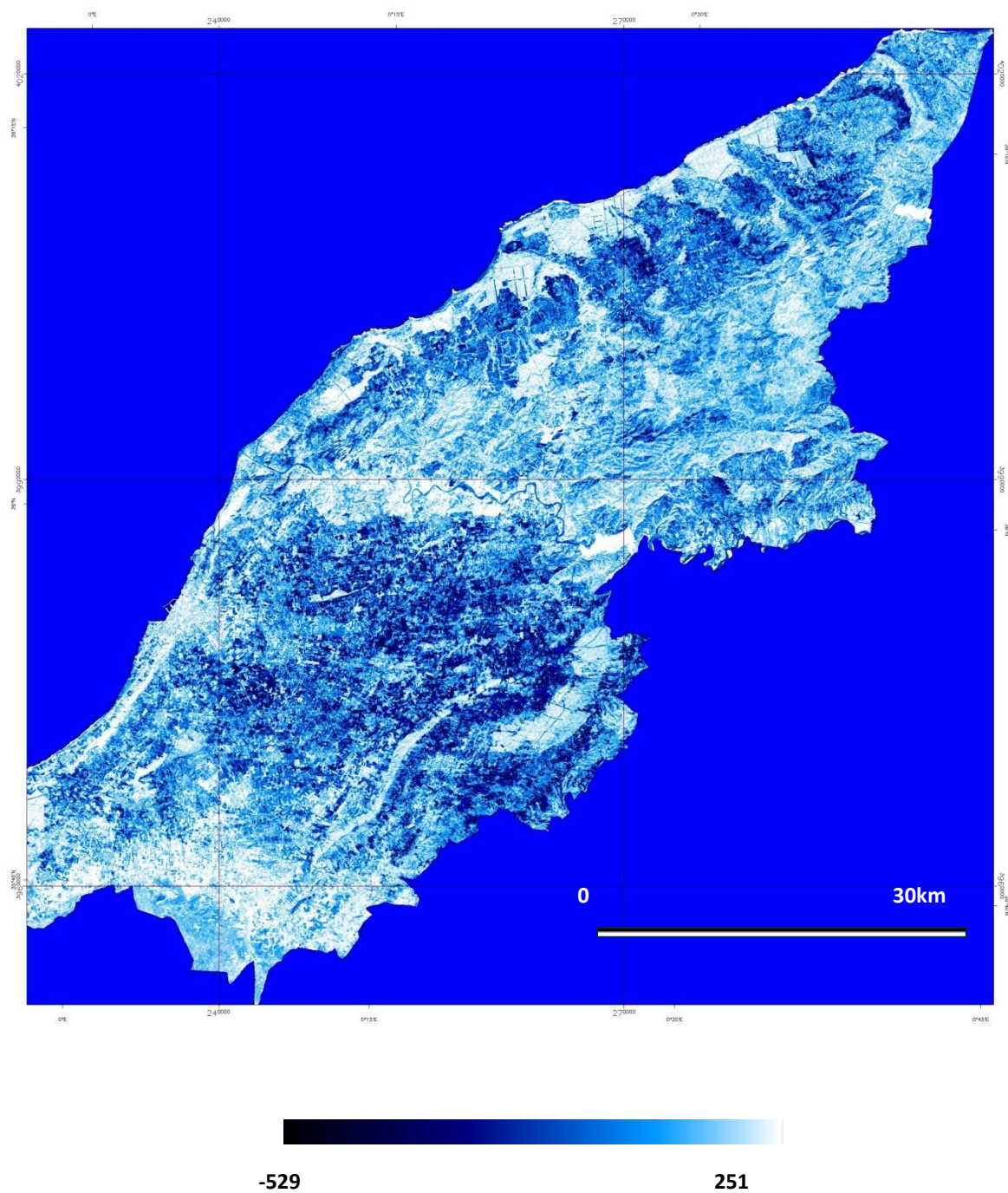


Figure n°30 : Carte d'occupation urbaine obtenu par le biais du calcul d'indice de cuirasse 2011

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

2.1. Discussion et corrélation des résultats obtenus à travers une cartographie de changements :

La figure 31, représente la combinaison entre les deux indices de Cuirasse, elle montre un gradient de pression urbaine croissant sur le littoral en se dirigeant vers le Nord et le Nord-Est, l'Ouest, exprimé par le rouge dans la figure, là où le sol est sensible (un mince recouvrement). Cette extension urbaine en plein trame dunaire a entraîné la disparition de la végétation fixatrice du sol sableux, également à la création des couloirs de déflation.

L'urbanisation à l'échelle des communes de Mostaganem, Mameche, Stidia, Mazagan, Sayada, a consommé 2/3 de son espace agricole et le grignotage de son littoral ne cesse de s'accroître, et la carte de changement l'indique clairement. Pour plus d'exactitude, des résultats statistiques vont être discutés à partir de la carte de changement urbain.

Sur la figure, n°31 nous apercevons une croissance urbaine rapide entre ces deux dates impliquant une démographie élevée particulièrement au niveau des zones littorales, celles à vocation agricole et industrielle.

2.1.1. Synthèse des calculs des indices de cuirasse :

La vectorisation de l'enveloppe urbaine dans les deux indices sur image nous permet de faire une estimation de la répartition globale de l'utilisation du sol urbain à Mostaganem. (figure.n°32)

-La superficie bâtie en 1987 obtenue par le biais de la vectorisation d'indice de cuirasse est estimée à 6376.406ha,

-La superficie bâtie en 2011 obtenue par le même traitement est égale à 22910ha.

Le taux de superficie bâtie en vingt quatre ans est estimé à 7% soit 16533.6 ha.

Nous concluons qu'à chaque année il ya une consommation d'espace au profit de l'urbain estimée à 688.9ha, soit un rythme annuel de 4.16 %. Ce résultat est valable pour toute la wilaya.

Il est entendu que ces chiffres ne sont pas absolus, et ne constituent que des estimations indicatives. Le traitement numérique manuel est ainsi difficile sur l'image et c'est pour cette raison que nous comparons nos résultats en s'appuyant sur d'autres indices statistiques.

D'après Bendjlid (2005), l'espace bâti de Mostaganem a augmenté entre 1977 et 2000 à un rythme annuel de 7.34%, la superficie bâtie de la ville étant multipliée par 1.5. Ce calcul ne concerne que le groupement de Mostaganem qui comprend ; Mostaganem, Mazagan et Sayada. Donc il ya une certaine similitude avec nos résultats car le rythme 4.16% n'est pas absolu, il est ainsi observé beaucoup plus sur le groupement par l'étalement urbain dans la carte de changement et la carte de l'évolution de l'enveloppe urbaine. (Cf. fig.n° 31&32)

Cette évolution de l'espace construit a conduit à une fragilité face aux risques d'ensablement et de perte en sols productifs de la région, ce qui nous impose à réfléchir sur des modes adéquats d'occupation du sol par rapport à la configuration du système dunaire et des périmètres agricoles de la région.

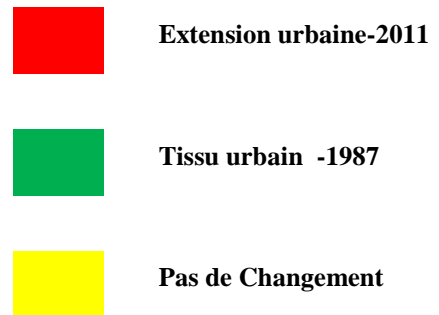
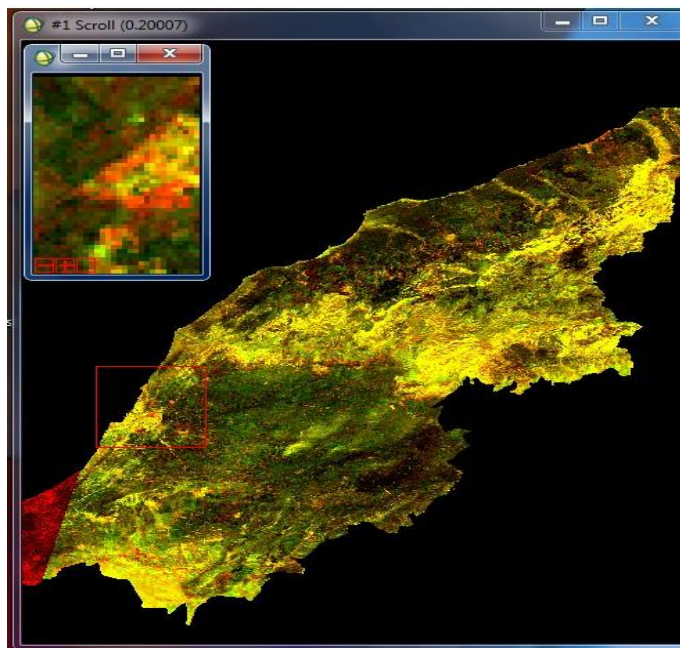
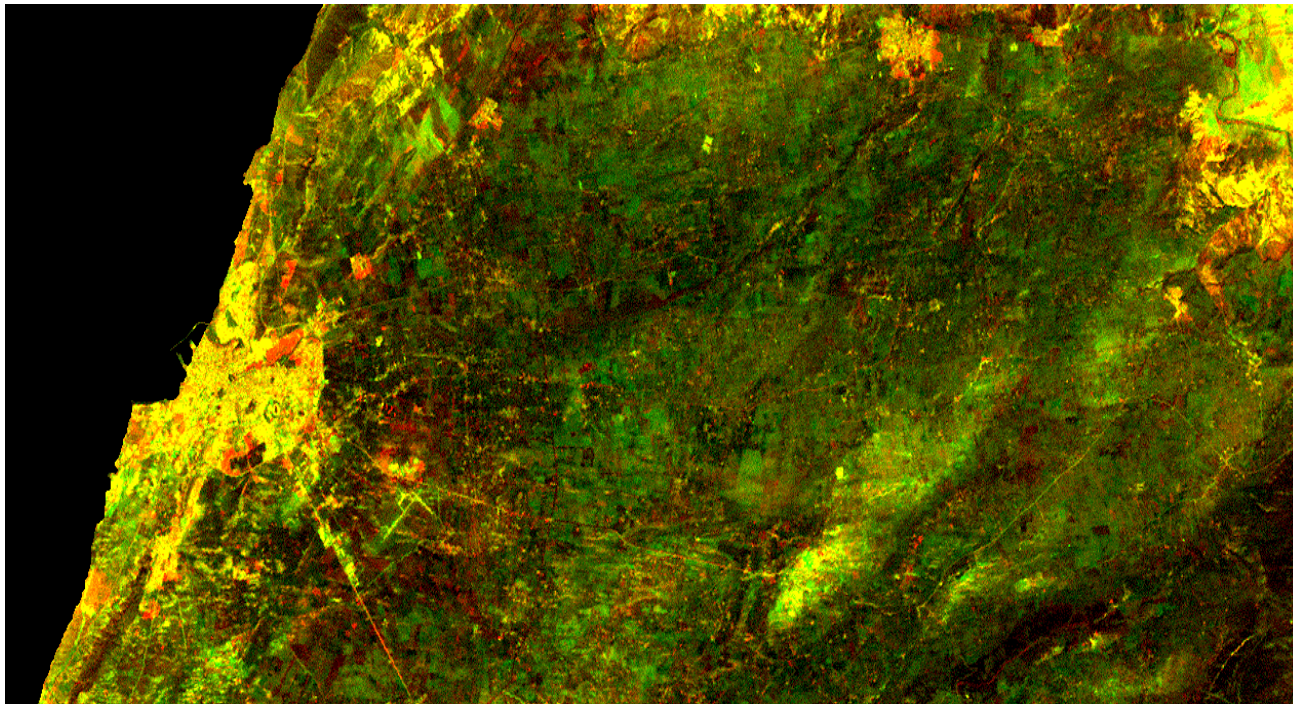


Figure n° 31 : Carte de changement urbain obtenu à travers la combinaison entre les deux indices de cuirasse

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

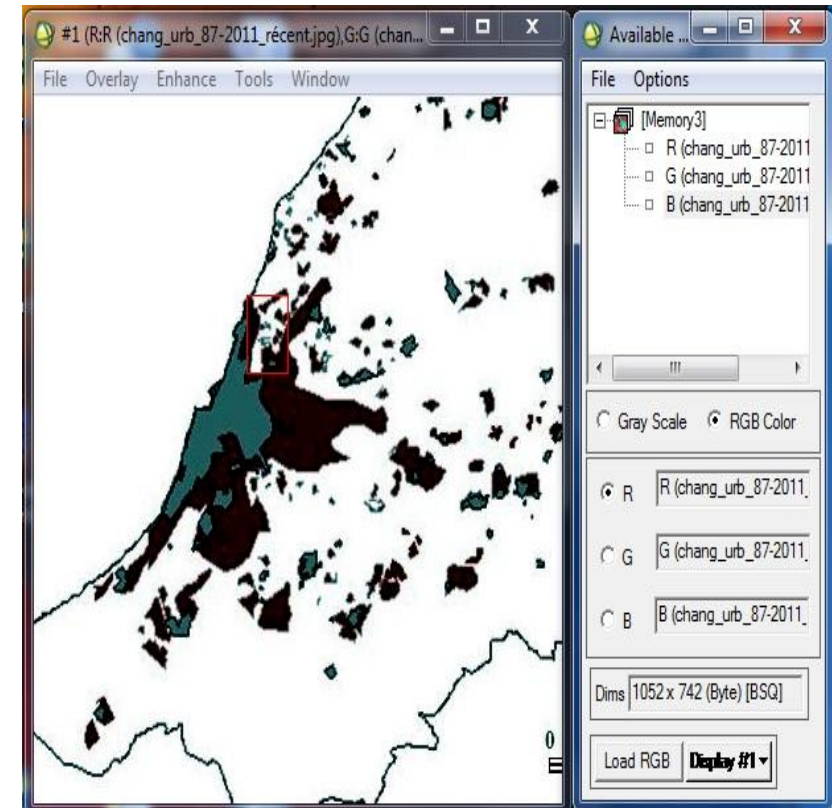
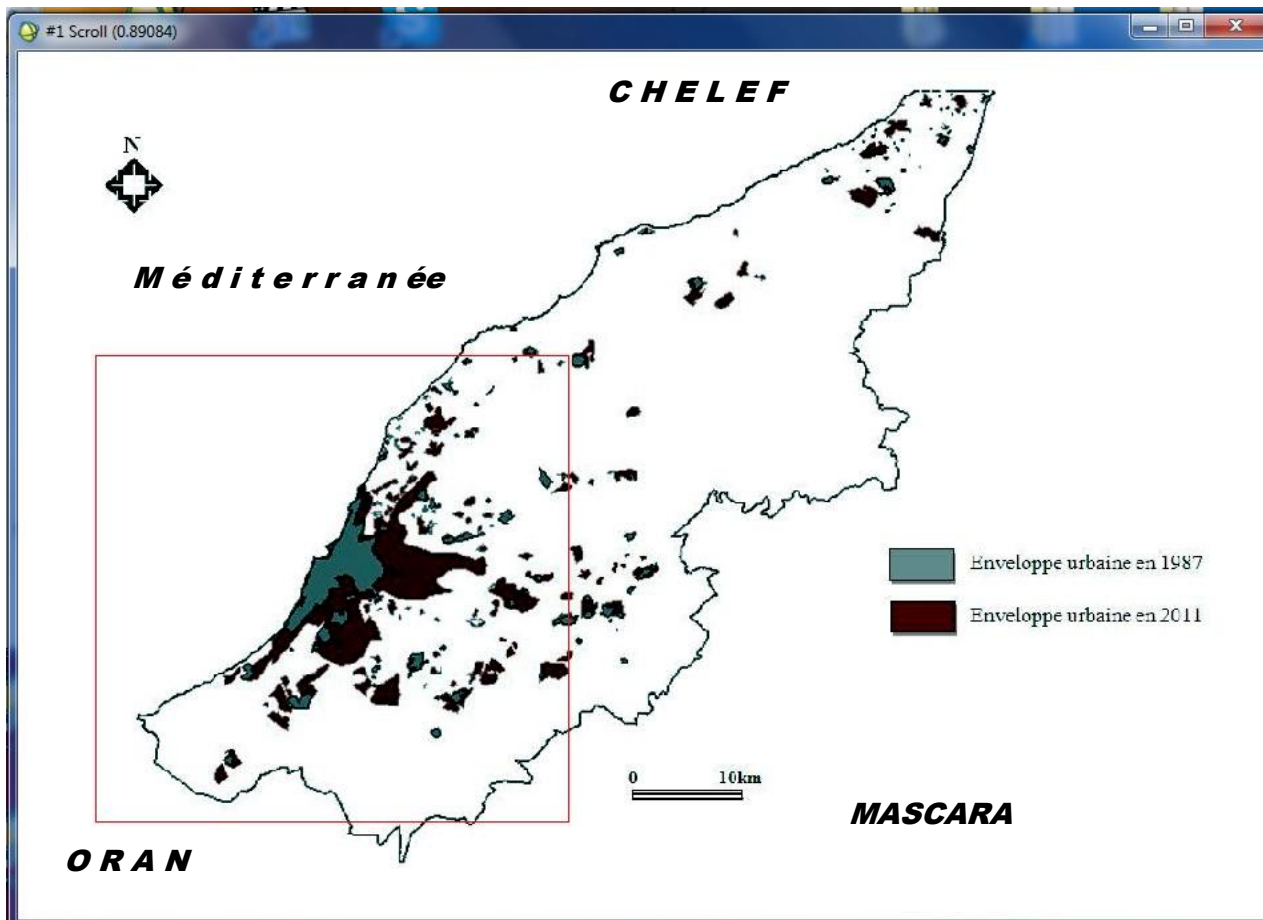


Figure n°32 : Carte de changement d'enveloppe urbaine obtenu à partir de la numérisation des indices de cuirasses (1987-2011). Projection UTM Zone 31 Wilaya de Mostaganem

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

4. Détection de l'ensablement à partir des deux indices (NDVI et Indice de Cuirasse) :

Malgré les efforts pour stabiliser l'ensablement à l'échelle de la wilaya, nous avons identifié à travers l'interprétation des indices calculés (NDVI 2011) une densification dans le couvert végétal par rapport à le NDVI 1987. Son évolution demeure continue.

L'indice de Cuirasse est un indice qui met en relief les surfaces minéralisées (le bâti, les sols nus) mais il peut être un bon indicateur d'une évolution de l'ensablement et c'est à travers une comparaison entre ces deux indices (NDVI, Cuirasse) que nous espérons y arriver.

La fig.33 montre que l'évolution du phénomène a touché certaines zones par rapport à d'autres et ceci, selon la sensibilité des secteurs vis-à-vis de l'érosion éolienne.

La frange Est de la zone de Mostaganem est une zone qui subit des mutations dans son espace bâti et c'est pour cette raison qu'il y a une dynamique d'ensablement car, le cordon dunaire a été touché et détérioré ce qui a entraîné des actions de la part des collectivités locales dans la régression de l'ensablement des milieux dans la région.

Le cordon dunaire en mouvement ainsi que les travaux de bétonisation ont aggravé l'ensablement occasionnant la destruction des dunes fixées (construction dans les dunes et/ou consommation de sable pour le bâti). La forêt montrée dans l'image (NDVI2011) est moins dense que celle de 1987 que prouve l'image de l'indice de cuirasse 2011 et qui l'indique par le gris clair à blanc et s'est intégré dans des tons plus sombres (preuve aussi d'un changement dans cette forêt, mais cette fois ci c'est une extension des voiles sablonneux et pas de l'urbain) ce changement dans les tons dans les deux NDVI, de la couleur blanche en 1987 vers le sombre dans l'indice de 2011 (cas de forêt démontré dans ces figures), est donc expliqué par une évolution partielle.

L'indice de végétation calculé sur image prise en octobre 1987 montre nettement la densification de la forêt par rapport à l'indice de 2011 prise au mois de février qui a enregistré des précipitations considérables pour un bon sol humide et une bonne florescence de la végétation ceci se traduit par une perte en couvert végétal dans certains endroits par rapport à d'autres. Ce changement est le résultat d'un ensablement sur place lors d'un défrichage, l'indice de cuirasse l'indique aussi par le taux de la couleur blanche dans la forêt, cet indice affirme les extensions et l'étalement de l'ensablement qui s'est produit dans cette zone (présence de dune en mouvement sur place. (Cf.fig33)

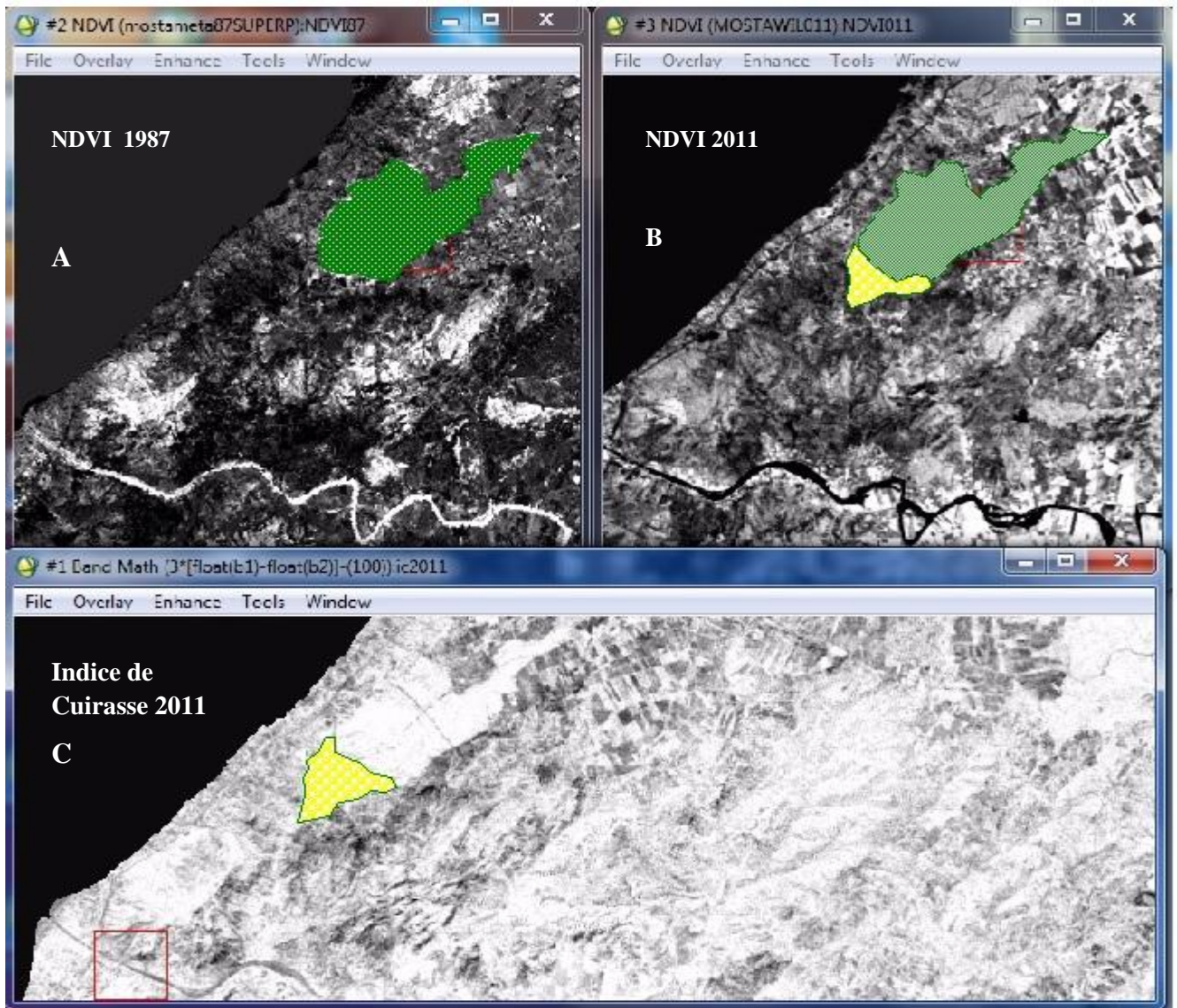
L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

Figure n °33: détection de l'ensablement à travers la comparaison des deux indices
Exemple de ; la forêt de Abdelmalek Ramdane (ex.Ouillis) vers Djbel Diss

A : La forêt de Abdelmalek Ramdane en 1987 sur NDVI

B : L'avancé du sable vers la forêt de Abdelmalek Ramdane en 2011 sur NDVI

C : La détection de l'ensablement de la forêt à travers l'indice de Cuirasse.

Conclusion :

Les traitements réalisés à partir de l'image satellitaire sont de bons outils d'aide à l'approche cartographique à savoir ;

- La classification réalisée est une approche cartographique qui nous a facilité la lecture de l'occupation du sol mais reste à soutenir par d'autres indices (NDVI, IC) au vu de certaines confusions trouvées lors de l'échantillonnage et de la classification supervisée de l'image.
- Le INDVI obtenu a mis en relief la densification de la couverture végétale dans la région, qui est en liaison avec le risque d'ensablement, plus important est le déséquilibre en taux de recouvrement dans la région, plus le risque d'ensablement très fréquent.
- L'indice de Cuirasse est un bon outil d'interprétation. Les résultats obtenus au niveau de l'urbain sont fiables. Il a montré l'ampleur de l'étalement urbain surtout que ce dernier exerce une pression sur le sol (perte de terres agricoles, amaigrissement du cordon dunaire, inondation, ensablement).
- La comparaison du NDVI avec l'indice de cuirasse indique clairement les zones qui subissent un ensablement et celles soumises à la pression urbaine ; nous avons constaté que plus on s'éloigne des villes plus la stabilité de la couverture végétale est présente. Là où la pression anthropique est active, la végétation a du mal à se fixer au sol ou sur le cordon dunaire.

La confirmation de nos statistiques par l'interprétation visuelle est une méthode fiable pour soutenir les résultats de notre travail car elle nous permet d'identifier le phénomène d'ensablement et suivre l'orientation des édifices urbains de plus près.

L'image Quickbird ainsi que nos relevés de terrains (Janvier 2010) constituent un bon moyen d'analyse à une échelle plus fine. Cette approche visuelle est nécessaire pour démontrer à quel point le bâti peut avoir une influence sur l'orientation des dunes et l'avancement du sable vers les terrains agricoles.

Dans le troisième chapitre de cette partie nous allons montrer l'influence du bâti sur le sol ainsi que l'étouffement des cultures par l'ensablement, au travers des zones test.

Chapitre III : Ensablement et urbanisation, entre mesure et impact

Plusieurs éléments moteurs animent le phénomène d'ensablement à l'échelle de la wilaya de Mostaganem (Cf. organigramme n°04). Pour témoigner de son impact, des images à haute résolution spatiale peuvent constituer des auxiliaires utiles et efficaces dans notre investigation comme les satellites de type Quickbird ; sont utilisés en raison de leurs fortes précisions spatiales.

Nous examinerons des zones spécifiques ayant subi des dommages par suite de la déstabilisation du cordon dunaire (urbanisation non maîtrisée), et les menaces sur les sols agricoles (mauvaise pratique culturales).

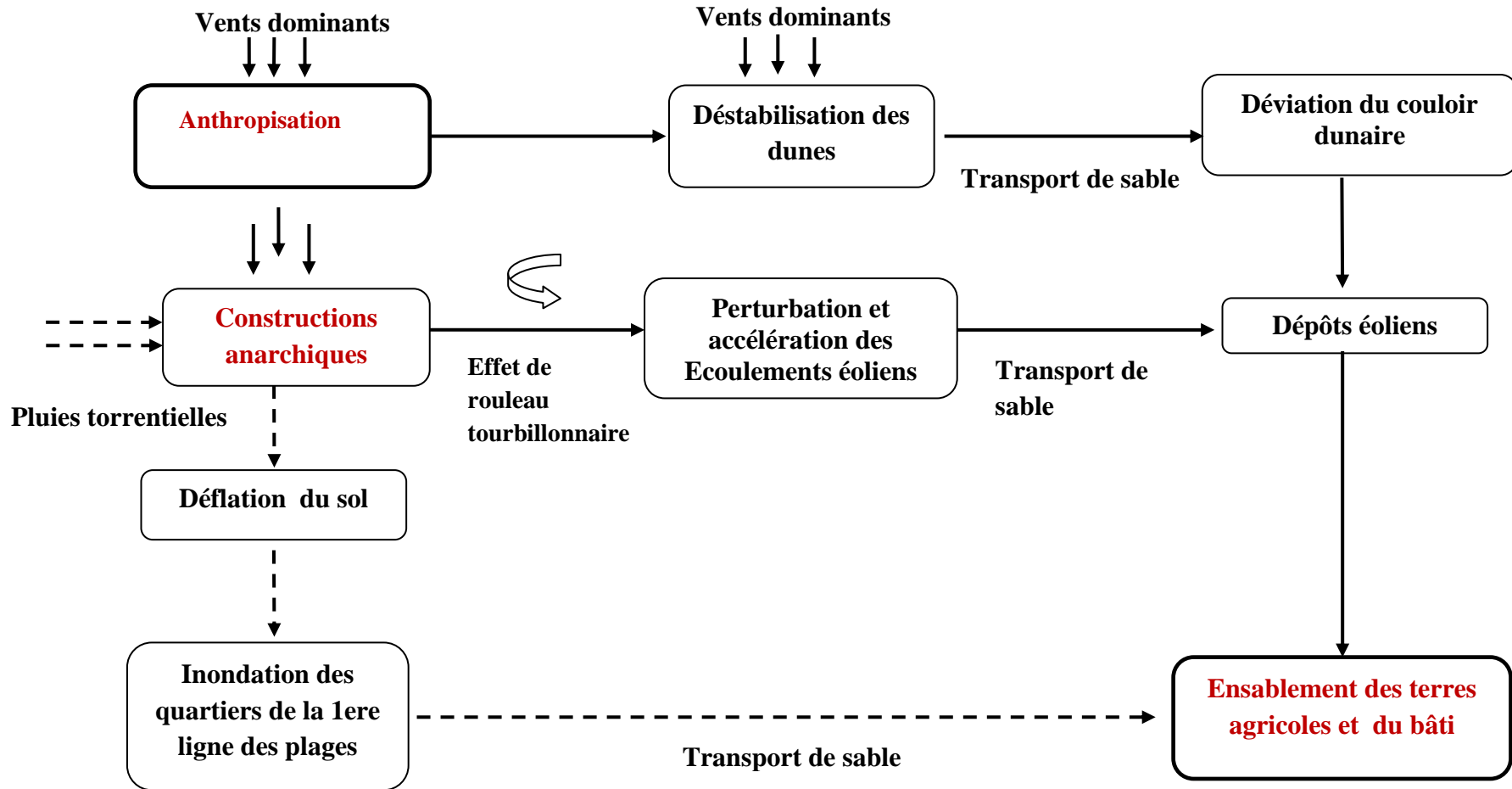
III.1. L'étalement urbain crée la vulnérabilité :

La morphologie des infrastructures ainsi que leur implantation dans le cordon dunaire perpendiculaire aux vents dominants sont des facteurs insidieux pouvant engendrer des dégâts perceptibles.

D'après El.Smahi-2001 toute la région de Mostaganem subit un vent efficace variant d'un mois à un autre et se résume comme suit ;

- Les vents dynamiques sont du N (14 %), d'W (13,3 %), d'WSW (9,2 %) et NNE (7,6 %).
- Les mois dont le taux en vents dynamiques est supérieur au taux annuel (27%) sont Décembre, janvier, février, mars et avril soit respectivement :30 % ;32 % ;28 % ; 38 % et 36%.
- Les vents dynamiques présentent des fréquences très élevées à 12H et au milieu de l'après-midi 15H.
- Les heures les plus érosives ont été observées à 12 heures et au milieu de l'après midi (15 heures). Par contre, les heures calmes ont été enregistrées à 0 heure, 3 heure, 6 heure et 21 heure.
- La nuit se révèle comme ayant le régime le plus calme, contrairement au jour durant lequel les vents dynamiques atteignent leur paroxysme.

L'analyse des vents nous est utile afin de mesurer son effet face aux expansions urbaines qui se dirigent vers les dunes, donc son efficacité dans le transport et le dépôt du sable.



————> Vents dominants NNO -SO

- - -> Pluies torrentielles

Schéma : Schématisation des agents moteurs de l'ensablement.

Source :Megherbi.W

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

- 1.1. Catastrophe de kharouba et de Sidi El Mejdoub:

La Zone de Kharrouba est une zone basse située sur un immense périmètre naturel délimité par les hauteurs d'El Hachem et d'El Arsa, construite en 1990 par l'ANAT « Agence nationale de l'Aménagement du territoire » dans le but de l'extension de la ville de Mostaganem, vers le Nord, Nord-Est, à partir des 300 logements de Kharrouba. L'urbanisation de cette zone ainsi que celle de la localité de Sidi Mejdoub s'est opérée sur un sol dunaire qui était protégé auparavant par une végétation dense et une agriculture très importante, c'était aussi une zone d'infiltration des eaux de pluie qui alimentaient la nappe phréatique. (Bourahla-2012)

Cet écosystème dunaire affecté par l'intervention de l'homme a conduit à des conséquences néfastes (Cf.figure n°34) ;

-L'ensablement des infrastructures et des bâtiments « Par la destruction de la dune et sa remobilisation » (Photos n°01)

-L'ensablement dans le voisinage (des terrains agricoles envahis par le sable).

-L'inondation qui a été à l'origine de l'imperméabilité du sol résultat du rasage des dunes qui jouaient le rôle de protecteur (effet d'infiltration) contre les transgressions marines et les pluies torrentielles. (Ex : inondation du 21 Novembre 2011 kharouba)

-Un glissement de terrain et effondrement des routes (Ex : Sidi El Mejdoub 21 Novembre 2012)

- L'envasement des réseaux d'assainissement par le sable a favorisé l'écoulement des eaux dans les oueds ce qui a mené à leur débordements

-Un affouillement de la chaussée tout près d'immeubles d'habitations depuis le 21 novembre 2011 et jusqu'au 10 janvier 2012, malgré l'absence de pluie ces affouillements ont progressé augmentant le risque d'effondrement de ces habitations (la cité des 108 logements du quartier Hai Essalam).



Photos n°01 : Accumulation de sable dunaire dans les surfaces urbaines
Cliché : Megherbi.W- Kharouba 06/02/2015

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

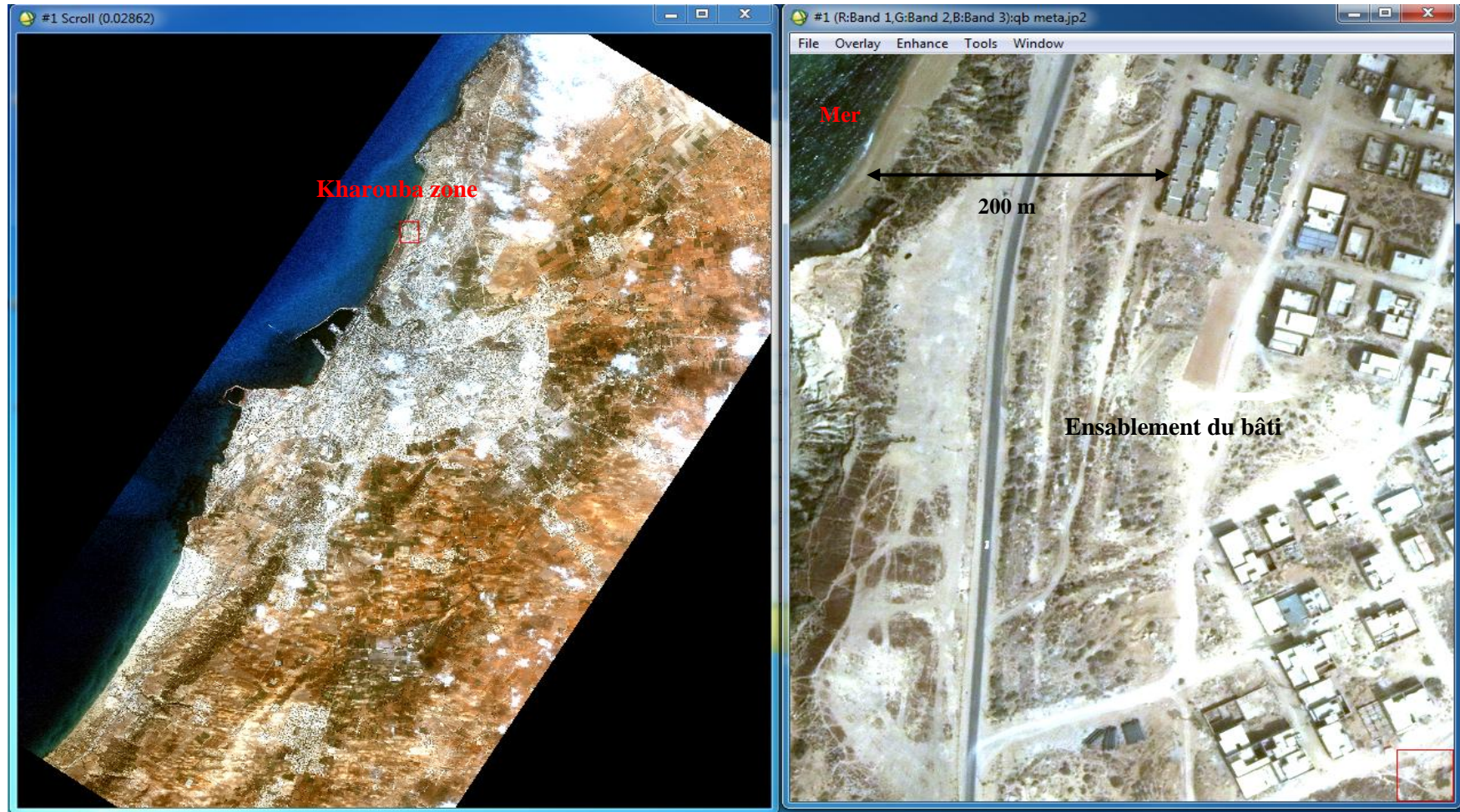


Figure n° 34: Ensablement de proximité, cas de la zone de Kharouba

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

Cette figure ci-dessus indique la proximité des édifices urbains avec des dunes et nous renseigne sur les conséquences de la dynamique éolienne sous l'effet anthropique à travers l'amas de sable contre les façades des habitations et infrastructures routières.

Nous avons remarqué qu'à 200 mètres de trait de côte le béton s'installe de plus en plus et l'exploitation des dunes de sable augmente (croissance urbaine et exploitation du sable comme matériau de construction). Ce qui a mené à des inondations (rasage de ces dunes) et à un ensablement (dune déstabilisée) vers l'intérieur de la deuxième ligne des quartiers (Kharouba Est). (Photos 02)

Effectivement et, suite aux sorties sur le terrain pour la détermination des milieux sensibles, nous avons remarqué des accumulations sableuses au pied des habitations, sur les routes littorales qui relient la ville de Mostaganem à Chlef (Chlef plage) perturbant la circulation autoroutière.

Le résultat du traitement de l'imagerie satellitaire Landsat dans le deuxième chapitre de cette partie et l'interprétation de l'image Quickbird (fig.35) ont mis en évidence l'évolution de l'urbain dans les états de surfaces, de la répartition des dunes qui le constituent et les nouveaux ensembles urbains au contact du cordon dunaire. L'avancée des constructions est significative dans cette image, elle présente un vrai danger car le cordon dunaire a été touché. Il a été ainsi perturbé et dévié vers la route et vers l'urbain (présence de l'ensablement). « Photos 03 »



Photos 02 : Nouveaux édifices urbains et exploitation du sable dunaire.

Cliché : Megherbi.W- Kharouba 06/02/2015



Photos 03 : Ensablement de la route causé par les nouvelles constructions sur dunes.

Cliché : Megherbi.W- Kharouba 06/02/2015



Figure n°35 : Cordon dunaire en mouvement cas de Sidi Mejdoub

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

La figure ci-dessous (fig.37) indique que l'avancée urbaine actuelle se poursuit dans la même direction et parallèlement au trait de côte. Le «P.D.A.U » ainsi que le schéma directeur du tourisme qui est à sa 4^{ème} phase, inclut des projections d'extensions orientées vers cet éco-système fragile, ignorant ainsi la gravité de cette étalement.

Selon cette étude, il est planifié une réalisation de six zones d'expansion touristique sur le cordon dunaire littoral d'une superficie de 4339 ha sur 27.043ha soit 16% de ce cordon sera constructible (Khelifa.M- 2014).

Sur les 1939.04 hectares du foncier dégagé à l'échelle de la wilaya par le plan d'aménagement et d'urbanisme, 28% sont des sols qui posent une contrainte pour le foncier (fig.36), destiné à l'habitat (D.P.A.T. Mostaganam-2013), les communes littorales sont les plus concernées au vu de leur sensibilisation (Présence d'un cordon dunaire) vis-à-vis de l'ensablement, d'autres communes présentent aussi un taux élevé de contraintes car ils possèdent des terrains à fort potentiel agricole.

La comparaison entre les deux figures n°35 et 37 a aussi l'avantage de montrer l'extension du bâti qui a progressé vers l'Est entre 1987 et 2011, transgressant les dunes. Cette avancée s'est donc réalisée au détriment des sables vifs conduisant à la destruction du massif dunaire et à l'ensablement des surfaces. (Photos 04)

La morphologie de la partie Est de Mostaganem a considérablement changé en vingt quatre ans et notamment sa frange littorale qui a reculé de 100 m en moyenne correspondant à la pénétration de la surface bâtie; si bien que certains édifices situés à moins de 60 m des premières dunes se retrouvent envahis par des accumulations de sables qui obturent leurs entrées ou recouvrent leurs façades. (Photos 05)

L'implantation d'équipements modifie l'équilibre du milieu naturel et augmente le risque d'ensablement, la zone deviendra donc de plus en plus vulnérable par cet étalement irréfléchi et peu maîtrisé.

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

Coordonnées GPS. : X=248894/Y=3986589

Photos n°04 : Ensablement des cultures Sayada
Cliché : Megherbi.W- 09 janvier 2010

Photos n°05 : Bourrelet de sable face aux bâtiments
Cliché : Megherbi.W- 06 février 2015

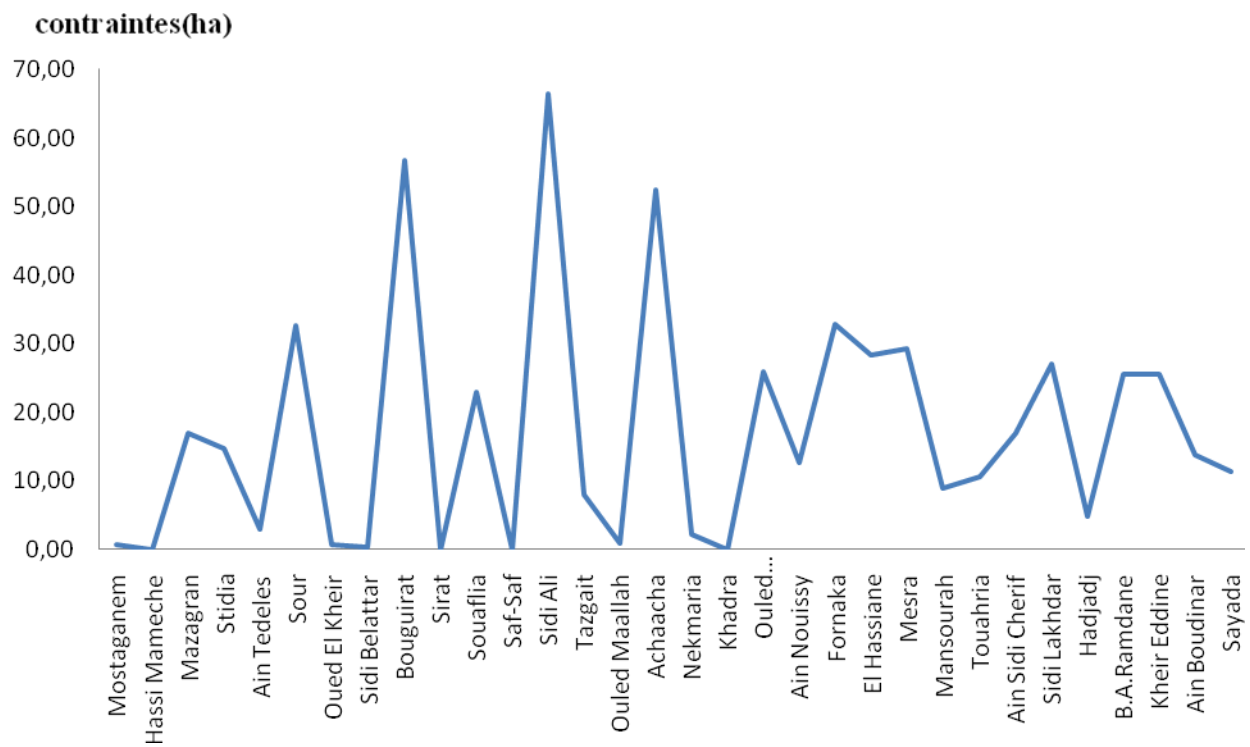


Figure n° 36 : Le foncier des contraintes au sol dégagé par le PDAU 2013

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

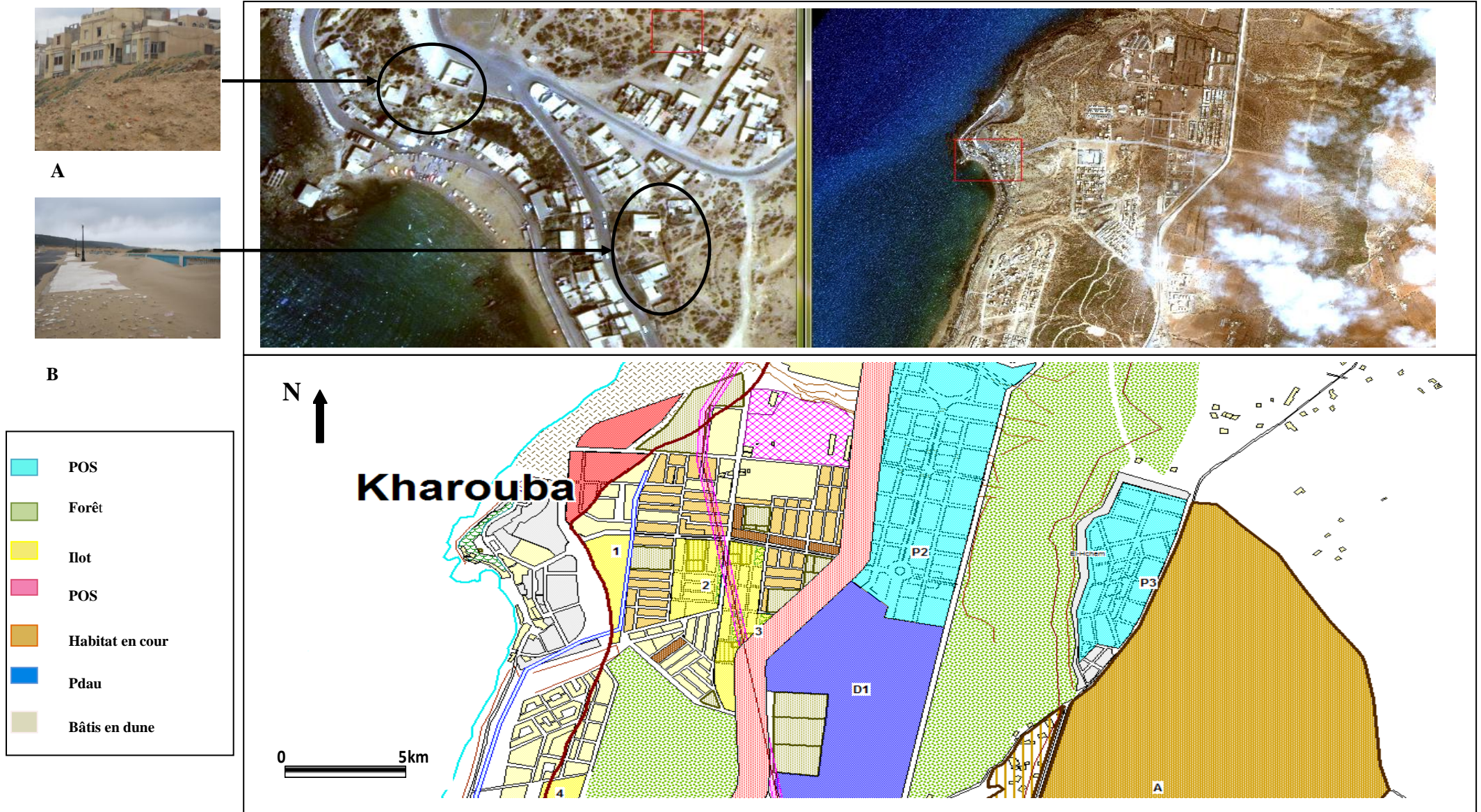


Figure n° 37: La pénétration des extensions urbaines dans le massif dunaire à Kharouba

A : Construction sur dune- **B :** Cordon dunaire dévié.

W.MEGHERBI

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

En dehors de ces indésirables implantations sur le cordon dunaire et qui ont contribué à sa destruction, introduisant donc le transport de sable par l'action éolienne ; un autre facteur très important mais insidieux amplifia le phénomène d'ensablement dans la région et nécessite d'être étudié en profondeur dans ce travail : type de tissu urbain et sa relation avec la dynamique éolienne. (Cf.chap III.Partie.I)

Lors de nos visites sur les lieux, après observations et analyse du plan d'aménagement urbain du groupement et du schéma directeur du tourisme nous avons remarqué que :

Dans l'emplacement et la disposition du bâti de la localité de Kharouba-Est (Pris comme exemple), les rues sont perpendiculaires à la direction des vents dynamiques fréquents du Nord-Ouest et de l'Ouest.

Le tissu urbain est en général poreux, les hauteurs des habitations hétérogènes créent un processus de vortex avec un effet de vent tourbillonnaire induisant des perturbations éoliennes dès les premiers écoulements éoliens dynamiques ; ce comportement de vent sur ces constructions mal disposées menace la zone ; les accumulations sableuses dans l'environnement immédiat sont fréquentes,(Photo n°06)

« Les tissus urbains poreux ou ouverts engendrent des perturbations aérodynamiques qui s'étendent sur de longues distances. En effet, la porosité horizontale ou verticale des tissus urbains (cours, espaces résidentiels par exemple) ainsi que la porosité des immeubles (pilotis, trous par exemple) modifient l'écoulement de l'air et créent des zones à risques liées à de forts courants d'air, pour limiter ces risques, il faut que l'ouverture d'un tissu urbain soit inférieure à 0.25 fois son périmètre et qu'il soit constitué de bâtiments de hauteurs voisines. » D'après Gandermer-1976.

Le milieu étudié (système dunaire en mouvement) présente une source d'alimentation de sable, l'action des vents dynamiques est efficace, ceux du Nord (14%) sont arrivés à 17% à l'intérieur des constructions. De ce fait ces types de tissus urbains sont des facteurs surnois et participent à l'efficacité du déplacement de grains de sable.



Photos n°06 : Disposition des bâtis face au vent
Cliché : Megherbi.W- 06 février 2015 kharouba



Photos n°07 : Une action éolienne efficace (accumulation de sable)
Cliché : Megherbi.W- 06 février 2015 Ouerah

III.2. Les menaces aux sols entre nature et anthropique :

L'origine des sols du plateau de Mostaganem, de nature gréseuse et l'abondance du sable dans la région est à l'origine de l'érosion éolienne, les systèmes de culture tels cités précédemment font que le processus d'ensablement se propage. Dans cette rubrique deux zones ont fait l'objet d'une analyse.

- 2.1. La zone de Mesra :

La région de Mesra située dans le Sud-Ouest du plateau de Mostaganem est une zone où l'agriculture est l'activité la plus dominante. Elle connaît ces derniers temps un détournement de ses terrains à vocation agricole vers l'urbanisation. Plusieurs causes ont fait en sorte que ces nouvelles transformations s'y implantent;

- Le travail de la terre qui devient de plus en plus répulsif.
- L'industrialisation, le revenu au moindre effort, la vente des terres agricoles.
- Atteinte aux sites agricoles situés à l'aval-vent entraînant l'étouffement des cultures.
- Appauvrissement-aridification des sols,
- Puits obstrués empêchant l'accès à la nappe et l'écoulement de l'eau d'irrigation,
- Ensablement des routes d'accès à la ville et des routes,
- L'ensablement des terrains agricoles qui mène à leur abandon,
- Des parcelles protégées par des sillons sont ensablées,
- Le coût élevé des aménagements liés à la lutte contre l'ensablement que les simples paysans agriculteurs n'arrivent pas à supporter,
- Le morcellement des parcelles agricoles qui facilite les transactions.

Les parcelles non protégées ainsi que celles remplacées par la céréaliculture subissent une action de vents dominants de l'Ouest et Ouest Sud Ouest et du Nord, là où les grains de sable soulevés par le vent durant la saison d'octobre à avril altèrent les sols par un voile de sable ou par leurs déflations. Des parcelles ensablées et des accumulations sableuses sous forme de micro-dunes ont été observées vers Douar Ouled Ahmed et Douar Medjahri, domaine d'Enaddor au Sud de Mesra. On les trouve aussi près de la route nationale n°23 reliant Mostaganem à Mesra. (fig.38). D'ailleurs l'exploitation des images satellitaires le montre clairement.

La figure 38 nous montre avec exactitude des terres agricoles ensablées. On remarque aussi que les sillons sont complètement ensablés.

Confirmés suite à notre sortie terrain par le GPS (Global Position Satellite) au niveau des douars de Beni Zarwal, Moualdia ou de grandes parcelles connaissent un ensablement et même des micro-dunes, l'arrachage de la vigne dans le plateau est l'une des causes principales de cet ensablement facilitées par les conditions physiques citées dans la première partie.

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation



X=242814 y=3961372
(Moualdia) GPS



X=245826 y=3973209
(Beni Zarwal village) GPS

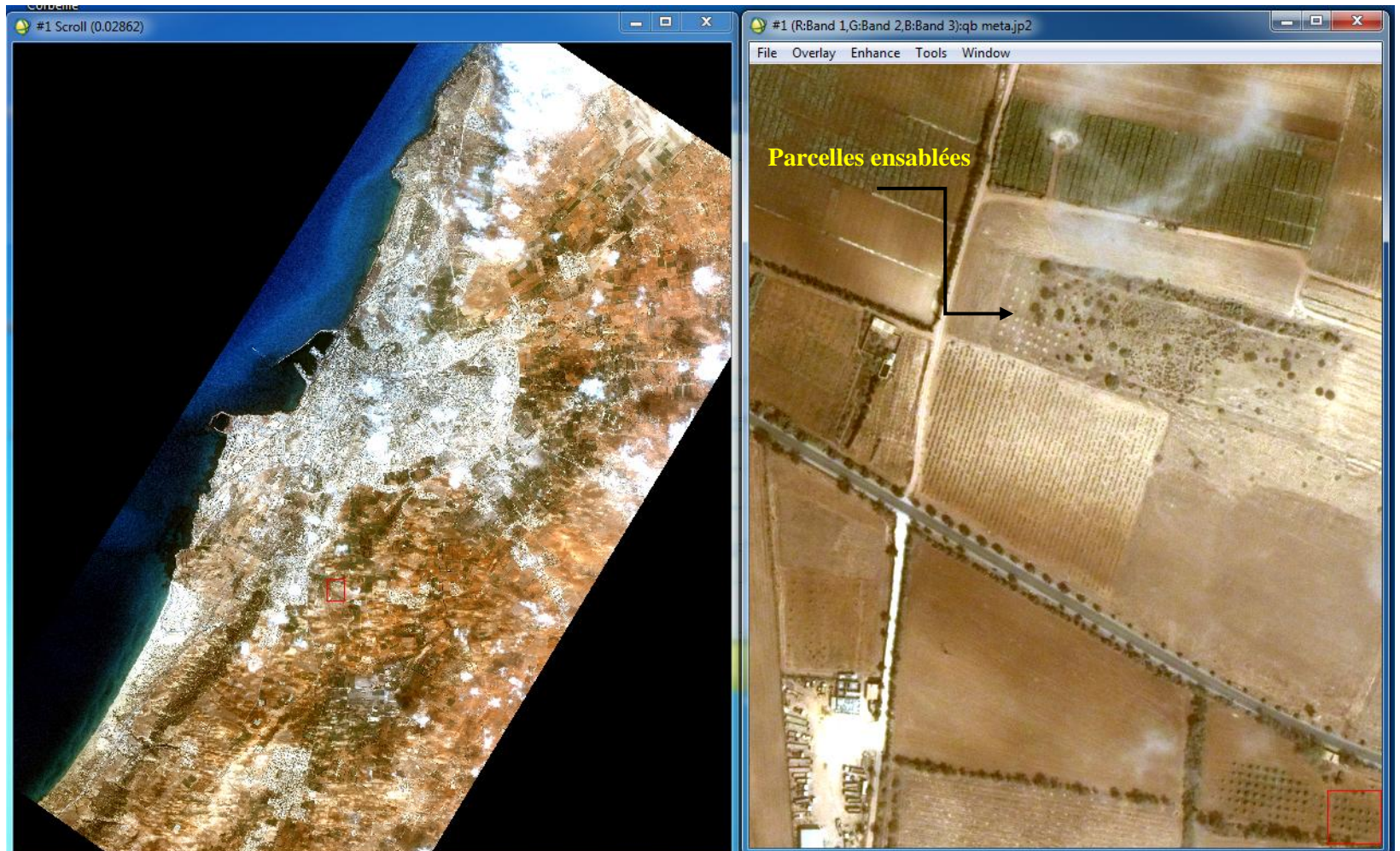


Figure n° 38 : Terrains agricoles ensablés à Mesra

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

- 2.2. La zone d'Ain Tedlès :

Ain Tedlès commune située sur le plateau de Mostaganem loin du cordon littoral subit elle aussi un abandon de plusieurs de ces terrains fertiles pour les mêmes raisons que celles de Mesra. L'ensablement se manifeste efficacement, d'importantes accumulations de sable s'y trouvent, résultat de la politique d'arrachage du vignoble et qui indique des transformations dans le parcellaire agricole de la région. (Photo.08)

L'ensablement dans cette zone est le résultat de la formation des dunes sur place, cette dernière fixée dans le temps est mis en mouvement par l'effet conjugué de l'homme (effet anthropique) et des vents dominants.

« Dans les limites même du Tell, il ya tendance à la formation de dunes au moins sur un point, le plateau de Mostaganem. Mais là les géologues sont sur un terrain qu'ils connaissent bien, ils n'hésitent pas à reconnaître que les dunes se forment sur place aux dépens des sables pliocènes. » (Gautier -1902)

Dans cette région nous assistons à différents types de dunes qui présentent une menace au sol et un danger pour les cultures ; il s'agit de fixations superficielles des dunes faciles à être débroussaillées et à être remobilisées par la suite (Par piétinement des troupeaux et/ou les auto-constructions et le pillage de sable).

Les formes dunaires qui caractérisent le Plateau de Mostaganem associent l'amas de sable aux micro-dunes, Champs de nebkas, dunes de faibles altitudes jusqu'aux dunes mobiles en forme de croissant (Barkhane). Cette zone est un échantillon significatif en terme de superficies ensablées et accumulations dunaires.

Des exemples sur quelques types de dunes qui révèlent une menace pour l'activité agricole ;

Selon notre visite sur les lieux et sur la base de travaux réalisés dans cette zone nous relevons ce qui suit :

Dunes vives : Au niveau des dépressions d'inondations ces dunes vives se situent entre Douar Djbara et Douar Sneissia , ces formations sont le résultat premier des apports éoliens des accumulations voisines (Hanni-1991), la plupart de ces dunes étaient fixées par de la vigne et une fois cette plante arrachée, le matériel est devenu mobilisable et, a donné naissance à d'autre formes de dunes dans les parcelles agricoles . (Photos 09)

Une Barkhane : Cette dune en forme de croissant a une force de déplacement rapide, elle présente un risque pour les terres fertiles, cette barkhane est localisée vers la route d'Ennaro (Photos 10).

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

Dune de faible dimensions : De 1 à 2 km de longueur et 05 mètres de hauteur à peu près sont les dunes de faible altitude vers Douar Benghali, Ouled moumen à l'Ouest de Ain Tedlès.

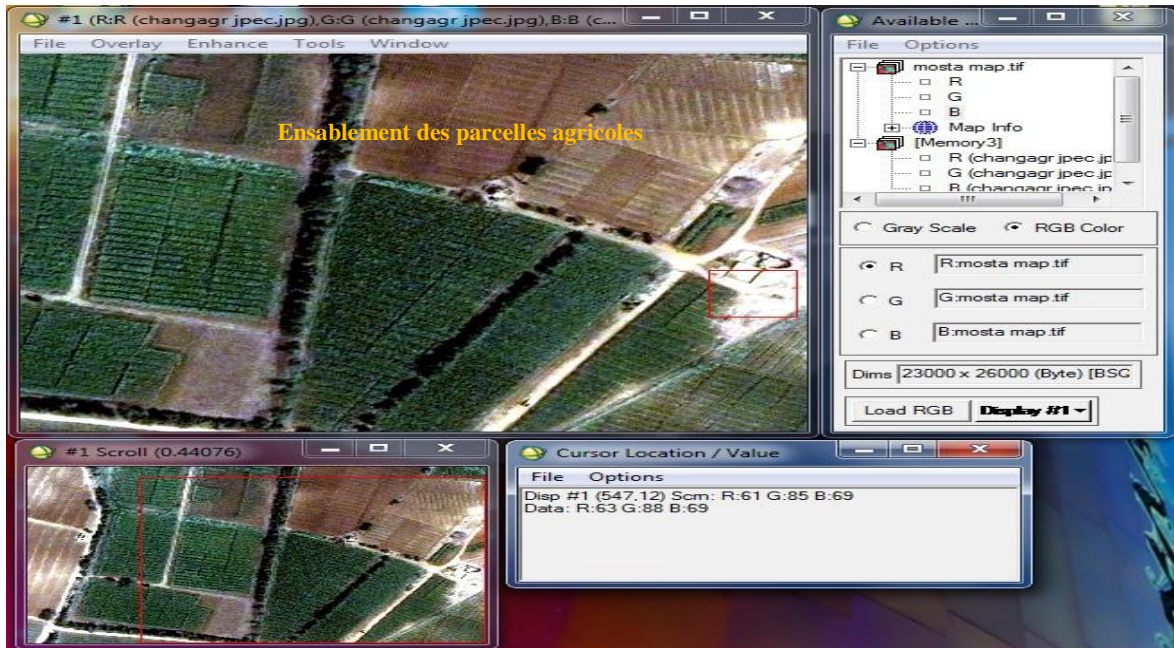
Champs dunaires : Vers Douar Benatia, près de la route d'Ain Tedles vers douar Saidia au Nord. Parfois ces dunes constituent un cordon dunaire dont la direction est celle du vent SO-NO.

Dunes isolées : Vers le Sud-Est exemple dune Khraifia douar et dune d'Ouled Ahmed.

Dépressions entourées de dunes et de micro-dunes: Elles se localisent aux environs de la dépression d'Ouled Medjahri au Nord de douar Saidia, ainsi que la dépression de Sneissia entourée par des micro-dunes.

Nebkas: Dans les champs de culture il existe des dunes et de micro-dunes fixées partiellement par de la végétation et dans d'autres endroits superficiellement près de Douar Ben Ghali, Douar Merzouga.(Photos 11)

Ces différentes formes sont à l'origine du phénomène d'ensablement dans les lieux dits sensibles. Une action éolienne est efficace dans ce cas là car elle est chargée de grains de sables même si ces dunes sont parfois stabilisées biologiquement cela n'empêche pas qu'elles soient remobilisées.

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation

Quickbird image/0.6 mètre Ain Tedles



Photos 08 : Terrain agricole ensablé et formation de micro dune
 Cliché : Megherbi.W- 09 janvier 2010 Ain Tedles

L'évolution spatio-temporelle de l'ensablement et d'urbanisation



Photos 09 : dunes vives semi fixées



Photos 10 : Barkhane
(Route Ennaro, Mostaganem)



Photos 11 : Nebka

Conclusion et discussion ;

Il n'existe malheureusement pas d'étude statistique précise sur la répartition des sables à l'échelle de la zone d'étude mais son impact demeure perceptible sur les milieux agricoles et urbains (Voir les terrains fertiles ensablés).

Le choix des zones disséminées dans notre étude a été fait sur la base d'un examen évolutif méticuleux du processus d'ensablement et d'urbanisation.

Les extensions urbaines s'étendent de plus en plus vers le littoral où des extractions de sable (carrières légales et illégales) dunaire sont utilisées pour les constructions. Les habitations anarchiques provoquent l'ensablement des infrastructures et des terres fertiles ; lesquelles subissent en retour les effets dévastateurs des inondations.

Ces extensions ne reflètent qu'une vision qui se répète sans cesse, celle de la consommation d'espace au détriment de zones fragiles (cordon dunaire, terrains fertiles) et qui sont en contradiction avec les travaux de fixation de dunes dans les zones voisines.

L'impact des éléments bâtis au sol est important que se soit, à la suite d'une perturbation du cordon ou bien par la dilapidation des terres fertiles. Le problème qui est posé dans cette étude est celui de la morphologie du bâti et, sa disposition par rapport à la direction des vents dominants. Nous constatons que plus nous avons à faire à un tissu ouvert et poreux plus l'augmentation de la vitesse des vents est préoccupante, la présence d'un stock de sable dans l'environnement (amas de sable au pied des édifices) est également vecteur de la propagation de l'ensablement.

Dans ce chapitre nous avons localisé les différentes formes de dunes qui existent dans la zone afin de déterminer celles qui présentent un danger pour les cultures et infrastructures. Nous trouvons dans la région des dunes fixées superficiellement et une barkhane, ces dernières constituent un risque lorsqu'elles sont déstabilisées et remises en mouvement par le vent et/ou par l'eau.

Au vu de la fragilité du géo-système dunaire, la partie Ouest et Est de la région de Mostaganem demeure la plus vulnérable, le Sud-Ouest et le Sud-Est qui correspondent à la présence d'accumulations sableuses dans le plateau (Mesra, Ain Tedles) le sont mais à un degré moindre.

Conclusion de la deuxième partie

Conclusion de la deuxième partie

A l'échelle locale, l'approche cartographique présentée témoigne :

-D'un manque en couverture végétale ; spécialement dans le cordon dunaire et c'est à travers le NDVI et la classification supervisée que ce déficit a été observé, et que justifient les statistiques des services agricoles et forestiers.

-D'une importante dynamique urbaine sur ce cordon dunaire et vers des terrains les plus fertiles ; le calcul de l'indice de cuirasse est le traitement utilisé, car considéré comme le plus performant dans la détermination de l'enveloppe urbaine.

L'analyse montre que cet aspect très « mosaïqué » de la végétation est largement conditionné par les facteurs édaphiques, topographiques et surtout le poids de l'action anthropique « les expansions urbaines, arrachage du vignoble, déforestation ».

L'augmentation de la superficie agricole utile dans la zone ainsi que la superficie des zones forestières n'est qu'un rattrapage des pertes en sol; 56% est le taux de recouvrement des forêts artificielles à Mostaganem, 74% est le taux de la SAU par rapport à la SAT. L'extension de ces superficies dans les zones dites fragiles est le résultat de fixations des dunes, de la réintroduction du vignoble, du renforcement des superficies arboricoles et agricoles.

La période de 24 années (de 1987 à 2011) a été suffisante pour identifier le risque d'ensablement des surfaces ; son étalement a été confirmé par les traitements préconisés.

En outre, cette approche cartographique a permis l'identification et la caractérisation des unités spatiales. Le bâti, en plus de son aspect consommateur d'espace, est aussi un facteur insidieux (par sa forme, par son orientation par rapport à la direction des vents dominants) à la propagation du processus d'ensablement car il agit sur la déviation des courants éoliens , sur l'orientation des dunes et sur l'inondation des lieux sensibles qui subissent en retour un ensablement d'origine hydrique.

L'image satellitaire à haute résolution spatiale est aussi un bon outil de confirmation du risque de proximité ; elle est considérée comme justificatif réel du comportement de l'ensablement en milieu agricole et face aux expansions urbaines.

Nous avons constaté que là où se trouve une densification du tissu urbain dans le littoral, c'est là, où il ya une raréfaction de la végétation fixatrice du sol et de moins en moins de terrains agricoles et, c'est dans ces milieux que les risques liés à la destruction du cordon dunaire augmentent (Ensablement, inondation, glissement de terrain, etc...).

Pour cette raison, une relecture et une révision des modes de cultures, des moyens de lutte contre l'ensablement, des projets de constructions sont nécessaires et doivent être pris en charge pour minimiser les effets dévastateurs de ces risques. Nous allons recommander des solutions pour chaque type de facteur dans la troisième partie de notre travail.

En conclusions, nous pouvons avancer que l'imagerie satellitaire reste un outil performant, surtout si les traitements choisis se rapprochent de la réalité du terrain ; il reste entendu que l'outil satellitaire ne peut être fiable que si il est justifié par une démonstration scientifique.

PARTIE III

Entre pratiques sociales et prévision du risque d'ensablement

« L'énergie nucléaire a tout changé sauf, hélas, nos façons de raisonner. »

Albert. EINSTEIN

Introduction de la troisième partie

L'étude traitée des lieux productifs et habités à l'échelle de la wilaya de Mostaganem et précisément dans les zones choisies bien que disséminées, nous a aidé à analyser le phénomène d'ensablement et de constater le caractère menaçant de son évolution, par son étendue spatiale et par son impact sur les cultures et sur les lieux. Les sillons ensablés, les voiles éoliens, les accumulations sableuses sur des terres fertiles et sur les routes sont les effets néfastes de l'ensablement les plus observés dans la région. La destruction des dunes conjuguée à d'autres problèmes qui en découlent ; comme celui des inondations des constructions littorales, pour revenir à un autre type d'apport de sable dans la zone (apport hydrique) ajouté à l'apports éolien.

Donc lorsqu'un site est menacé d'ensablement, il est nécessaire d'identifier avec soin les sources de sable, les zones de transport, les secteurs d'accumulation et les facteurs qui les favorisent pour définir par la suite les techniques à adopter et les types d'aménagements appropriés afin de freiner si non de ralentir les facteurs qui les sous-tendent.

Nous avons constaté sur le terrain que les accumulations de sables qui se transforment en dunes et micro-dunes ou même en bourrelets de sables en fronts lorsqu'elles rencontrent un obstacle placé sur leur trajectoire, et qui constituent une menace pour les villages et hameaux, routes et tout particulièrement les périmètres agricoles à tel point que les agriculteurs ont relevé le risque par les mises en défens de leurs parcelles (les sillons, palissades, haies) , ces fronts constituent des pièges à sable, qui peuvent se développer dans le temps sur plusieurs mètres de haut en risquant d'ensevelir des espaces bâtis ou cultivés à mesure qu'elles avancent comme c'est le cas des maisons dans des douars isolés (Ex : maisons ensevelies de douar Bghaidia-Mostaganem).

Une question se pose à travers ces constatations. Quelle est la priorité ? convient-il de renforcer le système de protection contre l'ensablement ou faut-il reconsidérer les modes d'occupation du sol et de l'urbanisation ?

C'est dans cette partie que nous allons tenter de proposer quelques types d'aménagements et citer, ceux plus opérationnels ainsi que les méthodes traditionnelles qui ont fait leurs preuves, afin de réduire les dégâts causés par l'érosion éolienne et l'anthropisation dans le cordon dunaire dont l'avancée de sable est matériellement présente.

**Chapitre I : Les procédés de lutte contre le phénomène d'ensablement
d'origine anthropique**

La connaissance du milieu de la région et qui ne cesse de se dégrader, nous a conduit à proposer un type d'aménagement rationnel pour assurer sa protection, à travers des interventions de deux types liées à l'urbanisation côtière.

1. Aménagement approprié à l'anthropisation en cordon dunaire :

L'environnement, qui est le soin apporté à la nature et l'urbanisation littorale connaît une dégradation de ses composantes paysagères, effectivement mis en relief dans notre investigation. Cette urbanisation côtière argumentée par la politique de développement des activités touristiques, devrait s'envisager à travers la fréquentation raisonnée du territoire et du respect de l'équilibre naturel et social des espaces, en sensibilisant les visiteurs à la préservation du milieu.

1.1. Les mesures à prendre pour éviter un ensablement accéléré par l'urbanisation :

Faisons un bref rappel des dommages causés aux infrastructures de bases de la région.

Si le phénomène se manifeste timidement au niveau de certains bâtiments plus que dans d'autres, il est fortement présent et demeure menaçant pour le réseau routier, puisqu'il représente un risque permanent pour les usagers de la route. et les infrastructures de base de la région à savoir l'ensablement occasionné de :

- La nationale RN 11 qui relie la commune de Sidi Ali à Abdelmalek Ramdane.
- CW23 reliant la commune Mesra à Ain Tedles. CW42 et CW12, commune de Achaacha.
- Section de la RN90 et CW13 qui relie la commune Ain Tedles avec Sour.
- CW68, de Ain Tedles vers Kheir dine.
- CW42A reliant la commune de Bouguirat vers Souafli.
- CW42 Mesra .
- CW05 entre Mesra et Sirat.
- Groupe de 544 logements, Commune de Mostganem (le sable ruisselet)
- Réseau d'assainissement et pistes à Sayada et Sidi Mejoub ainsi qu'à Kharouba.
- Port de pêche de Sidi Lakhdar.
- Ensevelissement d'hameaux et de Douars (Achaacha et Sidi Ali).

Les installations urbaines sont réalisées dans la précipitation par d'un urbanisme de « consommation ». La Photo n°12 est un modèle concret de réalisation d'un tracé routier en plein système dunaire qui accélère l'apparition du processus d'ensablement dans les routes et le voisinage immédiat (forêt, terrain agricole, habitats).



Photos 12 : Construction des routes en plein milieu dunaire RN 11(entre Chlef plage et Esakhra)

Entre pratiques sociales et prévision du risque d'ensablement

Pour cette raison nous devons réviser nos façons de penser qui doivent porter des études sur le contexte urbain dans son cadre environnementale à savoir ;

- L'orientation et le sens du bâti et des travaux publics (PDAU).
- L'affectation des projets de constructions touristiques.
- L'application des études de POS et de la réglementation littorale.
- La gestion environnementale et paysagère.
- Les relations entre morphologie des bâtiments et milieu (sol, climat).

Plusieurs propositions peuvent constituer une résolution aux problèmes liés à l'ensablement parmi elles nous citons une technique fréquemment utilisée en Mauritanie schématisée dans la figure ci-dessous et qui pourrait constituer un bon frein à l'ensablement des routes et des périmètres irrigués situés au voisinage d'un cordon dunaire ; c'est la technique de palissade. Nous conseillons son application à l'échelle des zones qui subissent un ensablement.

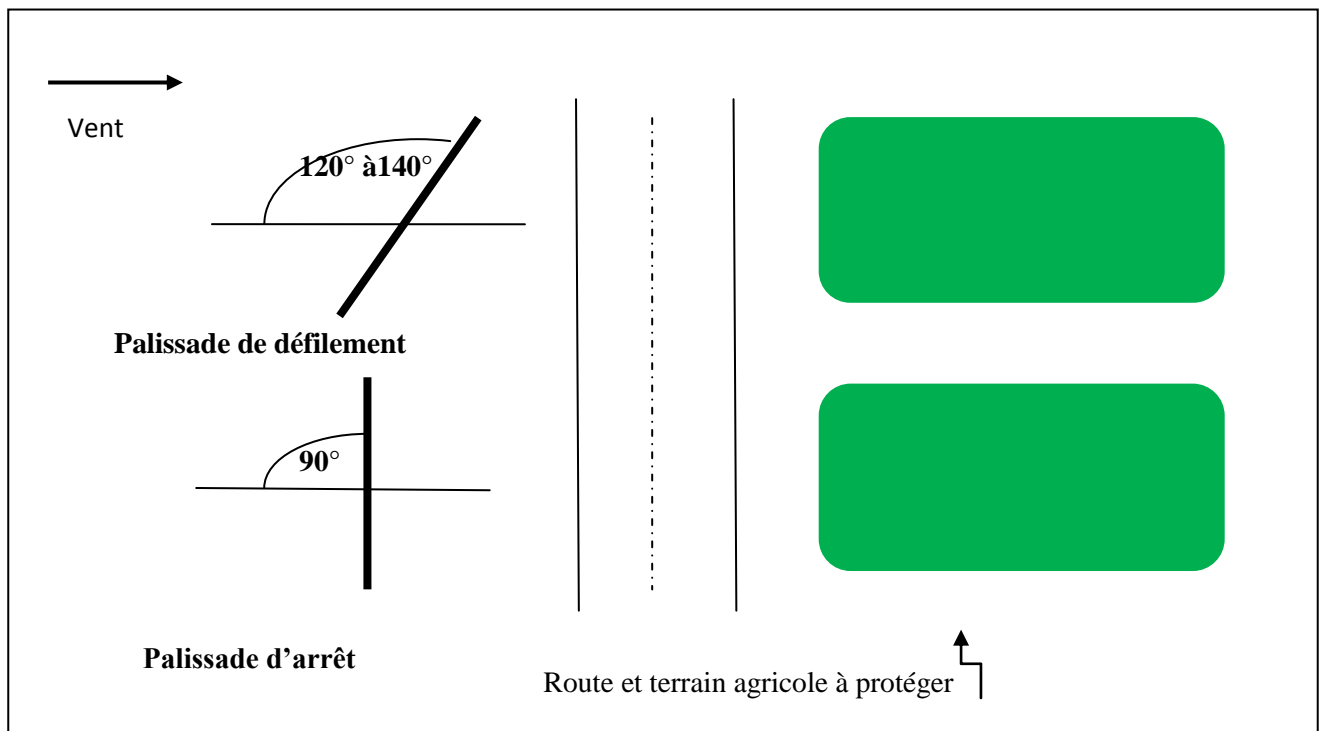


Figure n°39 : Disposition de palissade pour la protection de la route RN11 et les terrains agricoles environnants

Entre pratiques sociales et prévision du risque d'ensablement

La palissade est un obstacle linéaire opposé aux vents dominants pour en diminuer la vitesse et provoquer à son niveau l'accumulation du sable en mouvement. Cette accumulation aboutit à la formation d'une dune artificielle qui constitue la première phase de lutte contre l'ensablement.

Positionnement

Suivant le positionnement de la palissade par rapport à la direction des vents dominants nous distinguons deux types de dunes artificielles :

- La dune "d'arrêt" qui est destinée à arrêter la progression de sable aussi efficacement que possible. Elle se forme à partir d'une palissade orientée perpendiculairement à la direction du vent.
- La dune à "défilement" ou "diversion", utilisée pour dévier la progression du sable dans une autre direction que celle du vent dominant, se forme à partir d'une palissade dont l'orientation fait un angle de 120 à 140° avec la direction moyenne du vent dominant (fig.39).

La disposition en défilement est recommandée pour le cas des routes à condition de s'assurer que le sable détourné ne risque pas d'envahir d'autres sections situées non loin de la zone qui fait l'objet des travaux de protection (terrains agricoles), mais il s'agit d'un frein périodique.

Pour cette raison, résoudre définitivement le problème d'ensablement nécessite d'abord son traitement en amont (origine d'un dégât) pour réduire son impact en aval.

D'autres solutions ont été proposées par le scientifique Bourahla, et qu'il faudrait prendre en considération car c'est un fin connaisseur de la région avant qu'il ne soit un scientifique et qui a sonné l'alarme à plusieurs reprises sur la fragilité de l'écosystème mostaganemois.

Les photos 13 et 14 montrent clairement l'effet de cette anthropisation sur le cordon dunaire. Malgré qu'il y ait plusieurs lois et décrets qui obligent les collectivités locales à prendre des mesures appropriées à la protection du littoral (la loi littorale - 02-2002), les dommages anthropiques demeurent encore d'actualité.



Photo 13 : La destruction du système dunaire et la continuité du bâti



Photo 14 : Ensablement en plein route vers Sidi Mejdoub.
Cliché : Megherbi.W 06 février 2014

Voici quelques propositions correctives et préventives d'après Bourahla-2012 ;

En premier lieu, un inventaire est important pour relever les dégâts causés par les intempéries et sauvegarder les équipements qui n'ont pas été touchés avant même de lancer un programme d'actions. Il faut donc prendre dans ce cas là tous les facteurs en œuvre du bassin versant.

En second lieu, une opération de nettoyage des chantiers devrait être lancée afin d'éviter l'avancement du sable vers autres ouvrages et habitations.

Il faut repenser le réseau de ruissellement des eaux pluviales et stopper dans l'immédiat l'urbanisation en bordure de mer, aussi ralentir celle en cours afin d'empêcher l'ensablement.

Arrêter l'exploitation des sablières qui se trouvent en amont de Kharrouba.

Lancer une vaste opération de reboisement de toutes les zones dénudées, le long des routes y compris les espaces libres avec des espèces appropriées au milieu, tels que : les genets, les acacias et autres.

Consolider les berges et lancer une vaste opération couvrant tout le périmètre de connexion torrentielle avec un gabionnage répondant aux règles de l'art, prendre en charge immédiatement les affouillements auprès des immeubles, pour éviter d'éventuelles catastrophes.

Repenser les nouvelles directives et le tronçonnement des réseaux des eaux usées. La route de Sidi El Mejdoub gravement fragilisée doit faire l'objet d'un nouveau tracé.

Interdire toute bétonisation sur dunes (la destruction et/ou son rasage) ou même vers le trait de côte pour éviter par la suite l'ensablement et les inondations.

Enfin, le milieu naturel ne doit pas faire l'objet d'activités dispersées (exemple : les installations d'équipements touristique non programmées dans les POS, la réalisation des travaux à travers de différents bureaux d'études), les services techniques doivent réagir ensemble.

1.2. Dans le cas de la morphologie urbaine et comportement des vents :

Cette approche a été soigneusement menée et a fait l'objet d'une étude de mémoire mais qui devra être approfondie à travers des tests appropriés pour chaque type de site.

La forme du bâti notamment comme cité précédemment dans les deux premières parties est vecteur de ce risque, donc il est suggéré dans les POS d'étudier la relation entre le milieu (climat, sol et pratiques sociales) et typologie du bâti avant toute installation.

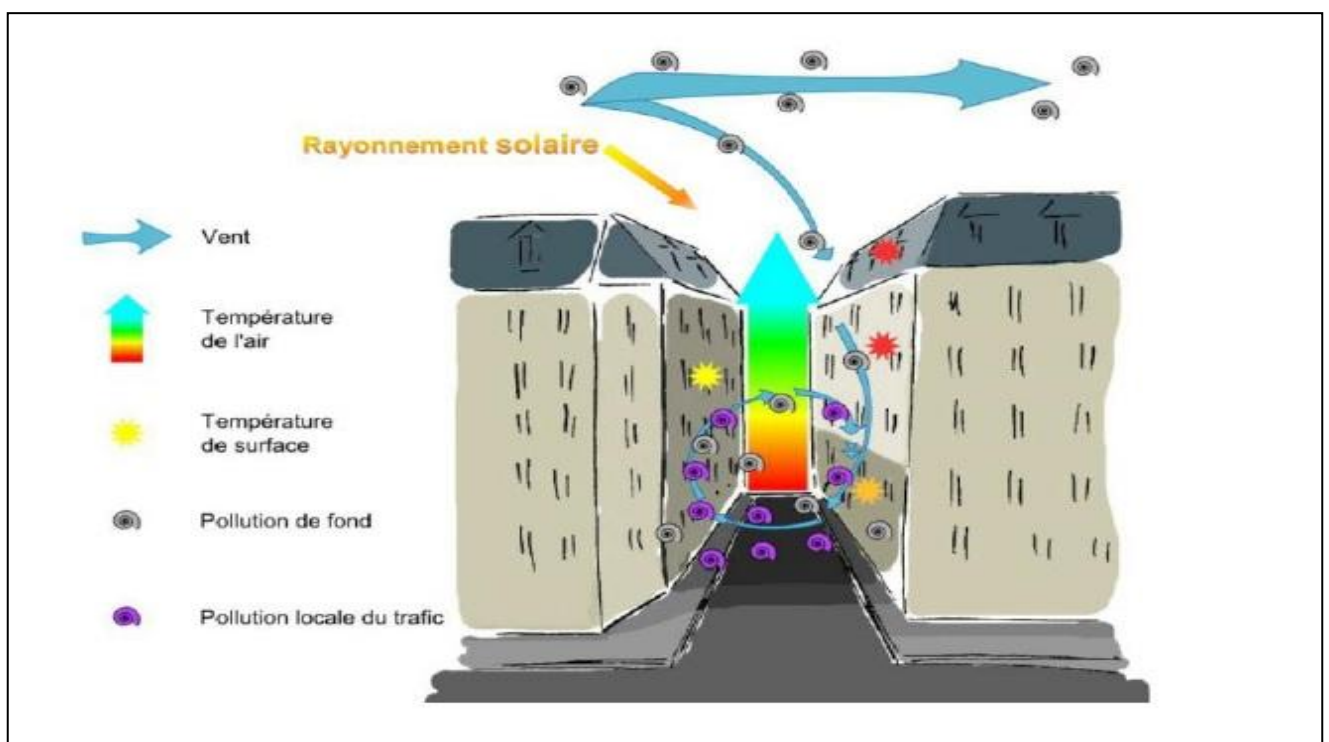


Figure n°40 : schématisation d'un comportement de vent perpendiculaire à une rue canions

La figure ci dessus présente la circulation d'un vent dans une ouverture poreuse perpendiculaire à la direction de la rue, Ce type de morphologie est déconseillée car il déclenche un comportement tourbillonnaire d'un vent devenant ainsi efficace surtout quand le secteur présente un stock de sable abondant, ce phénomène a été compris et bien étudié dans les tissus urbain sahariens.

1.2.1. La conception des constructions dans les anciens tissus Sahariens :

Dans l'ancien tissu urbain du Sahara les conditions climatiques (vent de sable, température..) ont imposé une morphologie correspondante au milieu. Les habitants ont réussi à adapter leurs constructions aux exigences du climat.

La ville de Biskra est un modèle réussi du savoir faire traditionnel qui se caractérise par éléments suivants ;

La directionnalité de la trame viaire ; les rues principales se trouvant à la périphérie de la ville sont orientée dans la même direction que le vent dominant pour permettre à l'air de se dégager sans accumulation de sable. Par contre les rues piétonne les places sont à l'abri des vents.

L'enveloppe du bâti; les bâtiments importants se situent à la périphérie de la ville avec un seul étage dont les surfaces exposées au vent fort et chargé de particules mais à l'intérieur de la trame urbaine constituent un écran de protection pour la ville.

Les habitations ; elles sont de différentes hauteurs à l'intérieur de la trame urbaine ; les plus hauts protègent les habitations à un seul niveau.

La porosité urbaine ; les habitations sont rassemblées d'une façon compact et dense.

La conception des constructions était selon le principe des cours intérieures qui constituaient des puits d'aération au sein même des maisons et les jardins extérieurs étaient des écrans protecteurs contre les fortes rafales des vents dominants. 90% de la surface était consacrée aux jardins et palmeraies par rapport à la superficie totale, le reste représente les constructions, la voirie et les surfaces cultivées ou jardinées.

Si ces solutions assurent positivement de meilleures adaptations aux conditions rigoureuses du climat, pourquoi ne pas appliquer ce savoir-faire traditionnel à la région étudiée, spécialement dans les zones sensibles qui subissent des dommages suite à une intense dynamique urbaine en présence des vents importants et de sable mouvant? même si nous ne retrouvons pas dans le même écosystème ?

Bien sûr une modernisation de l'espace bâti et un respect des caractéristiques paysagères du milieu étudié est à recommander.

Entre pratiques sociales et prévision du risque d'ensablement

L'image de google earth a été spécialement choisie pour démontrer à quel point la morphologie urbaine peut aider à l'avancement du sable par l'accélération de la vitesse des vents. La zone d'Oureah a été prise comme exemple pour adopter un aménagement adéquat à ce genre de tissu urbain.

L'occupation du sol que montre la figure n° 40 nous indique une trame urbaine non compacte dans un milieu dunaire fragilisé par la bétonisation. Ces constructions se caractérisent par des hauteurs hétérogènes dans un système urbain peu organisé. Les travaux en cours de réalisation indiquent une continuité et une conduite vers une typologie urbaine très chahutée.

Le seul avantage qui s'offre, c'est l'écran vert de la forêt de Stidia. Elle forme jusqu'à présent un bon rideau protecteur contre les poussières de sable arrivant par le côté Ouest sauf que ces derniers temps certaines zones ont été ravagées par les flammes, (Sept hectares de pin d'Alep détruites par l'incendie, Réflexion 07 juin 2014) ce qui a favorisé la redynamisation de l'action éolienne. Le reste du massif forestier a été sauvé de justesse par l'intervention rapide des citoyens habitant les fermes agricoles voisines, heureusement il ya une population consciente de la gravité de cette perte du couvert végétal.

Nous avons élaboré un plan d'occupation du sol à partir de l'image satellitaire Google Earth par le biais du logiciel Studion-max 3DS afin de visualiser le mouvement de sable dans cette zone présentée en trois Dimensions.

Si nous ne pouvons rien faire pour modifier les conditions climatiques, nous pouvons au moins diminuer la vitesse des vents et cela par une meilleure compréhension du comportement des vents et par la conception d'une morphologie urbaine plus adaptée.



Figure n°41: Plan d'occupation du sol de la zone d'Oureah numérisé à partir de Google Earth

1.2.2. Ouréah, zone urbaine à risque, Conception et proposition d'aménagement :

Suivant la rose des vents (Cf. Annexe), les directions les plus venteuses et les plus efficaces en termes de mouvement de particule de sable sont celles N, d'O, d'OSO et NNE.

➤ Le vent froid du Nord et de l'Ouest ;

Dans cette direction, une densification du couvert végétal par la plantation de jeunes arbres est essentielle afin de permettre une régénération de l'écran forestier, qui pourra par la suite protéger les terrains agricoles avoisinants à travers la réduction de la vitesse du vent et leur déviation.

➤ Les vents d'Ouest, Sud-Ouest ;

Ce vent est chargé de sable en provenance des dunes littorales ; au sud-ouest l'escarpement de Mazagran qui constitue un méga-obstacle naturel contre l'écoulement des vents et, à cela s'ajoute la forêt de *Stidia* qui résiste encore à la provenance du sable du côté ouest, tandis que la partie face au vent du sud devrait favoriser des brises-vent naturels afin de freiner l'efficacité du vent.

➤ Le vent Nord, Nord- Est ;

Une protection naturelle est absente de ce côté-ci, les surfaces agricoles non protégées subissent un arrachement des particules fines de la partie sommitale du sol d'où le processus de déflation. Les habitations exposées à cette direction connaissent un ensablement fréquent aux pieds de leurs portes.

Pour ce qui est de la lutte contre l'ensablement, elle ne se base pas uniquement sur un écran protecteur mais aussi sur la morphologie du bâti.

Les édifices urbains sont plus nombreux dans la même direction de ces vents avec une dissémination des hauteurs de ces constructions. Facteur perturbateur de la vitesse du vent, la charge en grain de sable augmente suite à l'abondance du sable (Sable marin et sable du plateau). Ce dernier s'accumule dès la rencontre d'un obstacle et variabilité dans les hauteurs de leurs constructions. Cette scène est fréquente dans les nouvelles constructions situées à Ouréah.

Nous préconisons une révision des plans d'aménagement dans une perspective d'éco-développement et peu consommatrice d'espaces urbanisés. La morphologie, l'installation du bâti doit se faire selon un principe de structure urbaine compacte, avec de petites ouvertures et le tissu ne doit pas être poreux. La rue principale devrait être conçue parallèlement à la direction des vents dominants afin d'éviter des accumulations sableuses à l'intérieur du tissu.

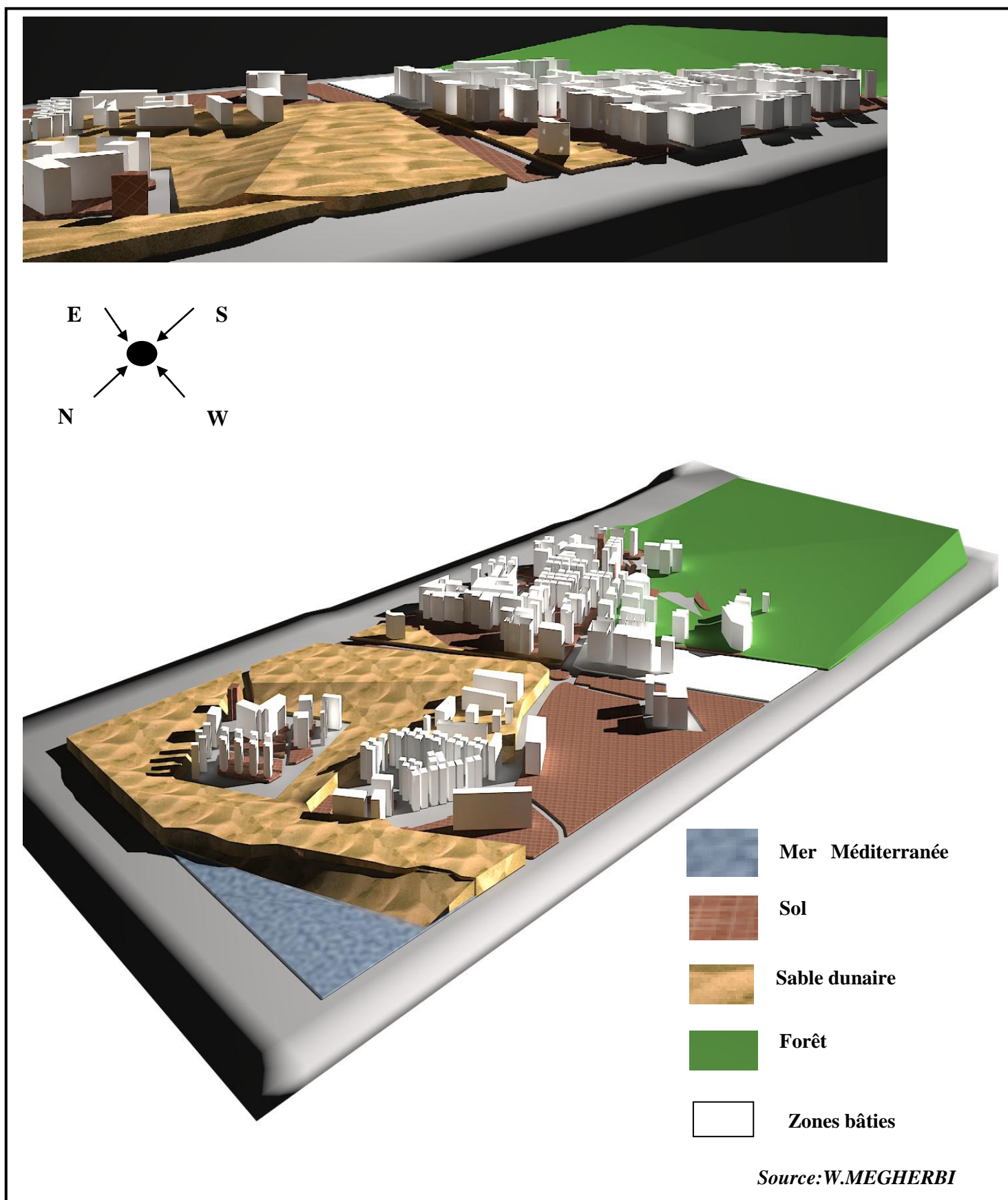


Figure n°42 : Visualisation de la zone de Oureah en trois dimensions avec studio max 3DS

Comme cité précédemment, la morphologie urbaine en relation avec le climat littoral n'est pas prise en considération dans les plans d'aménagement et d'urbanisme. Les sols sablonneux, le vent sont des éléments qui constituent un risque lorsqu'ils sont exposés à une extension urbaine et à une morphologie inadaptée au milieu. À cet effet nous avons cru utile de proposer un modèle sur des méthodes de constructions plus adéquates pour les régions sensibles au processus d'ensablement en respectant l'aspect urbanistique de la zone et toute en préservant l'écosystème. La conception de cet exemple est schématisé à l'aide des observations terrain et surtout par de différentes lectures préconisées par des scientifiques sur le confort thermique et l'écoulement éolien dans les espaces urbains et ruraux, nous citons ceux des K.Athamina-2012, Ganderman-1976, Raymond-1985, à savoir ;

- ✚ L'orientation des structures bâties permet de déterminer le régime de vent et de contrôler sa vitesse. Les rues doivent être conçues parallèlement à la direction des vents dominants.
- ✚ Pour éviter tout type de comportement efficace du vent (vent tourbillonnaire qui accélère le déplacement de grains de sable vers le voisinage), éviter les formes poreuses au sein des tissus urbains.
- ✚ Les façades d'habitation doivent tenir compte de l'ensoleillement et de la direction des vents de la région. (K.Athamina,2012)
- ✚ Eviter les bâtiments à morphologie hétérogène. Les fortes hauteurs sont déconseillées dans un cordon dunaire. En effet, plus les bâtiments sont hauts, plus le vent est turbulent et plus la taille de la place est grande, plus l'intensité du vent augmente.
- ✚ La forme compacte du tissu avec des ouvertures inférieures à 0.25 fois son périmètre est recommandé pour moins de risque d'ensablement et pour plus de confort pour les habitants (Ganderman, 1976), les formes urbaines isolées et dispersées des grands ensembles créent des perturbations et entraînent des accélérations d'air ainsi que de nombreux mouvements tourbillonnaires notamment aux pieds et à l'angle des immeubles. Ces écoulements sont critiques pour le confort au niveau du piéton et ne sont guère favorables à la stabilité du risque d'ensablement.
- ✚ L'implantation des écrans protecteurs de végétation aux alentours des édifices urbains est très utile dans les milieux sableux. (Raymond, 1985)

Entre pratiques sociales et prévision du risque d'ensablement

Selon ces critères et sur la base de nos connaissances sur le milieu, nous avons opté pour une morphologie compacte à des niveaux similaires qui ne dépasse pas les 10 mètres où l'orientation face au vent des rues est parallèle au mouvement de la dune et à l'écoulement éolien. Aussi des plantations d'arbres fixatrices des sols dunaires autour du périmètre de l'édifice urbain furent nécessaires afin de freiner le transit du sable. Il en est de même pour l'assemblage de brises vents avec ces plantations et dont la présence est nécessaire pour protéger la pénétration des grains de sable à travers les ouvertures des ruelles (figure n°43), donc la formation de micro dune au sein de l'édifice lui-même.

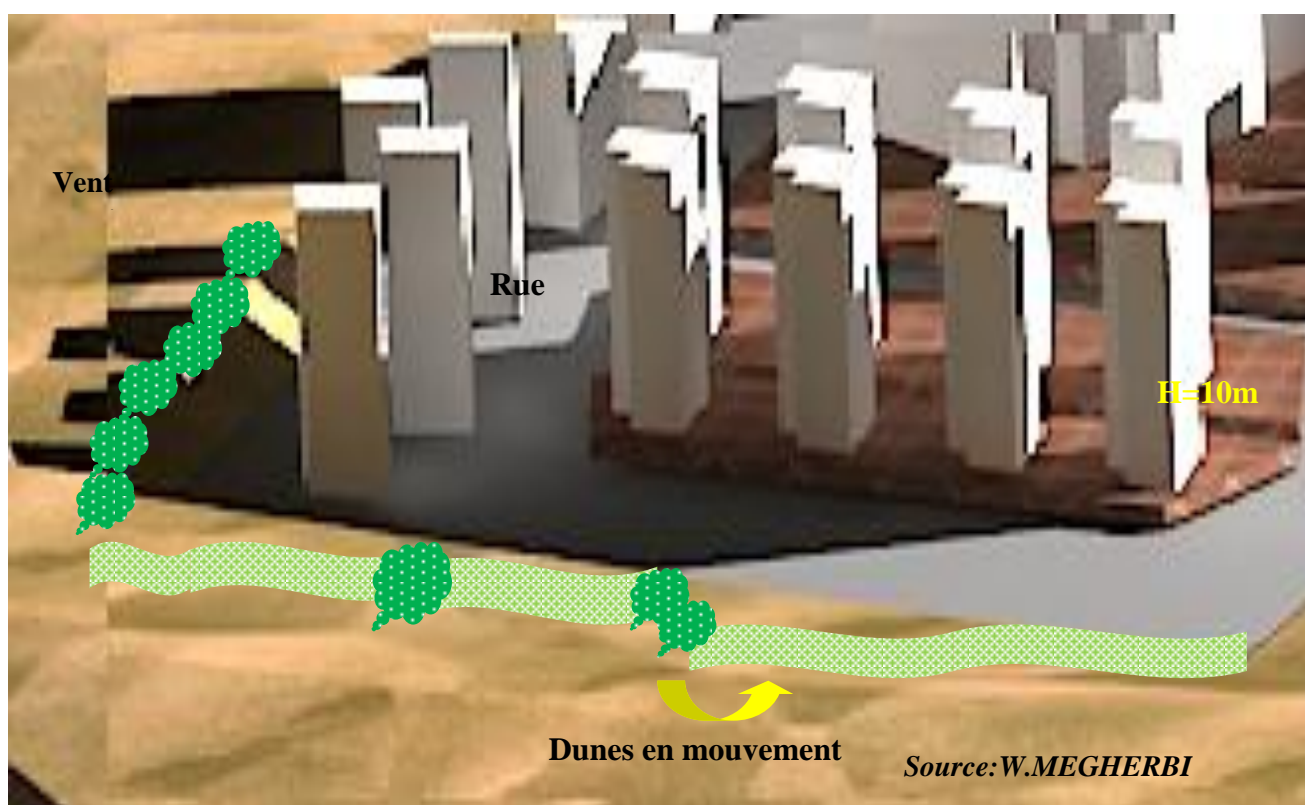


Figure n°43 : Proposition d'un model de bâtis conforme aux zones d'ensablement par le biais de Studio max3D ; exemple de Oureah

Ces propositions dans les systèmes dunaires permettent la prévention contre l'ensablement qui est dû, d'une part, au ruissellement des eaux de pluie et d'autre part de l'érosion éolienne accélérée par une morphologie urbaine inadaptée.

Ainsi, l'urbanisme dans la région de Mostaganem doit se développer à partir de différentes modalités : conditions climatiques, savoir-faire traditionnel, organisation sociale, emploi de matériaux locaux et la conjonction d'autres facteurs qu'il faut prendre en considération.

L'aspect climatique où bien microclimat mérite d'être plus valorisé dans les projets de construction. Lorsque l'intégration de ce type d'étude dans les plans d'aménagement deviendra une nécessité, le paysage et le climat détermineront une architecture et un urbanisme plus adapté.

1.3. La flore, une protection naturelle en disparition : proposition et solution

L'anthropisation, depuis longtemps, a fait perdre à la région des espèces naturelles qui constituaient auparavant une protection pour le littoral où la dune était le seul milieu d'adaptation. D'après Belgat, la déforestation coloniale a atteint un stade de régression sans précédent citées par plusieurs auteurs dont Gentis de Bussy et le général Pélissier de Reynaud.

« Sur le point de vue agricole, le territoire de Mostaganem et celui de Mazagan, offriraient de grands avantages à la colonisation. C'est un pays délicieux mais que nous avons rendu désert et que nous dépouillons chaque jour de sa riche végétation. Partout où nous nous établissons en Afrique, les hommes fuient et les arbres disparaissent » le général Pélissier de Reynaud

Dans la dernière décennie, la concentration humaine dans le littoral ne fait qu'aggraver une situation déjà alarmante. Nous avons pu remarquer à travers le résultat du traitement des images satellitaires que certains endroits connaissent une régression de la végétation ; par contre une progression nette dans d'autres, surtout dans les dunes aménagées par la fixation biologique, mais l'impact désastreux de l'ensablement sur les milieux agricoles et urbains demeure visible et présent.

Cette régression continue de la végétation dans certains lieux par rapport à d'autres est expliquée par l'accroissement :

- Des édifices urbains et par le surpâturage à un degré moindre,
- Des activités d'extraction du sable dunaire, légal (Carrière de Sidi Lakhdar) et illégal (Carrière de Kharouba).

Cette extraction est parfois poussée jusqu'à la roche mère mettant en échec les efforts pour la fixation dans le cordon dunaire. Le vent est donc alimenté par les particules sableuses qui sont de nouveau remobilisées. (Taibi,2012) figure n°44. À cela s'ajoute les coupes illicites, les incendies répétés rendant ainsi difficile la régénération du couvert végétal.

En effet, il existe environ une dizaine d'espèces végétales considérées comme en voie de disparition, parmi celles-ci nous citons d'après Lebdaoui :

- ✓ *Matthiola tricuspidata* L, Elle se développe généralement sur les sables maritimes,
- ✓ *Corynephorus oranensis*, Elle vient sur les dunes fixées après intervention biologique (branchage sur dunes de l'Oued Abid)
- ✓ *Salsola soda* Ovest , C'est une plante Halophyte, elle se développe sur les dunes inondées.

Entre pratiques sociales et prévision du risque d'ensablement

- ✓ *Euphorbia peplis* L., L'euphorbe péplis est une plante annuelle rampante, elle vient sur les dunes non calcaires.

Ces espèces rares constituent une flore protectrice pour les sols littoraux, des mesures en ce sens doivent faire appel à :

- Classer ces plantes dans les espèces menacées de disparition,
- Interdire toute forme de prélèvement et sanctionner tout acte délictueux,
- Créer des zones de protection intégrale, interdisant toutes formes de piétinement,
- Créer une banque génétique, récolte et conservation des graines pour pouvoir Reproduire les espèces dans d'autres endroits.

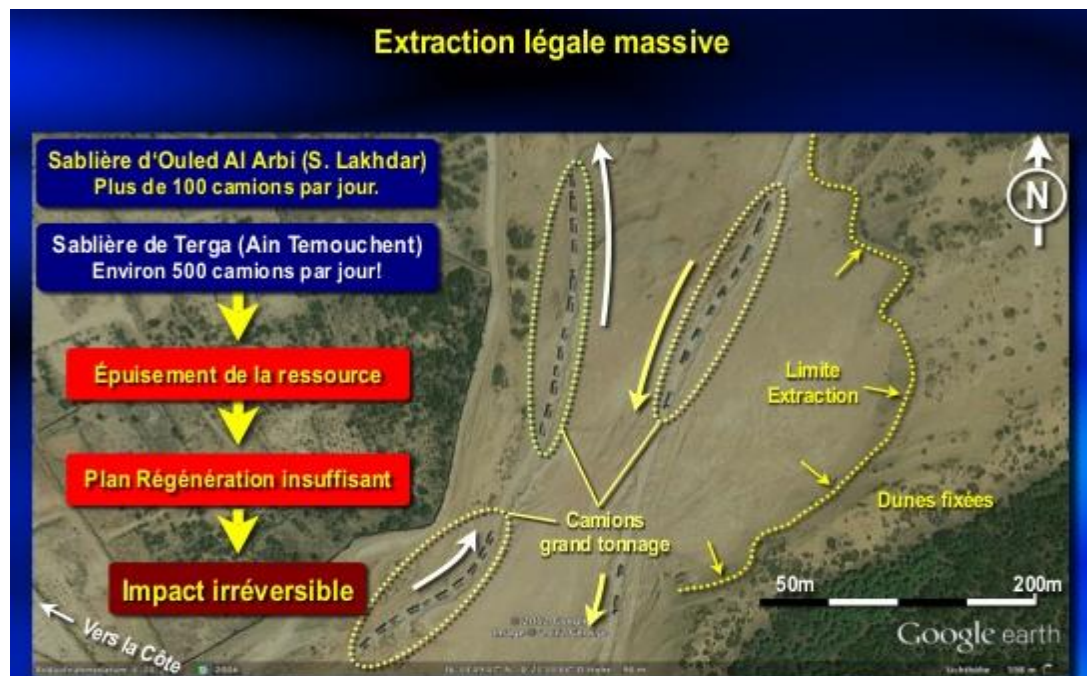


Figure n 44 n ° : Ensablement et disparition de la végétation fixatrice des dunes suite aux effets des extractions massives du sable cas de Ouled Al Arbi -Sidi Lakhdar.

Source : Taibi 2012

1.4. La participation citoyenne : une nécessité pour lutter contre l'ensablement :

L'élaboration d'un programme de lutte contre l'ensablement et la diminution des risques liés à la destruction de dunes nécessitent la participation des populations à l'élaboration des documents d'urbanisme.

Bien que des procédures de concertation et d'enquêtes publiques soient inscrites dans les obligations réglementaires du code de l'urbanisme, la participation du public dans la démarche de conception n'est pas effective. Les urbanistes considèrent cette participation comme une perte de temps et de moyens. Les opposants indifférents à l'intérêt collectif ont tendance à oublier que c'est le citoyen qui est concerné, en premier lieu, par les affectations des plans d'aménagement et d'urbanisme.

Au moment de la préparation d'un projet et sa définition, les habitants s'intéressant aux outils de l'urbanisme doivent être informés pour pouvoir s'exprimer car cela rentre dans leur cadre de vie et leur environnement.

Les expériences américaines ont donné de bons résultats en termes de la participation citoyenne pour l'élaboration des plans d'aménagement tout en préservant le milieu. D'après l'auteur Saul Alinsky, trois facteurs sont essentiels pour une bonne participation ;

- ✚ l'intérêt personnel. Il est nécessaire de comprendre le sens de la participation pour un individu donné.
- ✚ le pouvoir par l'organisation. Seul, il est difficile de se faire entendre. La représentativité se développe avec l'organisation de l'expression citoyenne.
- ✚ le conflit. Les oppositions nourrissent les débats, se concertent et arrivent, à des compromis acceptables pour tous.

D'autres techniques de lutte peuvent constituer une solution aux problèmes des routes et bâtiments, mais le plus souvent sont utilisées dans la protection des parcelles agricoles au voisinage des zones dunaires. Nous allons les expliquer dans le deuxième chapitre de cette partie qui est consacré aux aménagements liés à la fixation de dunes.

Entre pratiques sociales et prévision du risque d'ensablement

Chapitre II : Les types d'aménagements existants et propositions de lutte.

Dans le but de sauvegarder le milieu qui ne cesse de se dégrader et protéger les terrains agricoles et les habitations environnantes une action de lutte doit être menée.

À l'échelle de la région de Mostaganem la lutte contre l'ensablement date du XIX^e siècle, le reboisement de certaines espèces fixatrices des sols dunaires était le premier essai.

La forêt de Stidia est le résultat des premières expériences de reboisement d'*accacia cyanophyllia* et *pinus haepensis* en 1884, de petits essais sur l'agave textile date de 1901. Tandis que pour le reboisement d'eucalyptus, ce fut à grande échelle dans la forêt de Bourahma (Smahi-2002) mais jusqu'aux années quarante (1948) afin de protéger le vignoble de l'ensablement.

Les résultats obtenus par le biais d'imagerie satellitaire ont indiqué qu'il y a une densification des zones boisées en 2011 par rapport à 1987, observée différemment d'une zone à une autre le long du littoral, mais par manque d'entretien et sous l'effet anthropique, ces étendues de surfaces boisées se sont détériorées en créant des vides entre les arbres (accélération des vents) et les dunes se remobilisent vers les secteurs agricoles du Plateau.

Cette évolution de la superficie reboisée s'explique par le programme de fixation de dunes qui a été lancé par les services forestiers en 1982. Dans la même année la technique de clayonnage a été utilisée sur une superficie de 343 hectares.

Ces efforts pour ralentir le risque d'ensablement ont donné de bons résultats, mais temporairement au vu de la dynamique du processus et l'impact de l'anthropisation dans le cordon dunaire qui demeure délaissé dans les plans d'aménagements, donc la poursuite d'une politique de reboisement nécessite un effort continu et une collaboration entre les différents services afin d'agir dans le même sens.

2.1. Les procédés de lutte dans les secteurs sensibles :

Le littoral dans son ensemble est un secteur sensible possédant un géo-système dunaire fragile. De l'Ouest à l'Est, la côte subit une dynamique éolienne qui nécessite une protection de son arrière pays dunaire afin de préserver les parcelles agricoles de la Salamandre et des Sablettes.

À Stidia les parcelles se trouvent protégées par le domaine forestier, celles de l'Est de la ville sont menacées beaucoup plus à l'exception de quelques unes ayant des haies et des sillons.

La forêt domaniale de Bourahma et Djbel Diss peuvent constituer une protection notable pour les surfaces agricoles environnantes.

Pour l'arrière dune (parcelle agricole côtière) nous recommandons la méthode d'irrigation par cylindre ainsi qu'une fixation mécanique.

.Pour les surfaces agricoles à l'intérieur du plateau près de la région d'Ain Tedles et Mesra vers bled Touahria, Souafliia, Safsaf, la technique préconisée est celle de pierre à turbulence.

2.1.1. La technique par fixation mécanique :

La palissade ; le principe de cette technique repose sur l'utilisation d'obstacles qui s'opposent au vent et l'obligent à déposer sa charge. Selon l'orientation de la palissade par rapport à la direction du vent : elle est soit une "Palissade d'arrêt" quand celle-ci est perpendiculaire au vent, soit une "palissade de défilement ou diversion" dans le cas où elle est placée en biais par rapport au vent. La nature de la palissade diffère selon les matériaux utilisés. Elle peut être d'origine végétale ou synthétique (figure n°45). La stabilité de la palissade face à l'agressivité des vents impose une certaine perméabilité. Cette technique est la plus souvent utilisée dans les routes menacées par l'ensablement comme il a été précisé précédemment.

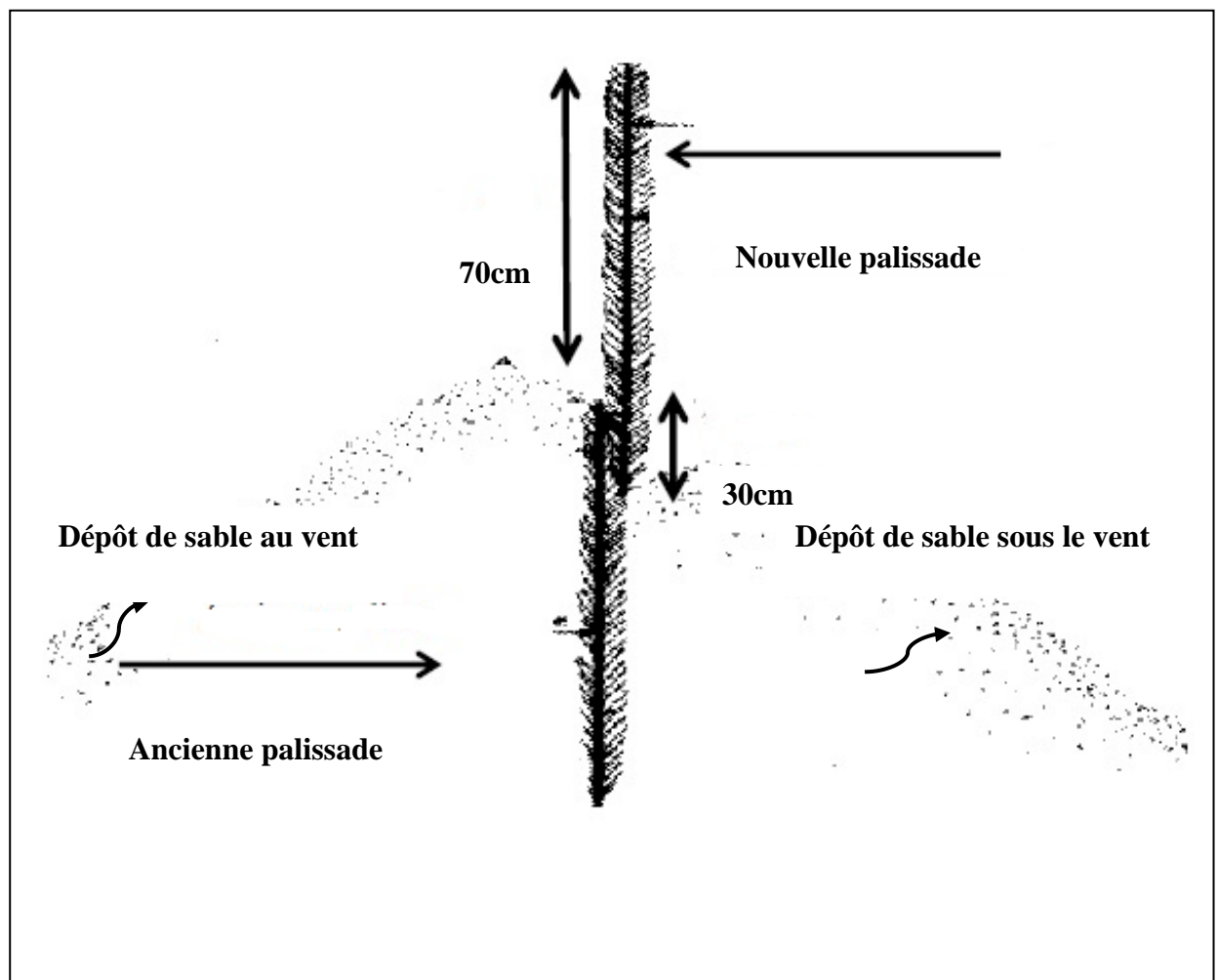


Figure n°45 : Rehaussement de la palissade après accumulation des dépôts de sables F AO 1988

Le clayonnage ; Il est utilisé dans le Plateau par les services forestiers et a donné de bons résultats, pour cette raison nous conseillons son application aussi dans ce secteur. Cette méthode se déroule comme suit d'après Smahi:

✚ Claies inertes

Des piquets en bois sont enfoncés solidement dans le sol à une profondeur de 0,6 m, espacés de 5 m entre eux et s'élevant à une hauteur de 1,5 m. Le vide "inter piquets" sera fixé par branchages et disposés transversalement sur une hauteur dépassant le mètre.

Les claies sont mises selon un quadrillage de dimension de 30 m par 30 m, orientées perpendiculairement à la direction du vent dominant d'Ouest.

✚ Claies vives

Elles sont mises en place à l'intérieur du périmètre circonscrit par les claies inertes, constituées par des rangées de plantation de *saccharum* qui s'installe facilement en l'absence de couverture protectrice du sol et disposées en quadrillage de dimension de 10 m par 10 m. Les claies vives auront les mêmes orientations que les claies inertes, plantées en lignes continues.

Il est suggéré que l'usage de la technique de clayonnage soit accompagnée par une plantation à caractère adaptatif qui permet d'assurer un recouvrement permanent des dunes. *L'accacia cyanophilla* est l'espèce préconisée dans ce secteur sensible au vu de sa résistance à la sécheresse, au sol sableux, sa rétention en eau etc.. Aussi avant de procéder à la mise en place ce clayonnage, il faudra penser à la création d'une dune artificielle qui servira à stopper les sables qui alimentent les dunes à protéger. Pour cela, il est conseillé de construire parallèlement à la mer des palissades de branchage (J. Gréco -1966) non jointives à une distance de 50 à 200 m du périmètre à protéger. Au fur et à mesure de leur ensablement de nouvelles palissades seront édifiées sur le sommet de la dune. Par une série de cordons de branchages placés aux endroits convenables, nous arrivons à donner à la dune la hauteur et le profil que l'on désire.

Cette zone sensible (zone côtière) est très fréquentée, surtout durant la période estivale, l'installation des couloirs de passages seront d'une grande utilité pour protéger les parcelles traitées.

2.1.2. La technique par fixation biologique:

Elle peut se réaliser sur front dunaire en vue d'assurer la fixation définitive, comme elle peut être utilisée en zone de déflation pour arrêter la progression du sable. Toute plantation devra nécessairement tenir compte du choix des espèces pouvant s'adapter à ce milieu et de la profondeur de l'humidité résiduelle des couches sous-jacentes.

La méthode d'irrigation à l'aide du cylindre pour le reboisement des sols dunaires dénudés est utilisée surtout lorsque les pluies tombées sont insuffisantes pour assurer la jonction avec l'humidité résiduelle et permettre ainsi aux arbres nouvellement installés de s'affranchir d'un horizon sec qui empêcherait les racines d'accéder aux couches humides profondes. (H. Khatteli, 1994).

Cette méthode de lutte a donné de bons résultats dans notre zone mais cela nécessite un entretien permanent des plants et une protection contre les coupes délictuelles et les pâturages.



Photos n°15 : Travaux de fixations biologique de dunes au niveau de Ouréah 2004



Photos n°16 : Résultat de la fixation biologique des dunes au niveau de Ouréah 2014.

Source : W. MEGHERBI

2.1.3. La technique des pierres à turbulence : (figure n°46)

Elle utilise le vent comme moyen de lutte contre l'ensablement mais elle est moins fréquente car l'exploitation du vent pour évacuer le sable n'est pas vraiment toujours bien réussie. Mais si cette technique est maîtrisable nous recommandons qu'elle soit applicable dans les dunes qui longent les axes routiers car elle entraîne l'évacuation du sable et freine toute accumulation.

Le principe de cette technique consiste à disposer des pierres de 20 à 30 cm de diamètre le long de la crête de la dune à faire disparaître et sont séparées les unes des autres par une distance pouvant varier selon l'éloignement du lieu d'approvisionnement de 0,5 à 1 mètre. Lorsque le vent dynamique souffle, des turbulences se créent au niveau de chaque pierre et donc il y a déflation et creusement par la suite, le sable est remobilisé.

Nous conseillons son application dans le cas de notre zone d'étude surtout dans les secteurs fragiles. Cette technique a donné de bons résultats en Mauritanie. Nous proposons de l'utiliser à titre expérimental, avant de la généraliser.

2.2. Le retour du vignoble et différents moyens de lutte contre l'ensablement: (fig. n°47)**2.2.1. La reconstitution du vignoble avec brise-vent :**

Sa reconstitution dans la région ne pose de problème, puisque l'adaptation du vignoble aux conditions écologiques locales n'est plus à démontrer dans la région de Mostaganem. Depuis 1999, plus de 8 000 ha de vignoble ont été plantés alors que la superficie totale de viticulture ne dépassait pas les 2 000 ha, cependant c'est incomparable avec les 50 000 ha de vignoble plantés avant l'indépendance.

L'insertion de cultures intercalaires (entre rangée du vignoble) comme le seigle servira comme brise vent au printemps.

2.2.2. Le reboisement de l'arganier :

L'Arganier, arbre forestier, fourrager et fruitier, ressemble par son port à l'olivier. Il assure plusieurs fonctions économiques, sociales et écologiques. Plus de 200 hectares d'arbre d'arganier ont été introduits à l'échelle de la zone de Stidia en 2012. Pour des raisons beaucoup plus écologiques, nous proposons sa généralisation à l'ensemble du plateau car il est considéré comme un arbre de provenance locale.

« L'Arganier est observé dans le Sud-ouest de la wilaya de Tindouf, depuis le Djebel Ouarkziz, jusqu'à Hamada. En plus, six autres sujets, sont rencontrés dans le plateau de Mostaganem, et un sujet bien venant dans la wilaya de Mascara » (Milagh, 2007).

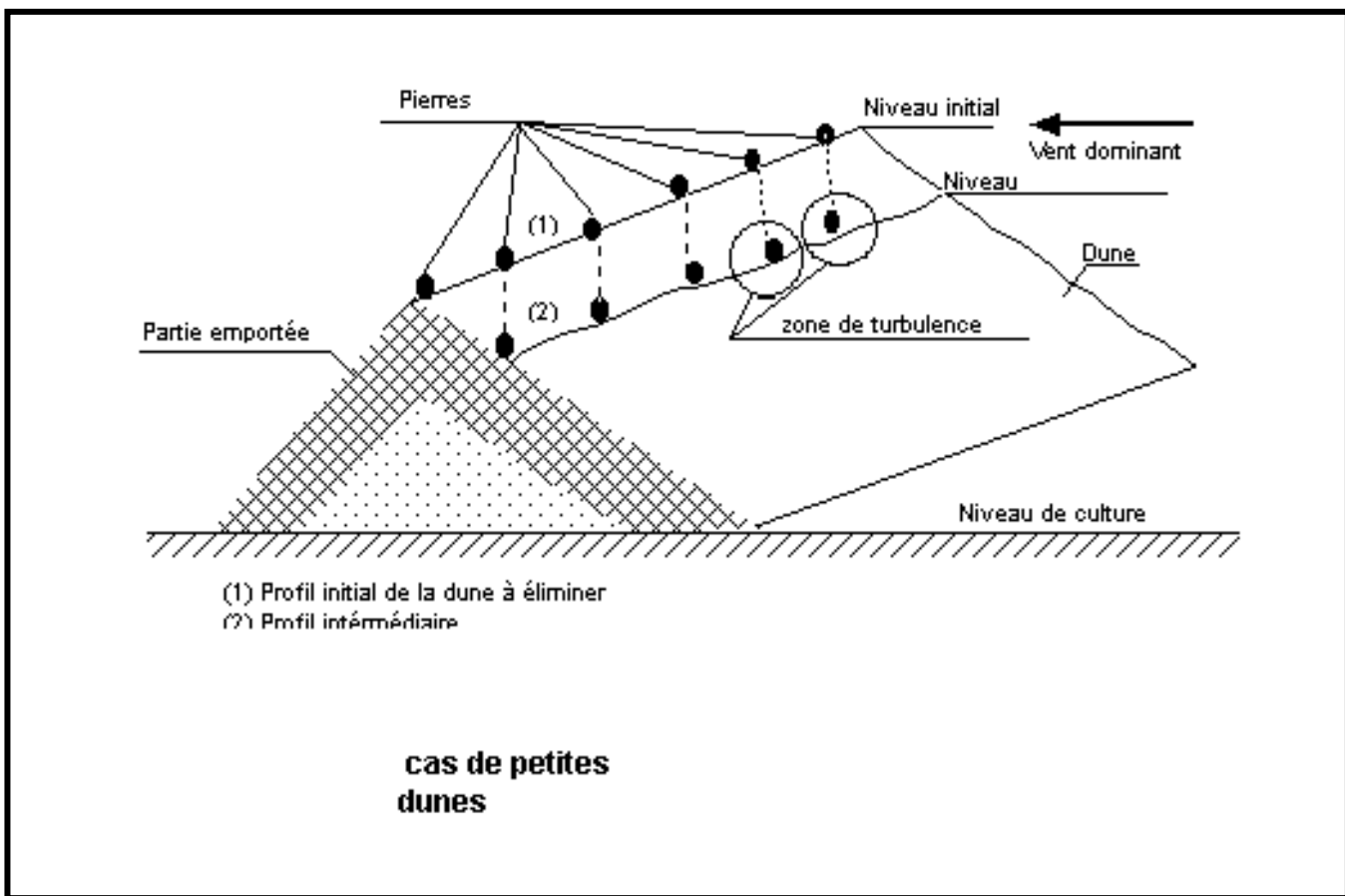
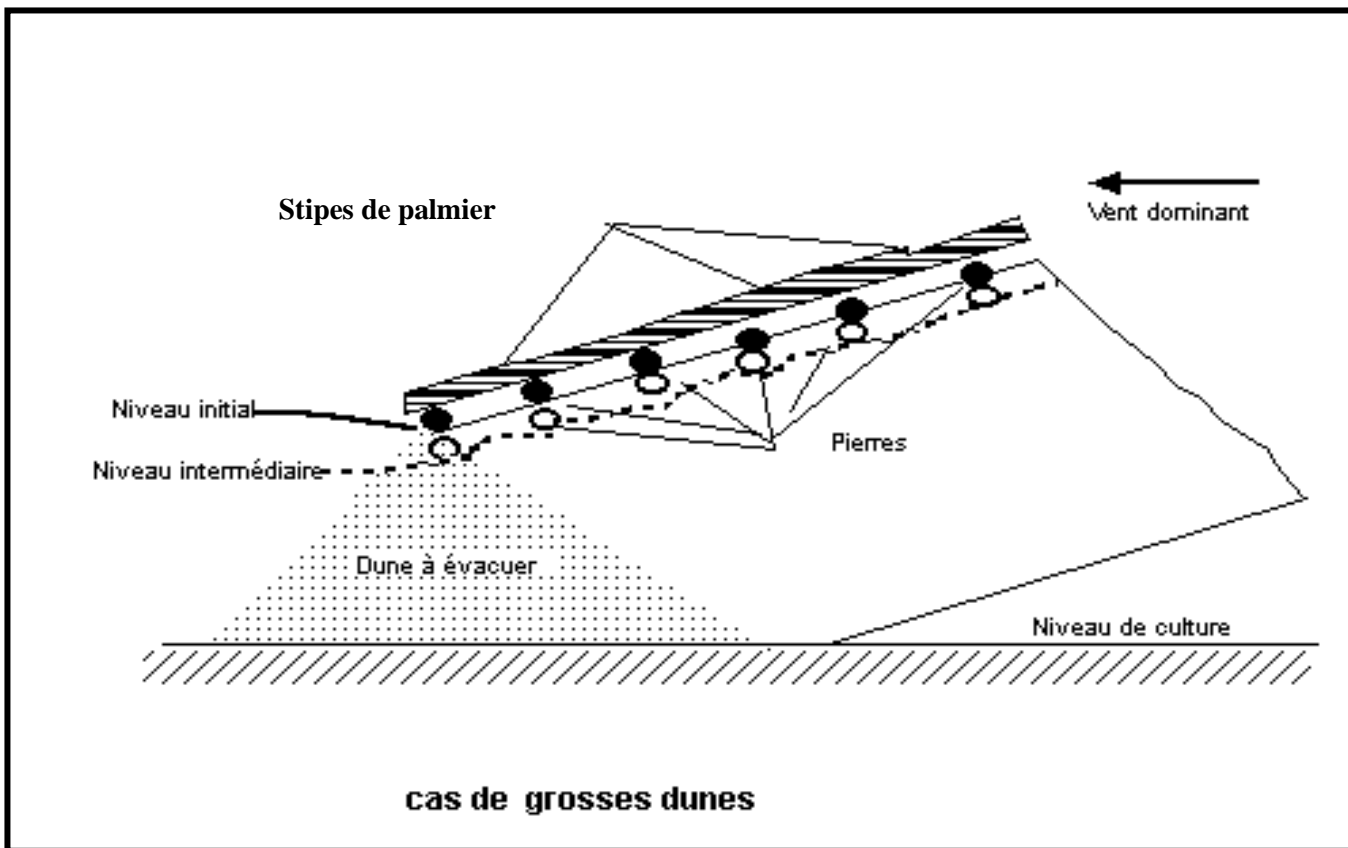


Figure n °46 : TECHNIQUE DE PIERRE A TURBULENCE

Utilisée dans le sud Marocain d'après B.BENSALEM, 1983

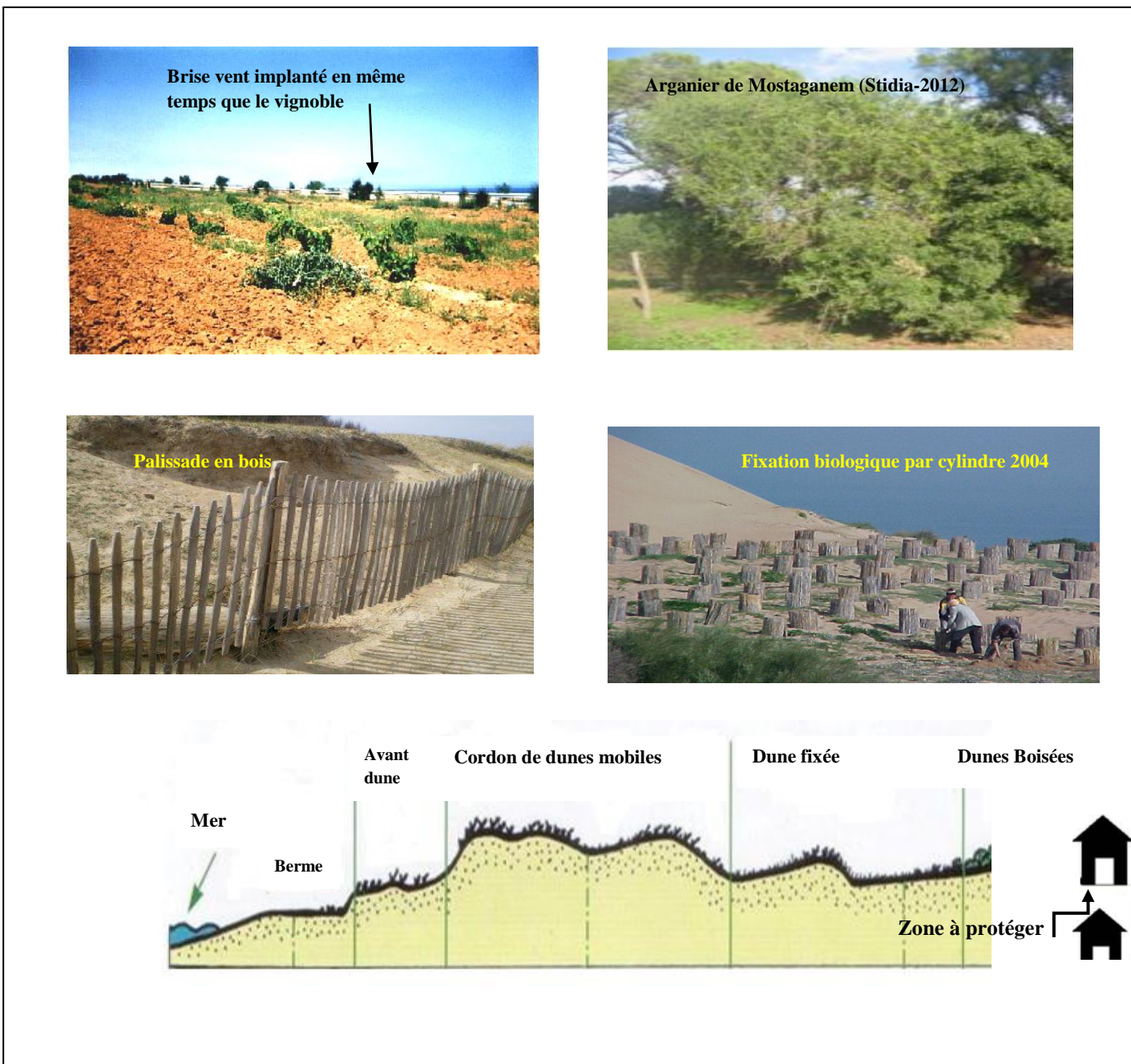


Figure n°47 : Moyens de lutte pratiqués avec succès dans la région de Mostaganem

2.2.3. Autre moyens de lutte :

- La rotation des cultures, favorise la reconstitution de l'humus dans le sol qui permet la constitution des agrégats stables résistants à l'érosion éolienne (Guyot,1964).Dans notre cas nous proposons une rotation triennale ; céréaliculture, jachère, légumineuse.
- La protection et la conservation contre l'ensablement peuvent être aussi envisagées par l'implantation d'un rideau brise vents constitué de ; *casuarina*, de *cyprés* et pour un gain de temps de l'espèce *recinus communus* (à croissance rapide).
- Le choix de type de machines agricoles est important.
- Réglementation des pâturages : d'après Nahal (1975), et Fournier (1972), il faut Interdire complètement le pâturage dans des zones sensibles à l'érosion éolienne et, régler la charge pastorale et mettre en défens quand cela est nécessaire.
- Amélioration de la rétention en eau de matériaux sableux par ajout de la bentonite : Les propriétés fondamentales de la bentonite ou du oasis polymère ont une capacité au gonflement et à l'augmentation de volume au contact de l'eau.

Cette solution est intéressante car il existe un gisement de bentonite à 17 km de la ville de Mostaganem. (un autre gisement se trouve à Maghnia à l'Ouest du pays).

Soit du polymère qui est un produit chimique nommé " OASIS " fabriqué au Japon, utilisé comme correcteur des propriétés des sols sableux.

D'une façon générale l'analyse diachronique réalisée à partir des images satellitaires et d'enquêtes terrains montre une réelle volonté de poursuivre les efforts engagés en matière d'aménagement forestier mais, les actions de lutte contre l'ensablement par fixation de dunes demeurent ponctuelles et s'inscrivent rarement dans le cadre d'un plan de protection globale. Nos recommandations en ce sens se portent sur la combinaison de procédés de lutte mécanique et biologique, aussi sur l'estimation des coûts financiers des opérations de lutte et d'entretien qui devraient être établies sur la base de résultats obtenus sur les chantiers et en fonction des moyens utilisés (normes, matériels, le coût de la main d'œuvre) ainsi que le mode d'exécution des différentes opérations de lutte contre l'ensablement.

Conclusion de la troisième partie

Conclusion de la troisième partie

Plusieurs techniques ont été utilisées pour diminuer le risque d'ensablement, certaines ont été maîtrisées par les riverains comme le clayonnage à l'échelle du plateau de Mostaganem, d'autres nécessiteront d'être testées avant leur généralisation.

D'après les différents procédés de lutte contre l'ensablement que nous avons observés, nous constatons une évolution variable du milieu étudié sous leur influence qui se traduit par des formations dunaires recouvertes d'une végétation plus dense (ex Oureah entre 2004 et 2014), mais d'autres mesures devront être prises en considération : agir sur les effets négatifs de l'anthropisation sur cordon dunaire (mobilité des sables et leur transit) et, appliquer la réglementation qui régit l'exploitation du sable par les entreprises du bâtiment (choix des sablières afin d'empêcher l'ensablement des terrains utiles).

Pour la réussite de ces techniques il convient donc d'adopter une stratégie globale de prévision et de lutte contre l'ensablement qui se résume comme suit :

- ✚ Intégration dans les plans d'aménagement la nature du tissu urbain et sa relation avec le milieu (climat et texture des sols).
- ✚ Elaboration d'un guide spécifique de conception de tracé routier en zone dunaire.
- ✚ L'élaboration des méthodes de suivi et d'évaluation des projets de protection des routes et surfaces urbaines contre l'ensablement.
- ✚ La sensibilisation des agriculteurs des effets avantageux aux solutions proposées.

En effet, pour une meilleure stabilisation du milieu dunaire et un réel bénéfice issu de ces aménagements, nous conseillons de mettre en pratique les différents procédés de lutte que nous avons énumérés à savoir mécanique et biologique. Nous recommandons également d'associer toutes les parties prenantes pour une bonne réalisation des instruments d'aménagement (exemple : une bonne implantation du bâti et leur orientation par rapport aux vents dominants). Toutefois, dans toute initiative ou tout programme de lutte contre l'ensablement, l'utilisation d'une approche participative est une condition clé pour assurer des résultats probants et des impacts positifs à long terme ainsi qu'une efficacité ne serait-ce que par rapport au prix de revient.

CONCLUSION GENERALE

*« Knowledge is courage, you must be brave to search then you must be brave
to declare what your research ends without being afraid of anyone.*

Dr. Adnane IBRAHIM 2012

Conclusion Générale

Le phénomène d'ensablement à toujours existé dans la zone étudiée, phénomène lié aux conditions physiques et socio-économiques particulièrement favorables au processus, mais le risque sur le milieu s'est accentué ces deux dernières décennies, dû à l'anthropisation comme nous l'avons exposé dans notre étude.

Nous avons procédé à une analyse diachronique du risque. En effet, la recrudescence de l'ensablement dans certaines zones par rapport à d'autres a été confirmée par l'approche cartographique. L'outil satellitaire et les documents exploités ainsi que les observations sur le terrain nous ont permis de suivre son évolution. Elle est estimée à environ 1.5 ha par an. L'approche nous a permis également d'analyser le processus avec plus d'acuité pour aboutir à des solutions pouvant réduire ce risque. L'influence et l'interaction des facteurs d'ordre morphologique, bioclimatique et anthropique sont à l'origine de cette évolution comme signalé dans nos investigations.

La morpho-géologie de la région de Mostaganem dans son ensemble est favorable à une dynamique éolienne. Les formations lithologiques fournissent un stock de sable mobilisable, ce qui facilite l'action de l'ensablement sous l'effet des vents dominants.

Les conditions climatiques de la région ne sont guère favorables à une stabilité du phénomène, c'est un climat méditerranéen semi-aride à écoulement temporaire caractérisé par une pluviométrie moyenne, irrégulière et faible (<400 mm). Cette pluviométrie est accompagnée par une température élevée et par des vents fréquents, ceux du Nord (14%), de l'O (13%), de l'OSO (9%) du total mensuel dont la vitesse dépasse les 61.2Km/h. Ces vents sont responsables de la mobilisation des sables accumulés dans les dépressions à l'intérieur du plateau et le long de la côte, le cas de Safsaf, la vallée de Souflia, Mesra, Ain Tedles, Stidia...etc, là où l'ensablement des terres de culture, routes et même habitations est particulièrement présent.

La cause initiale de l'ensablement est la fragilité du milieu à laquelle s'est ajouté l'accroissement de la pression humaine et les mauvaises pratiques de l'homme dans le temps, facteurs importants dans les déséquilibres observés ces dernières décennies. Ce déséquilibre est le résultat du surpâturage, de défrichement de la végétation fixatrice des dunes et du prélèvement des sables. L'histoire pour sa part a participé dans le déclenchement du phénomène : au XIX Siècle, Mostaganem a vu naître la culture du vignoble (1867) qui a pris la place des grandes surfaces forestières qui existaient à l'époque, date à laquelle le phénomène d'ensablement s'est manifesté avec plus d'acuité (défrichement des forêts). Après l'indépendance les mutations agraires suivies de l'arrachage de la vigne, ont contribué à sa propagation et à une redynamisation éolienne.

Notons aussi que l'extension des espaces urbanisés a touché les milieux dunaires et au détriment de la couverture végétale. Une validation statistique et expérimentale par le biais des traitements effectués par l'outil satellitaire (Classification supervisée, indice de végétation et l'indice de cuirasse) nous a permis de calculer le taux des surfaces bâties. En vingt quatre ans estimé à 7% , soit une consommation d'espace de 688.9ha par an à l'échelle de la wilaya. Cette urbanisation s'est faite dans la précipitation et a donné naissance à des dynamiques territoriales sans vision globale d'aménagement.

En outre, le bâti en plus de son aspect consommateur d'espace, agit sur la déviation des courants éoliens et sur l'orientation des dunes par le type de sa morphologie. Nous avons constaté suite à notre étude et à nos investigations que, la disposition des constructions dans la zone d'étude est perpendiculaire aux vents dominants de l'Ouest, (exemples : Oureah et Kharouba). Cette situation a amplifié la force des vents d'où la pénétration du sable à l'intérieur des édifices urbains, des routes et des terres avoisinantes (perte de la fertilité des sols). Donc, en réalité, le risque climatique malgré son importance dans la région de Mostaganem s'avère moins grave que les erreurs d'aménagements comme nous l'avons montré dans notre étude.

Selon les facteurs qui sont responsables du processus d'ensablement, différentes techniques de lutte ont été proposées pour diminuer les effets néfastes de ce risque. Elles sont appuyées par les méthodes de luttés mécaniques et biologiques. Mais la région étudiée nécessite une série de luttés combinées afin d'atteindre des objectifs plus satisfaisants à l'échelle des zones les plus sensibles. Nous avons aussi exposé les problèmes engendrés par les mauvaises implantations dans les milieux sensibles « ensablement d'apport éoliens et hydrique » et de souligner que ce risque peut être aussi à l'origine de l'érosion hydrique sous l'effet de splash ou des eaux ruisselets, mais dans notre recherche nous nous sommes basés beaucoup plus sur l'ensablement d'origine éolienne.

En effet, le succès de toute action d'aménagement dépend de l'implantation des instruments d'aménagement qui doivent porter sur des études intégrant la morphologie des tissus urbains dans leur environnement ; leurs dispositions et leurs orientations doivent tenir compte de la direction des vents dominants. Le lecteur aura remarqué que tout au long de ce travail nous insistions sur la portée qu'ont les modes d'urbanisation sur l'évolution de ce risque, et pour cette raison, l'approche participative de la population concernée est une condition clé pour assurer l'efficacité des aménagements à promouvoir.

Références bibliographiques

Bibliographie

- **ABDELLAOUI .A, MARMI .R** ; Mise en évidence de mouvements de sable à partir d'images Satellitales ; application au piémont sud De l'atlas saharien (Algérie)
- **AIME.S** (1991) : Etude écologique de la transition entre les bioclimats subhumide, semi-aride et aride dans l'étage thermo-méditerranéen du tell oranais(Algérie occidentale) Thèse de doctorat p189
- **AIME. S.** (1991) : Etude écologique de la transition entre les bioclimats subhumides, semi-arides et arides dans l'étage thermo- méditerranéen du Tell oranais (Algérie occidentale). Thèse de doctorat, Univ. De droit d'économie. Aix- Marseille III, 300p.
- **AIME. S. et REMAOUN. KH.** (1989) : Variabilité climatique et steppisation dans le bassin de la Tafna (oranie occidentale),Rev. Médit. ,1, pp.42-51.
- **ANNUAIRE STATISTIQUE** : Superficie agricole et production, Série B-1987. DSA
- **ARMATURE URBAINE** (2008) -Recensement Général de la Population et de l'Habitat *La Direction Technique*
Chargée des Statistiques Régionales, l'Agriculture et de la Cartographie
- **ATHAMENA .K** (2012); modélisation et simulation des microclimats urbains : Étude de l'impact de la morphologie urbaine sur le confort dans les espaces extérieurs. Cas des éco-quartiers. Thèse de Doctorat École centrale de Nantes Science pour l'ingénieur, géosciences, architecture.
- **BAGNOLDS. R.A.** (1953) : Forme des dunes de sable et régimes des vents. Actions éoliennes, Colloques. Inst. CNRS, Paris 35,pp 23-32.
- **BAÏCHE A.** (1990) : Hydrogéologie de la région de Mostaganem, Thèse de doctorat Université Es-Sénia, d'Oran, 422p.
- **BELGAT. S.**(1984) : Etude phytoécologique et propositions en vue de l'aménagement du cordon dunaire littoral de la région de Mostaganem. Thèse de doctorat d'ingénieur, 232p.
- **BEN AMEUR.A& BRAHIMI.A.** (2001) : Etablissement d'un cadastre forestier à Mostaganem, Mémoire de fin d'étude. CNTS. Arzew. p70
- **BENDJELID.A** (1998), La fragmentation de l'espace urbain d'Oran (Algérie). Mécanismes, acteurs et aménagement urbain ; Revue Insaniyat, n° 5, (Vol. 2), "Villes algériennes", Oran
- **BENOUDA H.** (1995) : Evolution de l'efficience de l'irrigation à la raie à pentes variables dans un sol sableux amendé par la bentonite. INFSA Mostaganem : Mémoire d'ingénieur d'état en Agronomie.100 p.
- **BENSALEM. B.** (1983) : Dynamique et stabilisation des formations dunaires Institut des Régions Arides, Médenine. Tunisie,9 p.
- **BERGHEM.P, DAVID.F. GENNEVOIS.C. FOUETILLOU** (2010) : Les ensembles dunaires du département du calvados : présentation, typologie et proposition pour une conservation durable du milieu-rapport final
- **BERNIER, GAGNON, LESSARD** (1985) : Télédétection et gestion des ressources ; l'aspect opérationnel. Volume V. L'association québécoise de télédétection
- **BELLAL.S.A** (1998). : Les ressources en eau et leur utilisation dans le plateau de Mostaganem, Thèse de Magister. Univ. Es.Senia -Oran.
- **BONNEAU. M. et SOUCHIER. B.**(1979) :constituants et propriétés du sol, Pédologie tome II, Edition Masson, Paris, 459p.
- **BONN ET ROCHON(1992)** ; Précis de télédétection vol n°2 application thématiques Québec 642p
- **BOU KHEIR et GIRAR et ABDALAH**(2001): Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens. Une revue bibliographique, étude et gestion des sols. Volume 8,4 p231-245.
- **BOURAHLA.M** (2012) : Catastrophe de Sidi Mejdoub. Article de presse, journal Réflexion sur Mostaganem
- **BRIVES. A et DALLONI. M** (1913) : Carte géologique de Mostaganem –Belle Côte au 1/50 000, service géologique d'Algérie. Imp. A. Jourdin, Alger
- **BULLETIN EROSION 19** - (1999) ; L'influence de l'homme sur l'érosion Volume 1.ird
- **CALLOT. Y** (1987) : Géomorphologie et paléoenvironnement de l'Atlas Saharien à l'Erg Occidental. Dynamique éolienne et paléolacs holocènes. Thèse doctorat d'état en géomorphologie, Univ. Paris VI, 412 p.
- **CALLOT. Y. et OULEHRI. T.** (1996) : Géodynamique des sables éoliens dans le Nord-Ouest saharien : relations entre aérologie et géomorphologie, Géodinamica Acta (Paris), pp.1-13.

- **CALOZ R. ET COLLET**(2001) ; précis de télédétection volume 3 ; système d'information géographiques et du traitement numérique d'image. Presse de l'université du Québec/AUPELF.
- **CEDRIC VENARD** (2012) ; La morphodynamique éolienne en régions sèches-Univ lumière-lion-faculté de géographie, histoire de l'Art, tourisme.- Thèse de doctorat en géographie, aménagement et urbanisme
- **CHARRU.F et AL.** (2012): « ripples and sand dunes » (annual review of fluid mechanics)
- **CLAUDE.S** (2000) ; Le géo-système dunaire anthropisé d'Essaouira-est (Maroc atlantique) Dynamique et paleoenvironnements thèse de Doctorat Université Aix-Marseille. Milieux physiques méditerranéens
- **COUDERC. R.** (1978) : Les Hautes Steppes Sud Oranaises ; Thèse doctorat d'état ; Université Paul Valéry ; Montpellier III. Géographie et développement
- **COUDE-GAUSSSEN. G.** (1994) : Erosion éolienne au Sahel et sécheresse..Sécheresse, n°5, vol.5 ; septembre, pp.199-200
- **COTE.M** (1987): Pays, paysages, paysans d'Algérie.279p
- **DAHMOUCHE. A.** (1997) : Contribution à l'étude édaphique et cartographique du plateau de Mostaganem. Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie. INFSA, 83p.
- **DERRUAU.M** (1985): Les formes du relief terrestre. 118pEdition Masson
- **DIAF.A** (2002) : Les extensions urbaines par télédétection, application à la ville de Sidi Bel Abbès. Magister en techniques spatiales. Cts Arzew.120 .p
- **EMBERGER. L.** (1954) : Le climat méditerranéen du point de vue biologique.Ronéo. CEPE. Montpellier.16p.
- **ERCOLE ET METZGER**(2002) : La notion du risque naturelle en géographie.
- **ERIC.ROOSE.** (1993) : Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Série pédologique, vol 28, n°2 Centre ORSTOM.BP 5045 F ; Montpellier ; pp.289-308.
- **ERIC.ROOSE.** (1998): Nouvelle stratégie de lutte antiérosive. Spécial Erosion Bulletin n° 56.Centre ORSTOM.BP 5045 ; Montpellier ; pp.281-291
- **GANDERMAN.** (1976) : les comportements du mouvement éolien. Université de Montréal. Canada
- **GAUCHEZ.G. et DUTIL. P.** (1981) Traité de pédologie agricole ; l'érosion, facteur de pédogenèse ; Tome II, ed. G. Lellote, pp 466-475.
- **GAUSSEN.H** (1963) : Ecologie et phytogéographie. In abbayes : p 952-972.
- **GAUTIER**(1908) : SAHARA ALGÉRIEN. Chargé de Cours à l'École supérieure des Lettres d'Alger. PARIS LIBRAIRIE ARMAND COLIN
- **GEESON N.A. et al.** (2002) - Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses. King's College, University of London, UK. John Wiley & Sons, LTD. 461p.
- **GIRARD ET GIRARD** (1975) ; Application de la télédétection à l'étude de la biosphère, paris Masson. 185p
- **GIRARD M. et GIRARD. C.** (1999) - Traitement de données de télédétection. Dunod, Paris, 1999. ISBN: 2 10
- **GOURINE.F**(2002) ; Apport de l'imagerie radar et optique à caractérisation de la morphologie des dunes. Cas de Zaafran et El Mosrane, wilaya de Djelfa. Thèse de magister CNTS.Arzew
- **GOURINARD. Y.**(1956) : Recherches sur la géologie du littoral oranais. Pub. Sev. Carte géol. Algérie 1° série, n°6, 111p.
- **GRECO.J.** (1966) ; l'érosion, la défense et la restauration des sols. Le reboisement en Algérie. M.a.r.a., Alger
- **GUYOT. G.** (1964) : Les brises vents. Modification des microclimats et améliorations de la production agricole. INRA pp. 243-302.
- **GUYOT. G** (1980) : L'érosion éolienne : techniques Agricoles 1380.pp.1-12.
- **HADAEID.M** (2006): Les mutations spatiales et sociales d'un espace à caractère steppique, le cas des Hautes Plaines Sud-Oranaises (Algérie). Thèse de Doctorat d'Etat en Géographie, Univ-Oran.
- **HADJAB.M, KHALFALLAH .B, REDJEM.a** (2000) ; L'urbanisation d'une ville oasienne « boussaâda » Face aux risques d'inondations et d'ensablement. Université de Msila, institut de gestion des techniques urbaines
- **HALILAT.M.T et TESSIER.D**(2006) ; Laboratoire de bio- ressources sahariennes Département des sciences agronomiques, Univ de Ouargla, Cahiers agricultures vol.15, n° 4
- **HALIMI. A.** (1980) : L'atlas Blidéen climat et étages végétaux. Ed. OPU. Alger 523p.
- **HANNI.I**(1998) : les mutations agraires dans le plateau de Motaganem, . Thèse de Magister Es-Sénia Oran.

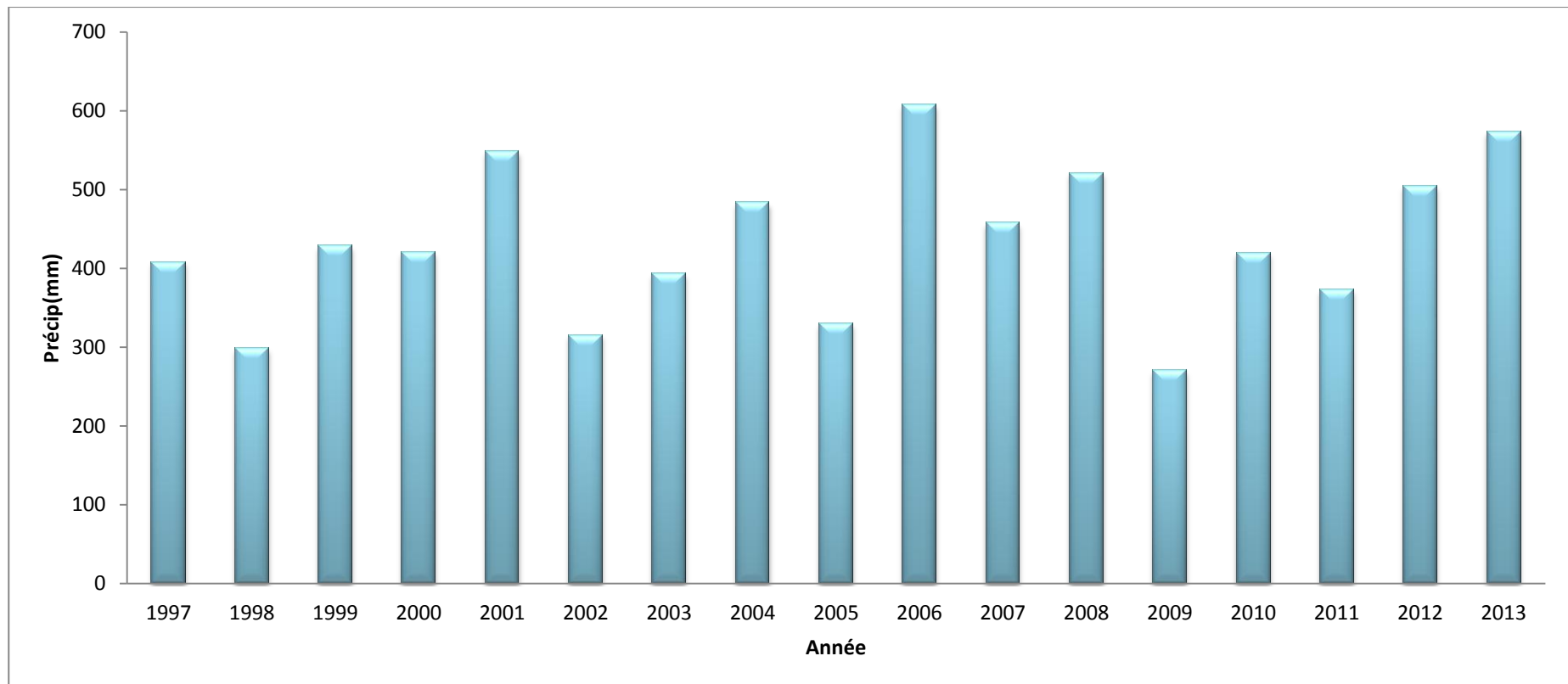
- **HENIN (1960) - ZAHER.** Cours CES /...Maroc
- **ISNARD.H (1975) :** La viticulture algérienne, colonisation et décolonisation, Aix de Provence, Méditerranée n °04pp 3-10.
- **KHATTELI. H. (1975) :**Contribution à l'étude des vents dans la Djeffara tunisienne. Rev. Sécheresse n°2, ol.4,pp117-121.
- **KHATTELI. H.(1994) :** Une technique d'irrigation en profondeur pour le reboisement sur sols dunaires. Rev. Sécheresse, n°1, vol.5, pp.45-50.
- **KHALIFA.M (2013) :** Association pour le renouveau et la promotion.
- **LABDAOULM :** Réflexion sur la flore endémique menacée de disparition Dans la région de Mostaganem.
- **LAHOUEL.N (2014) :** Caractérisation édapho-floristique dans les écosystèmes forestiers dans la région du littoral Mostaganémois (Oranie-Algérie) Université de Mostaganem
- **LAKHDAR .Y et KOUIDER.B (2009) ;** Évolution sociale et reconfiguration spatiale : la ville de Mostaganem insaniyat n°s 44-45, avril – septembre- pp. 175-193
- **LAKHDARI et KHECHAIRI :** La faune de l'arganier de Tindouf. Laboratoire d'Ecodéveloppement des espaces, Université de Djilali Liabès de Sidi Bel Abbès et Mustapha Stambouli de Mascara
- **LARID. M. (1992) :** Le rôle du machinisme agricole dans l'érosion des sols : cas du plateau de Mostaganem (Algérie). Univ. de Strasbourg. Thèse de doctorat, 109
- **LAFRID. A. (2009) :** L'apport de l'imagerie spatiale dans le suivi de la désertification au niveau des Steppes Ouest(Algérie) Magister en techniques spatiales. Cts Arzew
- **LEBEAU.R (1991) :** Les grands types de structures agraires dans le monde. Edition Masson.173p
- **MANIERE, BASSISTY, JC CELLES, MELZI, (1993) ;** Utilisation de la télédétection spatiale pour la cartographie de l'occupation du sol en zone arides méditerranéenne exemple d'Ain Ouessara. Cahier Orstom
- **MAINGUET M. (1982) –** L'épaisseur des dépôts sableux éoliens est-elle un indicateur d'aridité ? Bull. Assoc. Géogr. Franç. N°484, 1982.
- **MAINGUET. M.(1992) :** Systèmes eprt pour l'évaluation de la dynamique éolienne et la protection contre les effets traumatisants du vent. Rev. R.G.D. pp.113-136.
- **MAINGUET M. (1995) –** L'homme et la sécheresse. Ed. Masson/ Géographie. 335p.
- **MAINGUET. M.(1996) :** Pourquoi le réseau érosion doit – il faire une place à l'érosion éolienne. Réseau Erosion Bulletin n° 16. Centre ORSTOM. BP 5045 F ; Montpellier ; pp.281 – 291
- **MAINGUET. M, REMINI. B ;** Le rôle des mega-obstacles dans la formation et le façonnement des ergs : Traitement appliques à la photo interprétation 3éme partie page 12 et 13 (olivier dejanville)
- **MEGHERBI.W (2004) :** L'impact des différentes actions érosives sur les terres agricoles, cas de Mostaganem. Mémoire d'ingénieur d'état. IGAT Es-Sénia Oran
- **MOHAMMED.H,TESSIER.D :** Amélioration de la rétention en eau de matériau sableux par ajout de bentonite Laboratoire de bio ressources sahariennes préservation et valorisation, Département des sciences agronomiques, Université de Ouargla
- **MONOGRAPHIE (2008)** de la wilaya de Mostaganem.
- **NAHAL. I. (1975) :** Principe de conservation du sol, Edition Masson, 143p.
- **OUAMEUR.F.A (2007) ;** Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec
- **OLDACHE (1988) ;** Contribution a l'etude de la fixation des dunes dans les régions d'el Mesrane (w. De djelfa) et ou-Saada (w. De m'sila). Thèse de mag. Ina, 145 p.
- **PERODON. A. (1957) :** Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidental. Alger, 238p.
- **P OMEL et POUYANNE (1897) :** Les Terrains Miocènes du Bassin du Chelif et du Dahra par BRIVES, ALGER IMPRIMERIEP. FONTANA. Série N°02
- **POUGET. M.(1980) :** Les relations sol végétation dans les steppes sud algéroise, ORSTOM, Paris, 256 p.
- **PDAU (1998) :** Plan d'aménagement et d'urbanisme, Mostaganem- Rapport final URBAM 1998.
- **PDAU (2008) :** Plan d'aménagement et d'urbanisme, Mostaganem- Rapport final ANAT 2008.

- **REBAI. A.**(1983) : Les incendies en forêt dans la wilaya de Mostaganem. (Algérie).Etude écologique et proposition d'aménagement. Thèse de spécialité. Univ Aix Marseille, 141p.
- **REMAOUN. KH.** (1981) : Le littoral oranais d'Oran aux Andalouses :recherches géomorphologiques. Thèse de doctorat 3° cycle, Lille, 303p.
- **ROKHAYA DABA. F.** (1995) :L'érosion des vents au nord et centre du Sénégal. Réseau Erosion Bulletin n° 16. Centre ORSTOM.BP 5045 F ; Montpellier ; pp.293 – 307
- **ROOSE.E** (1994) : introduction à la gces, bull. Pédol. De la fao, n° 70, Rome. 420 p.
- **ROOSE.E, ARABLM, BRAHAMIA.K, CHEBBANLR, MAZOUR. M ET MORSLIB** (1993) : Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Réduction des risques érosifs et intensification sur la production agricole par la gces: synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion. Cahiers Orstom, série pédologie, 28(2) : 289-308.
- **SANTA. S.** (1958) Carte de la végétation de l'Algérie, Bosquet Mostaganem, échelle 1/200.000
- **STELLA .T**(2011) : Relations entre morphologie urbaine, microclimat et Confort des piétons : application au cas des éco-quartiers, Thèse de Master l'Ecole Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines de Nantes, Université de Nantes.
- **SELTZER. P** (1946) : le climat de l'Algérie. Inst. Météore. Et de phys. Du globe. Univ. Alger. 219p.
- **SELTZER. P.**(1946) : Le climat de l'Algérie. Pub. Univ. d'Algérie.219p.
- **SENHADJI. H.**(1993) : Conséquences des différentes actions érosives et perspectives d'aménagements sur le littoral de Béni-Saf. Mémoire d'ingénieur d'état, IGAT Es-Sénia Oran, 140p.
- **SMAIL. H.** (1998) : Dynamique agraire dans le plateau de Mostaganem. Thèse de Magister Es-Sénia Oran, 218p.
- **SMAHLEL.** (2000/2001) : Etude du phénomène d'ensablement sur le plateau de Mostaganem et proposition d'aménagement, Thèse de Magister, IGAT Es-Sénia, Oran.p137
- **SMAIL. H& DAHMANLS.**(1991) : Contribution à l'étude de la dynamique éolienne dans le plateau de Mostaganem, Mémoire d'ingénieur d'état. IGAT. Es-Senia. Oran.p114
- **SOPHIA ANTIPOLIS** (2003) ; Les menaces sur les sols dans les pays Méditerranéens, Etude bibliographique les cahiers du plan bleu 2
- **SOUIAH. S.A** (1996) : Les Douars péri-urbains de l'Ouest algérien : l'habitat populaire non réglementé des périphéries urbaines Thèse de doctorat en Géographie-Université de Pau
- **SOUIAH. S.A et E.Minvielle** (2003) : Analyse statistique et spatial, Edition du Temps, Paris. périphéries urbaines Thèse de doctorat en Géographie-Université de Pau
- **SEMMOUD.B** (1998) : L'aménagement urbain dans le monde arabe. Laboratoire des Dynamiques sociales (M.A.R.S), Monde Arabe dans la recherche scientifique. Univ de Paris 8
- **TIDJANLB**(1999) :The phenomenon of urbanization in Algeria, Fascicule N 06.IGAT.Université d'Oran
- **TIDJANLB**(2000) :Impacts of Urban Environment in Algeria N 07.IGAT.Université d'Oran
- **THOMAS.POUCHAIN** (2001) la télédétection et le développement urbain
- **THOMAS. G.** (1976) : Mise en évidence de décrochements dextres Est - Ouest d'âge quaternaire en Algérie nord- occidentale. C. R. Acad. Paris, t. 283 n° 8, 4 p.
- **WOODRUFF N.P. ; SIDOWG. F.H. ; FRYREAR. D.W.** (1978) : How to control wind erosion.U.S.D.A. Agriculture information ; Bulletin 354 ; 23 p.
- **YAN LAPLANTE** (2006) ; Le concept d'enveloppe éolienne dans L'intégration du phénomène vent à la Conception architecturale, mémoire présenté pour l'obtention du grade de maître en science de l'architecture, faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels université Laval-Québec.

Annexe

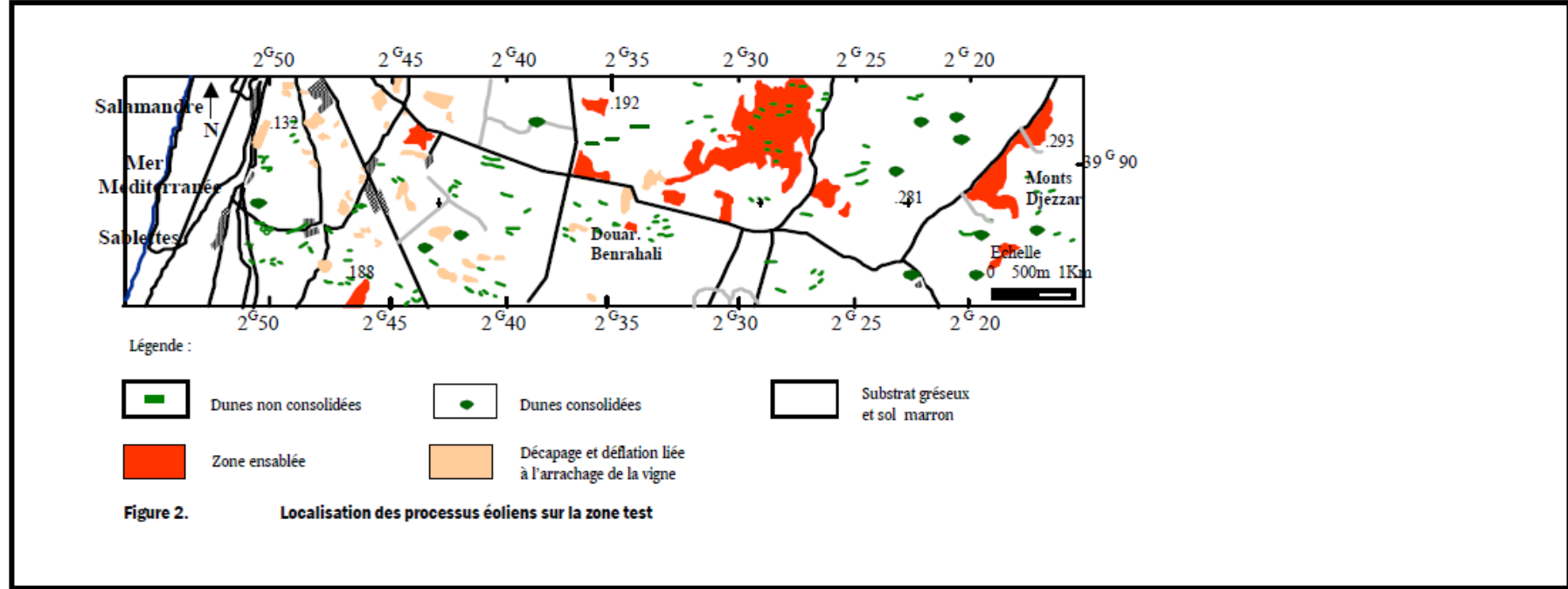
D V m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
5-8	592	313	164	213	238	157	130	102	281	305	238	317	507	214	209	232	4211
9-12	104	64	24	11	14	12	15	6	20	39	62	116	156	37	37	43	760
13-16	13	7	2	1	1	0	0	0	0	5	14	36	14	2	2	8	105
> 16	5	1	1	2	1	0	0	3	1	3	0	2	2	0	1	0	22
Total	714	385	191	227	254	169	145	111	302	352	314	471	679	253	249	283	5098
%	14.01	7.55	3.75	4.45	4.98	3.32	2.84	2.18	5.92	6.90	6.16	9.24	13.32	4.96	4.88	5.55	100%

Fréquence des vents dynamiques par direction (1990 à 1997) D'après Smahi, 2001

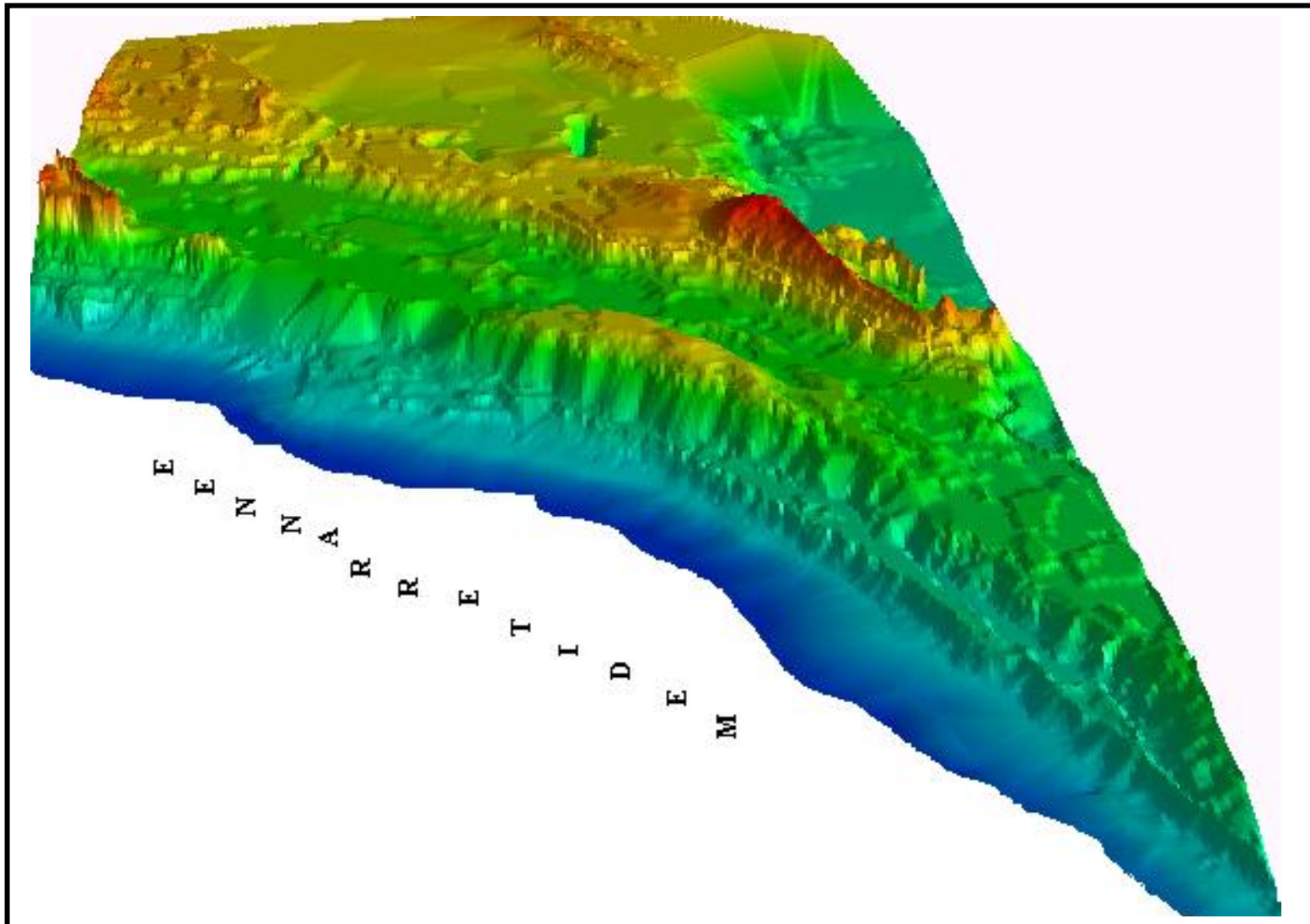


Evolution des précipitations à l'échelle de la région du Mostaganem (1997 à 2013).

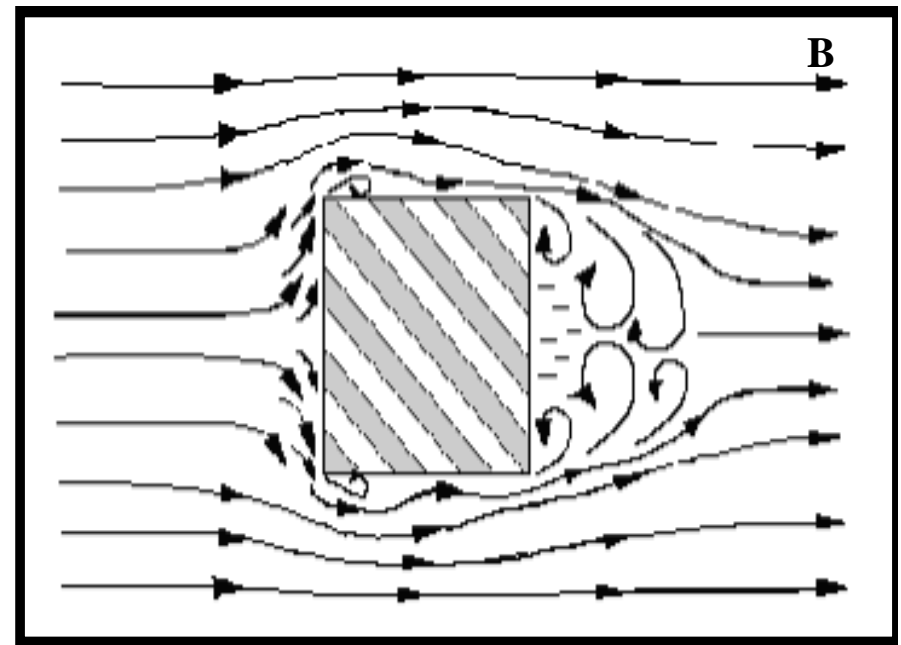
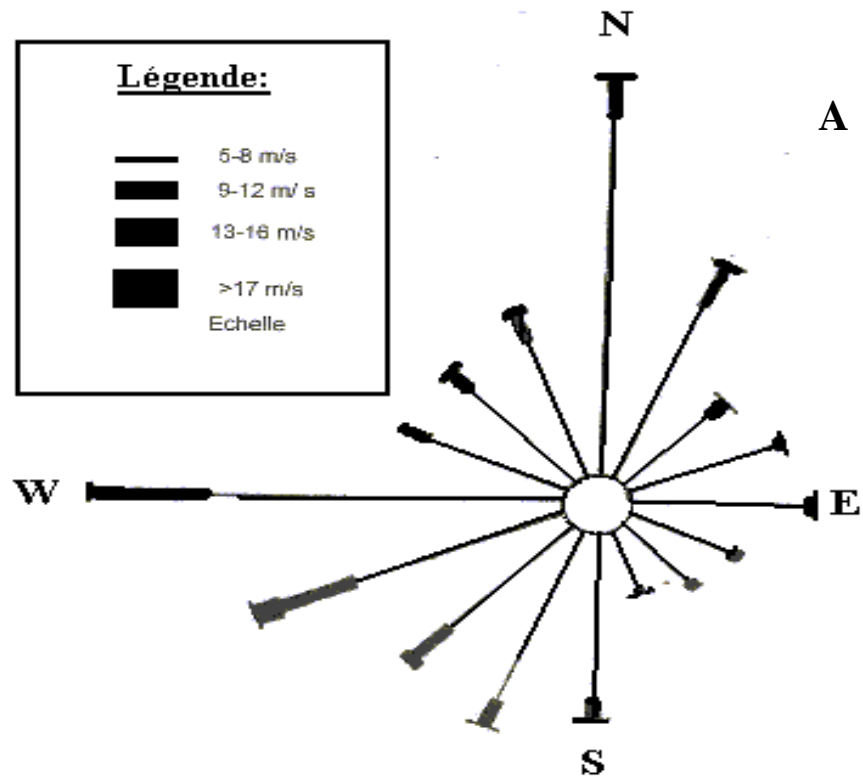
Source : W.MEGHERBI



Croquis de localisation du processus éolien d'après Smahi sur une zone test à l'échelle du plateau de Mostaganem..

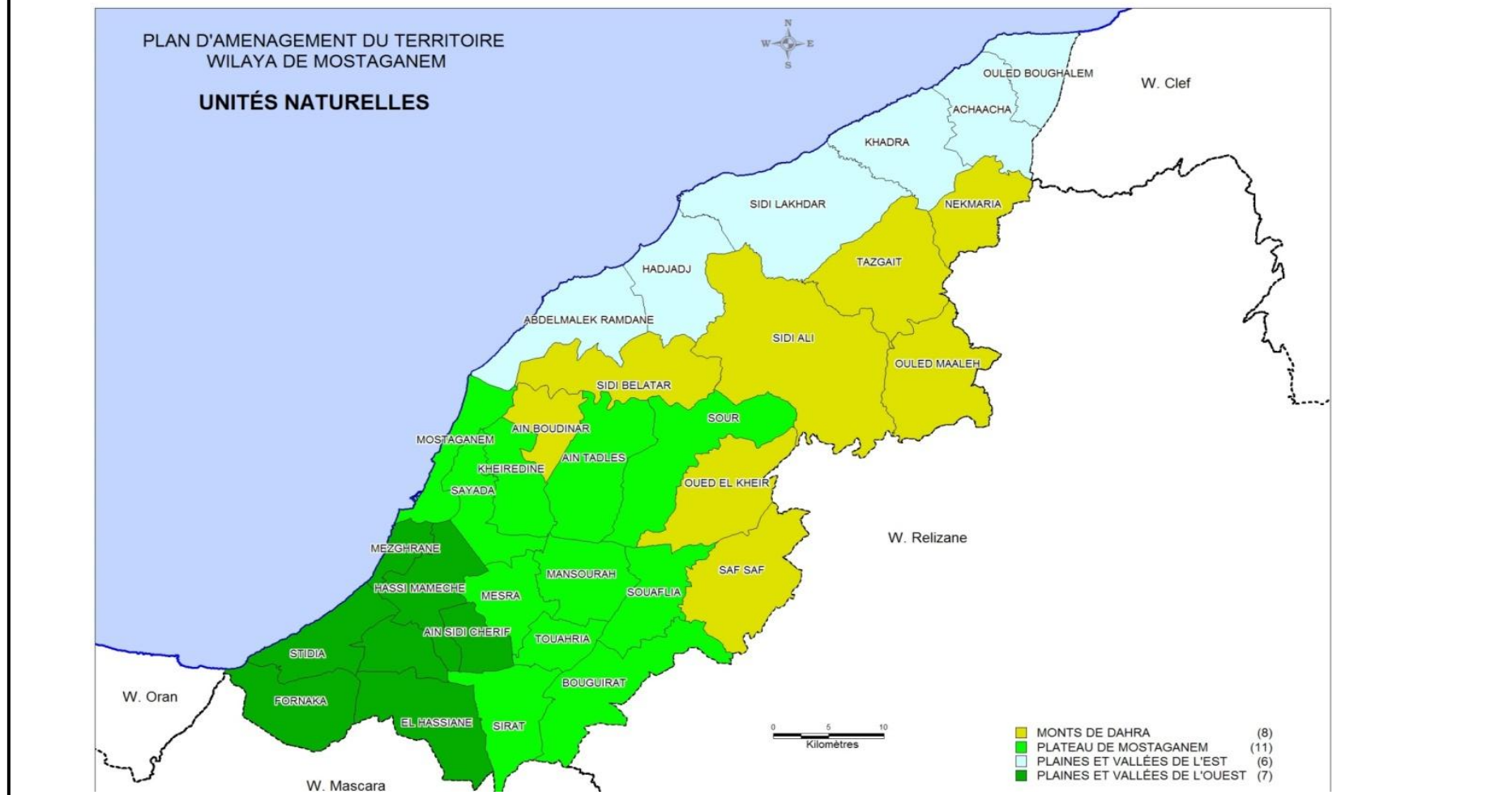


Modèle numérique de terrain de la région de Mostaganem
Source :W.MEGHERBI 2004.



A : Rose des vents, B : Schématisation du contournement d'une structure bâtie par le vent (**Gandemer**, 1981)

Carte des unités naturelles de la wilaya de Mostaganem, Source : ANAT



Zone D'ensablement :

Code wilaya	zone	Type de zone	subdivision	Identification de l'axe routier	Altitude moyenne	linéaire	Maisons cantonnières
27	/	Zone 2	Sidi Ali	RN11	40	800	B/A/Ramdane
				CW12	100	/	
				CW42 BIS	350	600	
			Achaacha		90	500	Achaacha
			Ain Tedeles	RN90A	250	200	Sour
				CW13A	200	2000	
				CW13	200	1500	
			Mostaganem	RN11	100	4800	Mostaganem
				CW24B	46	/	
				CW49	200	300	
			Ain Tedeles		200	800	Kheir Eddine
				CW68	205	600	
			Bouguirat	CW42A	400	500	Souaflias
			Mesra	CW05	200	120	Sirat
CW42	200	600					

Source : DTP de Mosrtaganem

Tableau : Les routes qui subissent un grand risque d'érosion éolienne (ensablement)

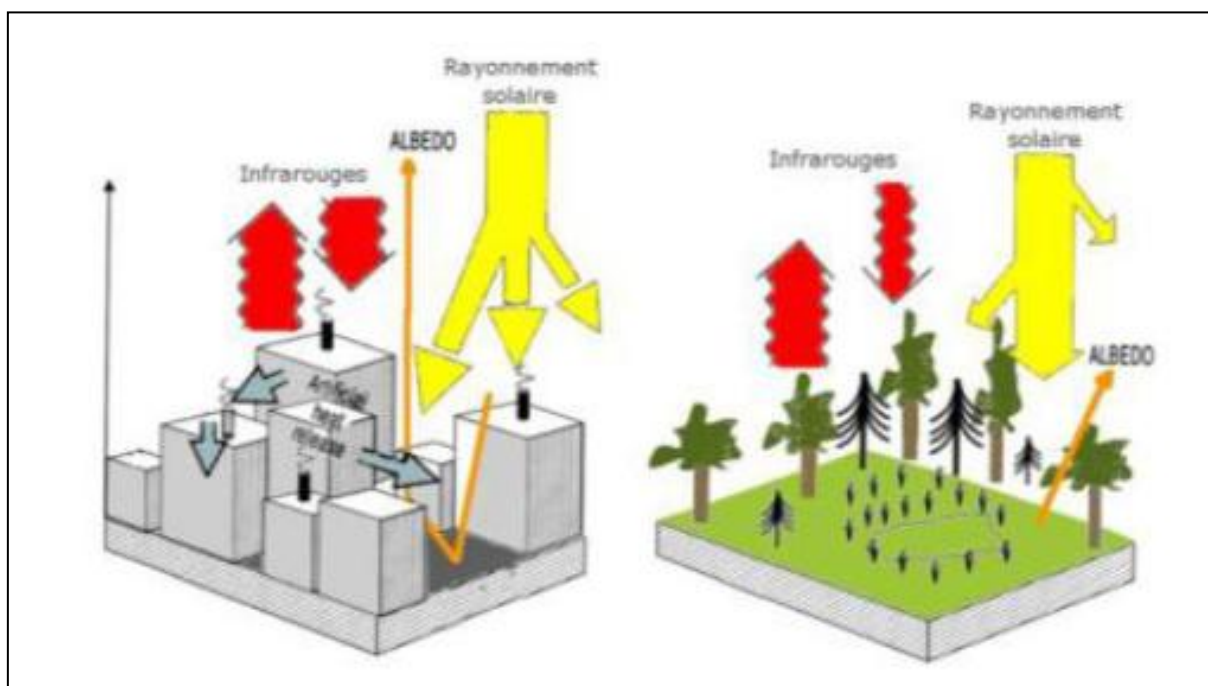
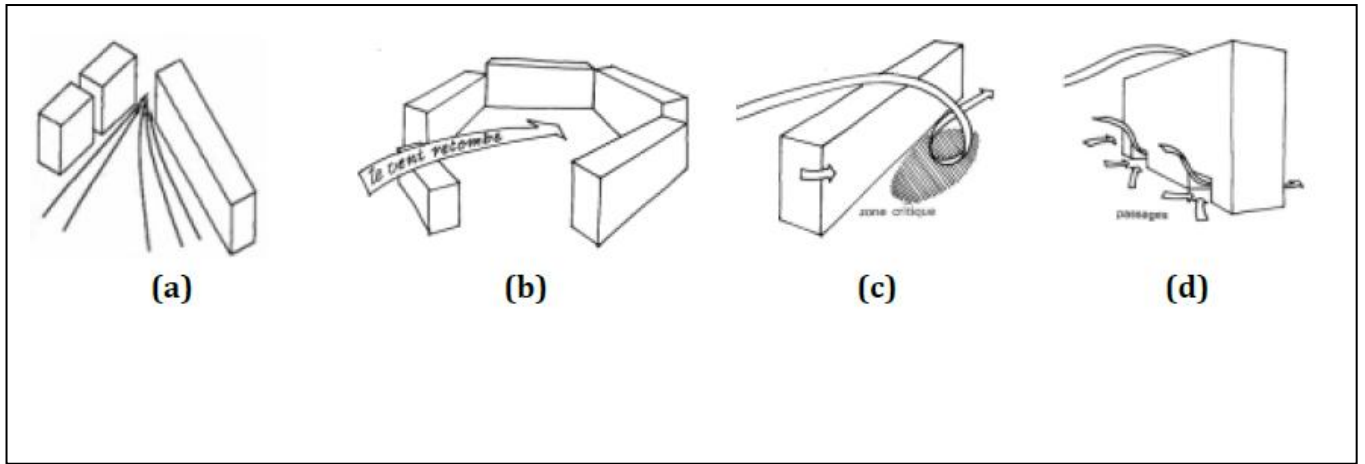


Figure : Flux radiatif au-dessus d'une zone urbaine et d'une zone rurale (Clombert,2008)



Quelques effets aérodynamiques du vent : **(a)** effet venturi, **(b)** effet de maille, **(c)** effet de barre, **(c)** effet de passages sous les immeubles (**Gandemer, 1976**).

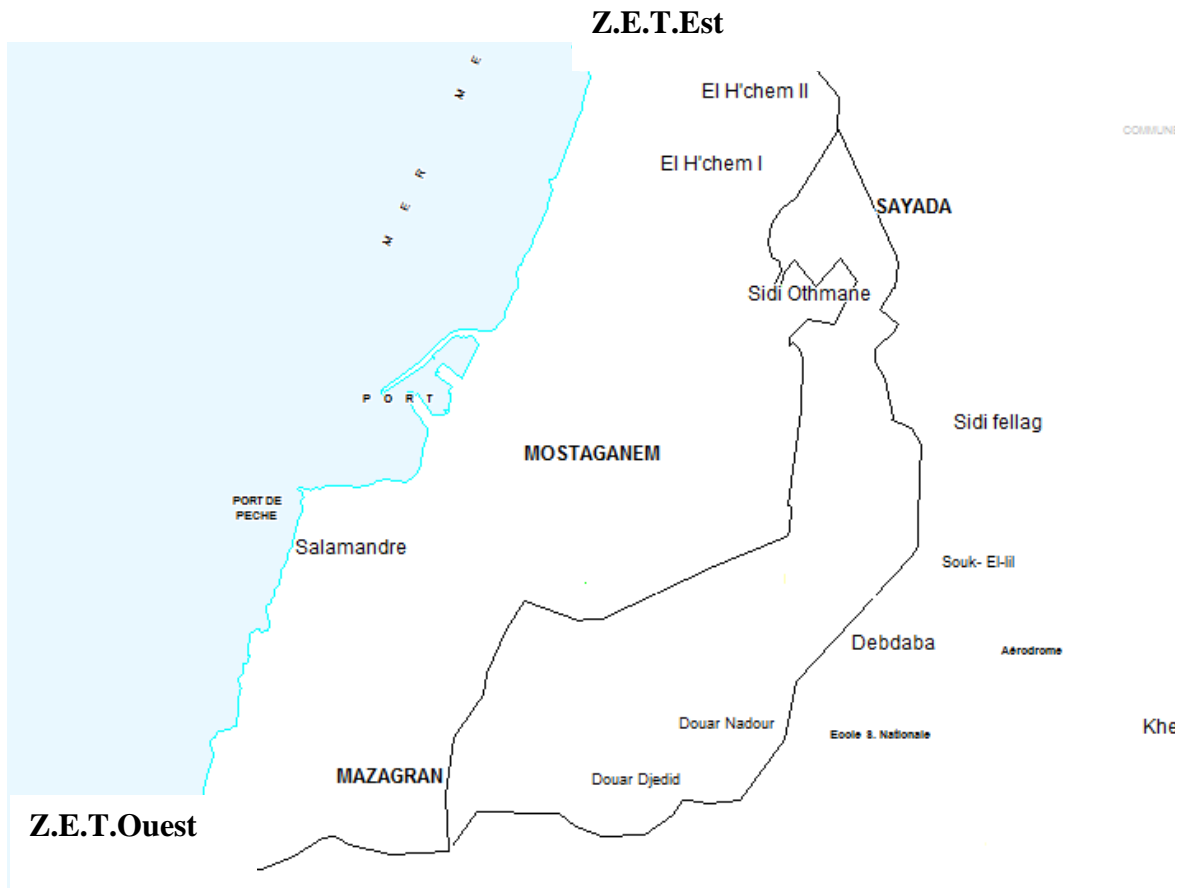
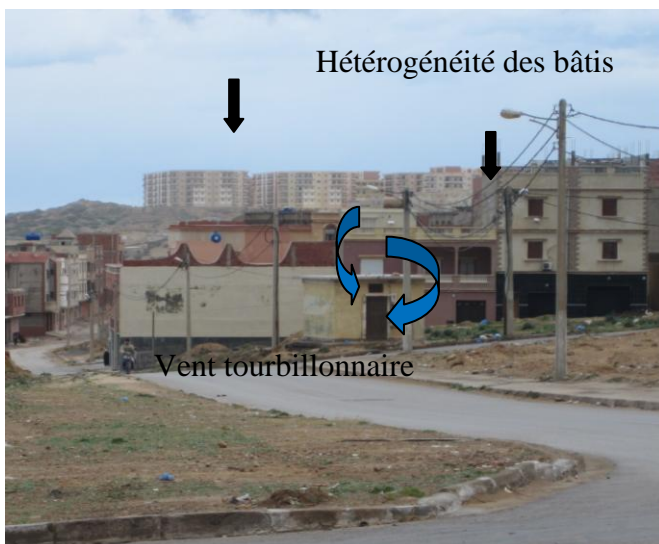


Figure : Les zones d'extensions en zones sensible , Ouest et Est de Mostaganem



Système dunaire en plein destruction, cas de la zone de Kharouba



Présence de sable suite à un contournement d'un vent sur un tissu urbain non compact
W.MEGHERBI février 2015



Ensemblement d'origine hydrique éolienne (janvier-2015),
W.MEGHERBI



Ensemblement d'origine éolienne causé par la structure du bâti (Ouréah)
W.MEGHERBI février 2015

Liste des figures

Liste des figures

Figure n° 01	Localisation de la zone d'étude	16
Figure n° 02	Les ripples marks ou ride	21
Figure n° 03	Vue superficielle d'une nebka	23
		23
Figure n° 04	Barkhanes	23
Figure n° 05	Dunes pyramidales	23
Figure n° 06	Sifs	23
Figure n° 07	Aklés (structure d'erg à plusieurs directions de dunes)	24
Figure n° 08	Types de dunes	31
Figure n° 09	Carte géologique de la région de Mostaganem d'après G.Tomas 1985	36
Figure n° 10	Précipitation moyenne mensuelle à Mostaganem (1987à1997)	37
Figure n° 11	Précipitation inter-annuelle à Mostaganem (1977à1997)	44
Figure n° 12	Bilan hydrique à Mostaganem (1988-1996)	46
Figure n° 13	La position de Mostaganem dans l'abaque de Demartone (1988/1997)	48
Figure n° 14	La position de Mostaganem dans le diagramme d'Emberger (1988à1997)	58
Figure n° 15	Evolution de la superficie agricole utile à l'échelle de la wilaya	58
Figure n° 16	Evolution des spéculations en relation avec le phénomène à l'échelle de la wilaya	64
Figure n° 17	(A-B-C) Evolution de la ville de Mostaganem de (1909à1972)	67
Figure n° 18	Carte d'occupation du sol des nouveaux espaces urbanisé	69
Figure n° 19	(AB): l'influence de la densité urbaine sur le microclimat	70
Figure n° 20	A gauche: Un tissu poreux présentant des bâtiments de hauteurs homogènes	71
	A droite : Un effet de pyramide sur un groupement de construction à caractère pyramidal	83
	(Gandemer,1976).	86
Figure n° 21	Schématisation du contournement d'une structure bâtie par le vent (Gandemer, 1981)	86
Figure n° 22	Les étapes d'une composition colorée	91
Figure n° 23	visualisation d'images en composition colorée, (ici, 4.3.1, combinaison standard en fausses couleurs)	92
	b : Visualisation d'images en composition colorée en combinaison avec le masque wilaya.	100
Figure n° 24	Classification des images TM avec représentation des différentes abstractions de classes 1987	103
Figure n° 25	Classification des images TM avec représentation des différentes abstractions de classes 2011	104
Figure n° 26	Analyse temporelle de détection du changement dans ENVI à partir de deux Images NDVI	106
Figure n° 27	Indice de végétation sur des images Landsat TM avec normalisation de la gamme des valeurs [-1, 0.65]	107
Figure n° 28	Indice de cuirasse(IC) calculé à partir de l'image TM/87 sur ENVI cas de la zone de Mostaganem.	109
Figure n° 29	Indice de cuirasse(IC) calculé à partir de l'image TM/2011 sur ENVI cas de la zone de Mostaganem	110
Figure n° 30	Carte d'occupation urbaine obtenu par le biais du calcul d'indice de cuirasse 1987	112
Figure n° 31	Carte d'occupation urbaine obtenu par le biais du calcul d'indice de cuirasse 1987	117
Figure n° 32	Combinaison entre les deux indices de cuirasse	121
Figure n° 33	Carte de changement d'enveloppe urbaine obtenu à partir de la numérisation	122
	des indices de cuirasses (1987-2011). Projection UTM Zone 31	125
Figure n° 34	détection de l'ensablement à travers la comparaison des deux indices exemple de la forêt de Adelmalek Ben Ramedan vers Djbel diss	128
Figure n° 35	Ensablement de proximité, cas de la zone de Kharouba	129
Figure n° 36	Cordon dunaire en mouvement cas de Sidi Mejdoub	130
Figure n° 37	Le foncier des contraintes au sol dégagé par le PDAU 2013	133
Figure n° 38	La pénétration des expansions urbaines dans le massif dunaire	142
Figure n° 39	Terrains agricoles ensablés cas de la région de Mesra	145
Figure n° 40	Disposition de palissade pour la protection de la route RN11 et les terrains agricoles environnant	147
Figure n° 41	schématisation d'un comportement de vent perpendiculaire à une rue canions	149
Figure n° 42	Plan d'occupation du sol de la zone de Oureah numérisé à partir de google earth	151
Figure n° 43	Visualisation de la zone de Oureah en trois dimensions sur studio max 3DS	154
Figure n° 44	Proposition d'un model de bâtis conforme aux zones d'ensablement par le biais de Studio max3D ; exemple de Oureah	154
Figure n° 45	Ensablement et disparition de la végétation fixatrice des dunes aux effets des extractions massive du sable cas de Ouled Al Arbi -Sidi Lakhdar	159
Figure n° 46	Rehaussement de la palissade après accumulation des dépôts de sables FAO 1988	160
Figure n° 47	Technique de pierre à turbulence utilisée dans le sud Marocain d'après Bensalem	160
Figure n° 48	Moyens de lutte pratiqués avec succès dans la région de Mostaganem	160

Liste des tableaux

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 1	La répartition de la superficie par classes des pentes	28
Tableau n°02	Répartition des précipitations d'est en ouest.	35
Tableau n° 03	Localisation des stations météorologiques de la wilaya de Mostaganem.....	36
Tableau n°04	Précipitations moyennes mensuelle de Mostaganem (1987-88)à(1996-97).....	37
Tableau n°05	Précipitation annuelle de Mostaganem (1977/1997)	38
Tableau n°06	Nombre de jour de gelée	38
Tableau n°07	Température moyenne mensuelle de Mostaganem de 1988 à 1997.....	38
Tableau n°08	Caractéristiques des vents selon les mois à Mostaganem.....	40
Tableau n°09	L'humidité relative moyenne en %(1997) à Mostaganem.....	40
Tableau n°10	Nombre de jours de brouillard(1997).....	41
Tableau n°11	Le bilan hydrique à Mostaganem (1988à1997).....	41
Tableau n°12	Indice de Martonne.....	42
Tableau n°13	L'indice bioclimatique d'Emberger à Mostaganem.....	45
Tableau n°14	Répartition générale des terres.....	47
Tableau n°15	Répartition de la population de Mostaganem par agglomération.....	50
Tableau n°16	Evolution de La Population Occupée Par Secteur Economique.....	51
Tableau n°17	Répartition des terres du secteur public.....	51
Tableau n°18	Nature juridique des terres agricoles (s.a.u).....	52
Tableau n°19	Évolution de l'occupation agricole.....	55
Tableau n°20	Evolution de l'indice urbain de la wilaya entre 1987 et 2008.....	56
Tableau n° 21	Caractéristiques spectrales des canaux du capteur TM/LandSat	61
	(Source : http://eoedu.belspo.be/fr/satellites/landsat.htm).	
Tableau n°22	Principales caractéristiques des images satellitaires Landsat	80
Tableau n°23	Les spécifications techniques de QuickBird.....	82

Liste des photos

Liste des photos

Photo 01	Accumulation de sable dunaire dans les surfaces urbaines- Kharouba 06/02/2015	116
Photo 02	Nouveaux édifices urbains et exploitation du sable dunaire	118
Photo 03	Ensablement de la route causé par les nouvelles constructions sur dunes.....	118
Photo 04	Ensablement des cultures Sayada.....	121
Photo 05	Bourrelet de sable face aux bâtiments.....	121
Photo 06	Disposition des bâtis face au vent	123
Photo 07	Une action éolienne efficace (accumulation de sable).....	123
Photo 08	Terrain agricole ensablé et formation de micro dune.....	128
Photo 09	dunes vives semi fixées	129
Photo 10	Barckane (Route Ennaro)	129
Photo 11	Nebka	129
Photo 12	Construction des routes en plein milieu dunaire RN 11(entre Chlef plage et Esakhra)	137
Photo 13	La destruction du système dunaire et la continuité des bâtis	140
Photo 14	Ensablement en plein route vers Sidi Mejdoub	140
Photo 15	Travaux de fixations de dunes au niveau de Oureah 2004	157
Photo 16	Résultat de la fixation des dunes au niveau de Oureah 2014	157

Organigramme

Organigramme 01	Milieu physique, ses différents facteurs et composantes.....	27
Organigramme 02	Approche de traitement des images satellitaires.....	79
Schéma	Schématisation des agents moteurs de l'ensablement.....	115

Liste des abréviations

Liste des abréviations

O.N.M.	Office national de la météorologie
D.S.A.	Direction service agricole
V ou CV	Vitesse ou classe de vitesse (m/s)
D	Direction des vents.
F	Fréquence des vents
P	Précipitations (mm)
H	Heure de relevés
Vmoy	Vitesse moyenne (m/s)
Vmax	Vitesse maximale (m/s)
A	Année
M	Mois
N	Nord
NNE	Nord-nord-est
NE	Nord-est
ENE	Est-Nord-est
E	Est
ESE	Est-sud-est
SE	Sud-est
SSE	Sud-sud-est
S	Sud
SSO	Sud-sud-ouest
SO	Sud-ouest
OSO	Ouest-sud-ouest
W	Ouest
ONO	Ouest-nord-ouest
NO	Nord-ouest
NNO	Nord-nord-ouest
ETP	Evapotranspiration potentiel
ETR	Evapotranspiration réelle
mm	Milimètre
cm	Centimètre
m	Mètre
km	Kilomètre
SAU	Superficie agricole utile
DMRH	Direction des études matricielles des ressources hydrauliques
A.N.R.H :	Agence national des ressources hydriques
A.N.A.T:	Agence nationale d'aménagement du territoire.
CTS	Centre des techniques spatiales.
U.R.B.A.M.	Urbanisme de Mostaganem.
IC	Indice de cuirasse
NDVI	Normalized Vegetation (Indice de végétation normalisé)
GPS	Global Position Satellite.
PDAU	Plan Directeur, d'Aménagement et d'Urbanisme.
SAT	Superficie Agricole Totale
SAU	Superficie Agricole Utile

Abstract

« L'Ensablement, un risque négligé en zone tellienne littorale, cas de la région de Mostaganem »

Résumé :

La zone d'étude Mostaganem est située dans le Tell littoral occidental de l'Algérie où le risque d'ensablement se manifeste avec plus d'acuité, ce dernier résultant des conditions morphologiques et climatiques nettement favorables à une dynamique éolienne. L'action anthropique pour sa part a concouru également à l'amplification de ce risque (déforestation, surpâturages, urbanisation), marqué beaucoup plus par l'extension urbaine (consommation d'espace agricole et dunaire) ainsi que par la morphologie des bâtiments qui modifient les paramètres microclimatiques. L'intérêt de ce travail de recherche est de mettre en évidence l'effet d'anthropisation dans l'évolution du risque d'ensablement, de montrer aussi que les éléments bâtis induisent une distribution et une perturbation de l'écoulement des vents transporteurs de sable et qui se répercutent sur les milieux : ensablement des terres fertiles, des routes et des habitations.

Pour caractériser cet impact nous avons développé une approche cartographique basée sur un traitement diachronique effectué par le biais de l'outil satellitaire (la classification supervisée, les indices de végétation et de cuirasse entre 1987 et 2011).

Ce traitement a montré que le phénomène d'ensablement est en évolution, à l'ouest comme à l'est de la zone d'étude, favorisé par plusieurs paramètres caractérisant la région ; un stock de sable abondant, un climat méditerranéen semi-aride et un vent dynamique de mars à août avec des fréquences élevées (Nord=14%) et une urbanisation au dépens des dunes et des surfaces agricoles, environs 688 ha par an de terrains sont viabilisés surtout le long du littoral où la topographie est peu accidentée.

Des efforts déployés pour lutter contre l'ensablement des routes et des surfaces (telles que : la reprise du vignoble, l'augmentation des cultures pérennes et la fixation des dunes) restent insuffisants. Comme, nous l'avons démontré au cours de notre recherche, l'avancée des sables dans les milieux est aussi le résultat du comportement du vent, des propositions ont été formulées pour asseoir une vision globale dans les aménagements, qui doit tenir compte des aspects écologiques et socio- culturels.

Mots clés : Mostaganem, Anthropisation, Morphologie urbaine, Vent, Ensablement, images satellitaires

« The silting of sand, neglected risk in coastal Tell zone, the region of Mostaganem »

Abstract:

Our study area (Mostaganem) is in the west coast of Algeria, where the risk of silting is manifested most acutely, the latter resulting morphological and climatic conditions clear support to wind dynamics. The human actions for its part has also contributed to the amplification of this risk (deforestation, overgrazing, urbanization), marked more by urban sprawl (consumption of agricultural and dune area) as well as the morphology of buildings alter the microclimate parameters. The interest of this research is to demonstrate the effect of human impact in the evolution of the risk of silting; to also show that the built elements induce distribution and disruption of the flow of sand carriers winds that affect the environments: silting of fertile lands, Roads and homes.

To characterize the impact, we have developed a cartographic approach based on a diachronic treatment carried out through satellite tool (supervised classification, the indices of vegetation and armor between 1987 and 2011).

This treatment has shown that the phenomenon of silting is changing, west as east of the study area, favored by several parameters characterizing the region; a stock of abundant sand, a semi-arid Mediterranean climate and a dynamic wind from March to August with high frequencies (North= 14%) and urbanization in favor dunes and agricultural areas, around 688 HK per year courses are serviced especially along the coast and the topography is slightly hilly.

Efforts to fight against sand encroachment of roads and surfaces (such as the recovery of the vineyard, increasing perennial crops and sand dune fixation) remain inadequate. As we have demonstrated in our research, the advance of sands in the media is also a result of the behavior of wind, proposals were made to establish a global vision in the facilities, which must take into account aspects ecological and socio-cultural

Key words: Mostaganem, human impact, Urban morphology, Wind, Silting, Satellites images.

عنوان المذكرة: زحف الرمال، خطر مهمش في منطقة تل ساحلية، حالة منطقة مستغانم.

ملخص:

تقع منطقة الدراسة "مستغانم" في الساحل الغربي للجزائر حيث يتجلى زحف الرمال بحدّة أكبر لما تتوفر عليه المنطقة من خصائص مناخية ومورفولوجية داعمة لديناميكية الرياح. ساهمت نشاطات السكان من جانبها أيضا في تضخيم هذا الخطر (إزالة الغابات والرعي الجائر، والتحضّر)، وتسارع بسبب الزحف العمراني (استهلاك مناطق زراعية وكتبان رملية)، ما أدى إلى تغيير معالم المناخ المحلي.

الهدف من هذه البحث هو تحديد أثر النشاط البشري على تطور خطر زحف الرمال خاصة العمران الذي غير بمورفولوجيته حتى وجهة وقوة الرياح الناقلة للرمال ما أثر على حركة الرمال وتسبب في زحفها نحو الأراضي الخصبة، والمنازل والطرق.

لتوضيح هذه الظاهرة قمنا بمقاربة من خلال التمثيل الخرائطي، معتمدين على البيانات الحولية (الفترات) التي وفرتها صور الأقمار الصناعية لسنتي 1987 و 2011، مع تحديد تصنيفات معينة كمؤشرات الغطاء النباتي و القدرة على التماسك. وقد أظهرت هذه المعالجة أن ظاهرة الترملة تغطي كل المنطقة (في الغرب كما الشرق)، و ذلك راجع للخصائصها؛ مخزون وفير من الرمل، مناخ البحر الأبيض المتوسط شبه الجاف والرياح السائدة الفعالة خاصة بين شهري مارس و أوت، المتميزة أيضا بالترددات العالية (شمال = 14%)، زيادة على التوسع العمراني على حساب الكتبان والمناطق الزراعية، حيث استهلك 688 هكتار على طول الساحل، لقلّة تعرجاته وتطرّسه.

جهود عديدة قامت بها الجهات المختصة لأجل محاربة زحف الرمال (مثل إعادة غرس الكروم، وزيادة المحاصيل المعمرة وتثبيت الكتبان الرملية... إلخ) لكنها لا تزال غير كافية لاحتواء الوضع، وهنا نشير إلى ضرورة إشراك كل الفاعلين حتى تتوفر في عمليات التهيئة النظرة الشاملة التي تأخذ بعين الاعتبار الجوانب الإيكولوجية والاجتماعية... والثقافية، لهذا الوسط.

الكلمات المفتاحية: مستغانم، الأثر البشري، المورفولوجيا الحضرية، الرياح، زحف الرمال، صور الأقمار الصناعية.