

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université El Hadj Lakhder-Batna
Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Terre



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister
en aménagement des milieux physiques.

Option : Dynamique des milieux physiques et risques naturels

Par : SAHRAOUI Abdelbasset

Sujet

Erosion éolienne et risque d'ensablement dans la
région de Barika :

Approche quantitative et cartographie automatique.

Soutenu publiquement le : 18/08/2008

Devant le Jury composé de :

Mr. KALLA M.	Maître de conférences	Université de Batna	Président
Mr. GUETTOUCHE M.S.	Maître de conférences	FSTGAT / USTHB	Directeur de recherche
Mme. KALLA H.	Maître de conférences	Université de Batna	Examinatrice
Mr. BOUTIBA M.	Maître de conférences	FSTGAT / USTHB	Examinateur

2008

Remerciement

Je tiendrais à présenter mes égards à mes père et mère qui, avec volontiers, ne s'étaient point arrêtés de me conforter dans mon travail de recherche afin qu'il soit complètement de mise tous azimuts, ainsi me faudra-t-il évoquer l'aide et l'appui de toute la famille, frères et sœurs de près, et toutes les personnes de loin.

Vertueusement, je rendrais grâce à Monsieur Guettouche M.S. de l'Université des Sciences et de la Technologie HOUARI BOUMEDIENE, de son efficace contribution et sa poursuite minutieuse dès le début de la réalisation de mon mémoire, jusques et y compris son achèvement, à qui je demeure profondément très reconnaissant.

Je suis à la merci de toute l'équipe de l'Université de Batna, notamment les enseignants de Département des Sciences de la Terre, qui ne cessaient de nous transmettre l'extrait de leur savoir.

J'exprime avec ferveur mes remerciements à mes collègues durant les années de formation, à mes amis et voisins et à tous les gens qui me connaissent.

Je remercie tous ceux et celles avec qui je me suis entretenu et entortillé autour de cette acquisition, sur ce, l'on espère être un tout petit pas dans le long et chemin de la science.

Sommaire

Introduction générale	
Problématique et objectif de l'étude	2
Localisation de la zone d'étude	4
Méthodologie	6
Plan	7
Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude	
1/Le relief	10
1.1/Les montagnes.....	10
1.2/Les piémonts	11
1.3/Les plaines	13
1.4/La dépression.....	13
1.5/Réseau hydrographique	15
2/Le cadre géologique	17
2.1/La stratigraphie-lithologie	17
2.1.1/Le Trias	17
2.1.2/Le Jurassique.....	17
2.1.3/Le Crétacé.....	18
2.1.4/Le Tertiaire.....	18
2.1.5/Le Quaternaire	20
2.2/La tectonique	22
2.2.1/La phase laramienne	22
2.2.2/La phase atlasique.....	22
2.2.3/La phase tellienne	23
2.2.4/La phase plio-quaternaire	23
2.2.5/ Le domaine atlasique	23
2.2.6/Un domaine préatlasique	23
2.3/L'hydrogéologie	24
3/Le cadre bioclimatique.....	24
3.1/Le climat	25
3.1.1/Les vents	26
3.1.2/La température	27
3.1.3/Les précipitations	29
3.1.4/Synthèse climatique.....	32
3.2/Les sols.....	33
3.2.1/Les sols des glacis d'érosion	35
3.2.2/Les sols des glacis d'accumulation	36
3.2.3/Les sols des cônes d'éboulis	37
3.3/La végétation.....	38
3.3.1/Les formations de montagne	38
3.3.2/Les formations steppiques.....	39
4/Les activités humaines	41
4.1/Le cadre bâti.....	41
4.2/Les infrastructures de base.....	43
4.3/La population	45
4.4/L'agriculture.....	46
Conclusion	51

Chapitre 2 : Erosion éolienne et aléa d'ensablement	
1/Aspect théorique et position du problème	54
1.1/Les caractéristiques	55
1.1.1/Au plan climatique	55
1.1.2/Au plan édaphique	55
1.1.3/Au plan géomorphologique	55
1.1.4/Au plan formation végétale	55
1.1.5/Actions anthropiques	55
1.1.6/Indices déterminant les origines du sable	56
1.1.7/Sources du sable	57
1.1.8/Composition minérale et aspect de sable	57
1.2/Le vent et son action	58
1.2.1/Le vent agent érosif	58
1.2.2/Le vent agent de transport	59
1.2.3/Le vent agent de formation des dunes	62
1.3/Les effets	69
2/Quantification de l'érosion éolienne	70
2.1/Equation de l'érosion éolienne	71
2.1.1/Eolisivité (érosivité du vent)	71
2.1.2/Eolibilité (érodibilité du sol)	74
2.1.3/Facteur rugosité K	75
2.1.4/Facteur longueur d'ouverture du champ L	76
2.1.5/Couvert végétal V	76
2.2/L'érosion éolienne potentielle ou aléa ensablement	77
3/Application sur la zone d'étude	77
3.1/Calcul de l'éolisivité	77
3.2/Calcul de l'éolibilité	82
3.3/Interprétation des résultats	84
Conclusion	86
Chapitre 3 : Vulnérabilité et risque d'ensablement dans la zone	
1/Définition du risque (notion d'aléa et de vulnérabilité)	88
2/L'analyse de la vulnérabilité	90
3/Cartographie de la vulnérabilité	91
4/Cartographie du risque d'ensablement (PER)	93
5/Interprétation des résultats	95
6/Perspectives de lutte contre l'ensablement	98
Conclusion	101
Conclusion générale	103
Bibliographie	106
Table des cartes	108
Table des figures	108
Liste des tableaux	109
Annexes.	

Introduction Générale

PROBLEMATIQUE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

Le sujet de l'érosion éolienne et par conséquent celui du risque d'ensablement a fait l'objet de plusieurs préoccupations en maints pays à travers le monde. Les régions dans lesquelles l'action du vent entraîne des effets graves, englobent le nord de l'Afrique, les régions arides et semi-arides au nord du Sahara, l'Afrique méridionale aride autour du Kalahari, le Moyen-Orient, certains secteurs de l'Asie méridionale et centrale, l'Australie, le sud de l'Amérique latine, les régions arides et semi-arides de l'Amérique du nord ainsi que le sud de l'URSS. Ces régions couvrent plus de 48 millions de km², soit plus du tiers de la superficie du globe terrestre. Malgré leur extrême vulnérabilité (29% de cette superficie sont déjà des déserts naturels et 46% sont menacés de désertification), ces zones supportent le poids de près d'un milliard d'habitants, soit près de 20% de la population de la planète. Au cours de chaque décennie, la superficie désertifiée dans le monde fut estimée à plus de 200.000 km².

La FAO, avec la contribution de l'Agence danoise pour le développement international (DANIDA), a organisé dans le passé plusieurs cours régionaux et nationaux sur la stabilisation et le reboisement des dunes. Ces cours ont été à l'origine de la formulation et de la réalisation de plusieurs projets de terrain tant au niveau national que régional.

Malgré les efforts faits par les pays concernés, l'ensablement reste un problème qui s'aggrave chaque jour un peu plus. Dans la plus grande partie des régions arides, et particulièrement en Afrique sèche, la satisfaction des besoins en terres pour l'agriculture, le pâturage et la quête du combustible ligneux ont été accompagnés d'une réduction considérable du couvert végétal, favorisant ainsi la mobilisation du sable et son accumulation sur les terres agricoles, les voies de communication et autres infrastructures humaines. Les retombées de ce phénomène, au plan socio-économique sont lourdes, elles se traduisent généralement par une baisse de la production agricole, l'exode rural, la migration...

C'est en raison de l'incidence directe de l'ensablement sur l'amenuisement de la production alimentaire et de la menace de le voir s'aggraver dans les années à venir que la FAO, en coopération avec les

pays membres, les agences bilatérales et multilatérales, a intensifié ses interventions pour la maîtrise des processus d'ensablement.

Le phénomène prend de l'importance quand il s'agit d'une pluviosité annuelle inférieure à 600 mm, où la saison sèche s'étend sur plus de six mois et une évapotranspiration potentielle dépasse 2000 mm et où la végétation de type steppique laisse de larges plaques de sol dénudé. Ailleurs sa dynamique peut aussi se développer dans des conditions de préparation du sol, celles-ci amènent une pulvérisation importante des matériaux superficiels secs. Il est admis que la vitesse du vent dépasse un seuil de l'ordre de 15 à 25 km/h ou de 4 à 7 m/s sur sols secs de manière que les effets de l'érosion éolienne soient d'autant plus considérables, de même les vents doivent être forts et réguliers ou comme des bourrasques prenant des directions dominantes.

L'estimation des quantités de matières déplacées par le vent, n'est pas aisée compte tenu de l'aspect aléatoire et diversifié de la manifestation du phénomène. Plusieurs formules mathématiques ont été proposées au niveau d'expériences menées à travers le monde. Les facteurs d'influence ont été déterminés pour une estimation de la perte de sol causée par le vent, pouvant se faire directement par mesure qualitative des effets sur la baisse de productivité des sols ou l'ensablement des infrastructures, elle peut se faire également par l'utilisation de l'équation de l'érosion éolienne (WEE), non seulement en fonction de la nature de sol, mais aussi dépendant de tous facteurs qui contribuent à déclencher et à intensifier le phénomène, c'est ce que la formule de l'érosion éolienne avait vu plusieurs modifications et améliorations, les scientifiques (tels Chepil et Al, Skidmore, Siddoway et Woodraff) tâchaient d'évaluer les facteurs, chacun selon son intervention, afin de s'approcher à une estimation réelle actuelle ou potentielle, en se référant aux aptitudes des zones au phénomène éolien.

A l'imitation de la région de Barika qui est un éco-géosystème steppique, il se peut que la dégradation s'accroisse au fur et à mesure, voilà pourquoi il est sujet de recourir à la quantification de l'érosion éolienne potentielle, une approche quantitative portant le concept de la probabilité, les résultats acquis se traduisent sur toute la région par une cartographie automatique, dont deux cartes seront essentiellement réalisées, d'aléa et de vulnérabilité, qui permettront, après

l'interférence, d'obtenir la carte d'exposition au risque d'ensablement, ou le plan d'exposition au risque PER.

LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

La région de Barika se situe dans la partie Nord orientale de l'Algérie ; elle est coïncée entre les longitudes 5° - 5°40' Est et les latitudes 35° - 35° 40' Nord.

Ayant une superficie de 4328.33 km², cette région fait partie du bassin du Hodna ; elle appartient aux hautes plaines steppiques algériennes. Elle est bordée :

-Au nord, par les monts du Hodna, essentiellement le massif de Bou Taleb.

-A l'ouest, la région est ouverte, comprenant la partie est du Chott El Hodna et l'unité de djebel Fozna.

-Au sud, par les monts des Zibans, à travers lesquels se développe un couloir plus au moins large qui permet la communication de cette cuvette avec la marge nord du Sahara.

-A l'est, la cuvette est fermée par les monts de Belezma et les Aurès.

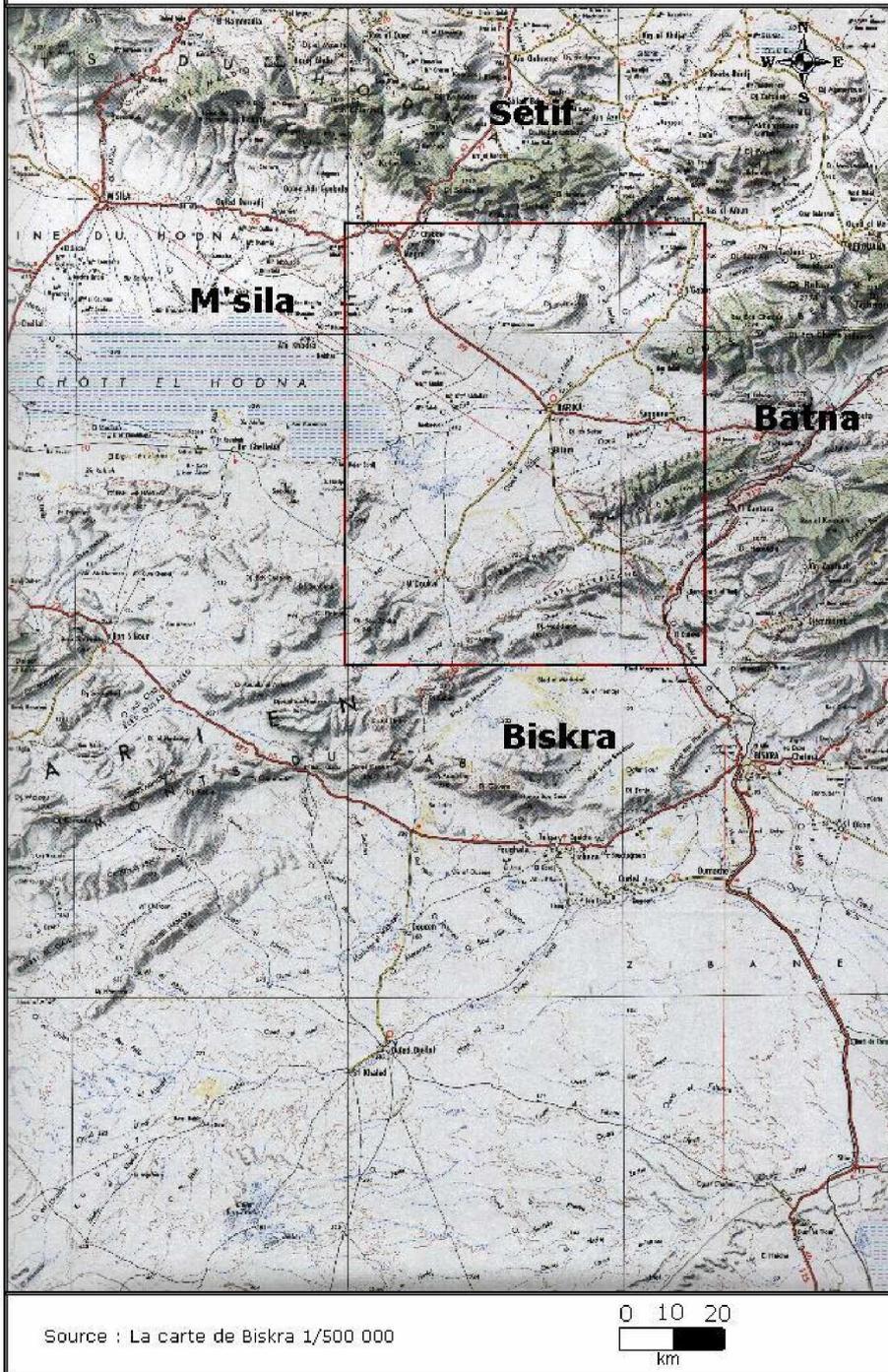
Sur le plan administratif, la région de Barika se situe dans la partie ouest de la Wilaya de Batna, limitée au nord par la Wilaya de Sétif, à l'ouest par la wilaya de M'Sila, au sud par la Wilaya de Biskra.

Le choix des limites cartographiques est dicté par la nature même de notre objectif, car le phénomène étudié nécessite cette délimitation afin de déterminer son impact sur toute la région à une échelle de 1/200000^e tout en englobant le Hodna oriental, quoique les limites physiques ne se présentent pas conformément de par l'absence d'un bassin versant bien apparent.

Les points, en coordonnées kilométriques au 200.000^e, suivants font l'objet de la localisation, et servent de points de calage dans notre Système d'Information Géographique (SIG):

	P1	P2	P3	P4
X	681.1	740	682.5	740
Y	3950	3950	3875.26	3876

Fig n°1 : Localisation de la zone de Barika



METHODOLOGIE

Pour mener à bien notre sujet d'étude, une méthodologie basée sur les trois étapes suivantes, a été adoptée :

Première étape : C'est une étape axée sur la collecte des données concernant la zone d'étude, à savoir, celles qui présentent les phénomènes naturels (climatiques, géologiques, pédologiques...), et celles des activités humaines existées dans la région d'étude, fournies par tous renseignements et/ou documentations trouvés. Aussi la collecte des données sur l'érosion éolienne et l'ensablement, basée sur une recherche bibliographique touchant plusieurs organismes, établissements et organisations.

Deuxième étape : Elle concerne le traitement et l'analyse des données qui ont pour but d'effectuer les calculs de différents paramètres et d'exploiter les résultats dans un système d'information géographique. Ceci ajoute une autre dimension aidant mieux à ressortir les points fondamentaux du terrain et à connaître les potentialités et les contraintes de la région.

Troisième étape : C'est le travail de synthèse, les résultats obtenus seront concrétisés et matérialisés par une représentation infographique analytique et de synthèse, soutenue par une interprétation précise tout en démontrant les conséquences et les perspectives.

La méthodologie utilisée, bien quelle paraisse facile, elle est assez fonctionnelle avec la nature du sujet à étudier, car les paramètres se sont enchaînés et les idées se sont ordonnées pour mettre en vedette la dynamique du phénomène naturel dans la région d'étude sans se baser beaucoup davantage sur tous les éléments, autrement dit, appréhender le thème dans son contexte afin qu'il soit abordable et dépourvu de complexité.

PLAN

Le travail contient trois chapitres :

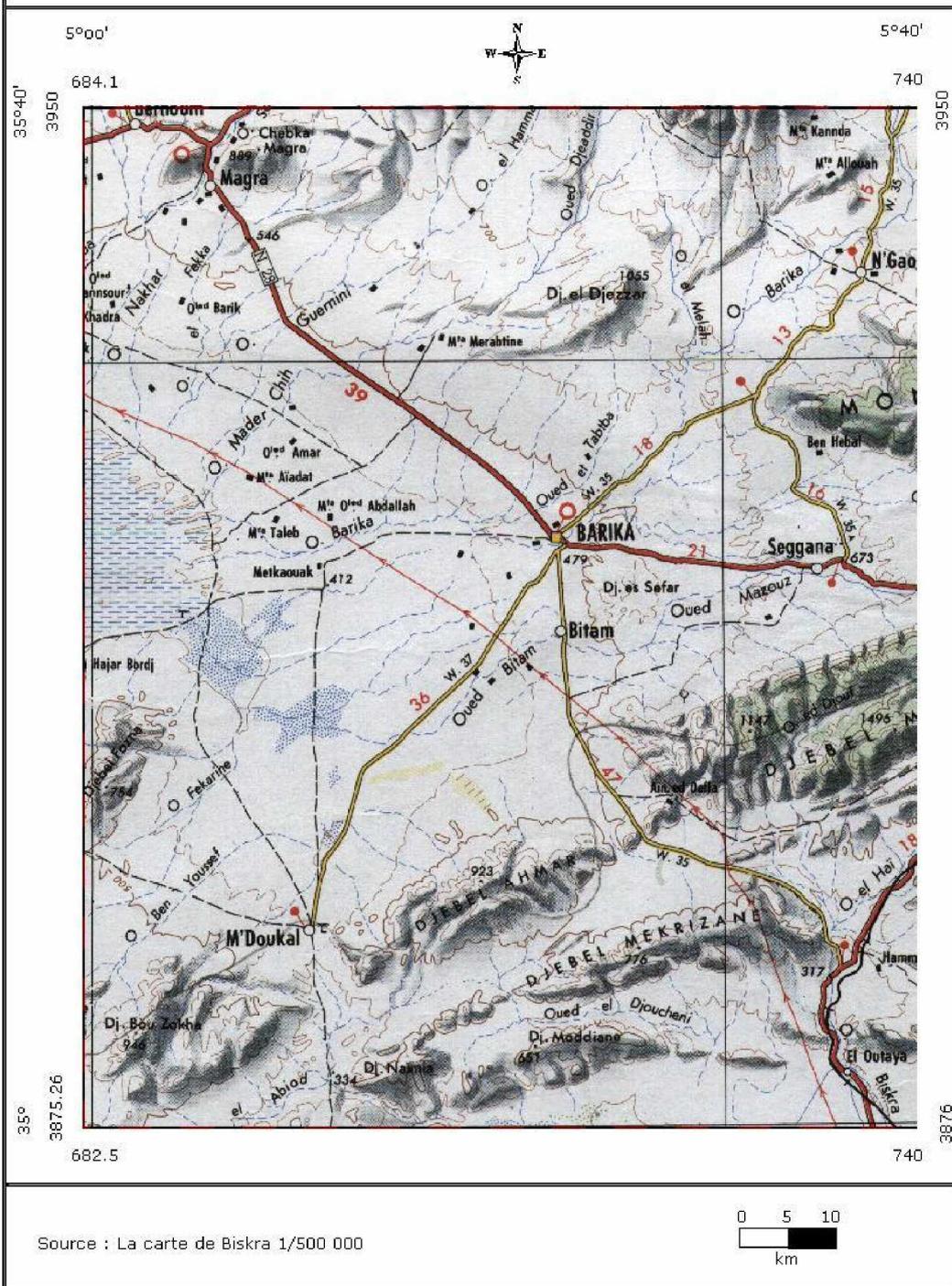
Le premier consiste en la présentation de la région d'étude, tout savoir sur les caractéristiques et les processus physiques de sorte qu'on puisse déterminer ceux qui surgissent la dynamique éolienne, son impact et ses répercussions sur la stabilité du milieu.

Le deuxième chapitre tente à préciser effectivement l'érosion éolienne et son évolution, aussi l'aléa d'ensablement et son mécanisme, les facteurs qui favorisent l'intensification de l'effet éolien, et puis, en passant au calcul de la perte du sol par l'application de la formule des mieux appropriées au contexte étudié, on pourrait focaliser et viser les portions à fort et à faible aléa.

Le dernier chapitre s'attaque à la cartographie du risque, d'abord le calcul de différentes densités des paramètres des enjeux socio-économiques pour cartographier la vulnérabilité, ensuite cartographier l'aléa, en fin la réalisation de la carte finale et l'interprétation des résultats trouvés.

Le travail se termine par une conclusion générale qui résume l'essentiel des idées évoquées.

Fig n°2 : Présentation de la région de Barika



Chapitre 1

Présentation de la zone d'étude

Comme toute portion de la surface terrestre, la région résulte de l'interaction de multiples phénomènes et facteurs, physiques et climatiques, édaphiques et biotiques, y compris anthropiques. Nous allons donc présenter ici les caractéristiques de la zone d'étude, en particulier celles qui régissent l'activité éolienne, pour élucider les causes réelles et appréhender son mécanisme à travers toutes les données acquises.

Il faut noter ici que ce chapitre a été mis au point en se basant sur plusieurs travaux, citons celui de GUIRAUD R.(1971), de GUETTOUCHE M.S. (2003).

1/Le relief

Engendré par des mouvements structuraux et érosifs, le relief présente les formes de la surface de la terre, qui regroupent toutes les irrégularités de la croûte terrestre: montagne; piémont; colline; plaine; dépression.... La zone d'étude comporte tous les types à l'exception des plateaux (carte1).

1.1/Les montagnes

La montagne est une structure topographique en relief positif plus élevé que les terres qui l'entourent.

Caractérisées par une dénivellation importante et surtout par la vigueur de leur pente, les montagnes jouent également un rôle de barrières climatiques. Dans cette région, elles occupent 28% de la superficie (1212 km²) qui se répartissent comme suit :

Au sud, l'Atlas Saharien qui est formé d'une série de montagnes, bien alignés suivant une direction ENE-WSW. Cette chaîne est aménagée dans des formations secondaires et appartient au domaine atlasique. Les monts des Zibans (M'Doukal–Biskra) ; zone charnière, topographiquement moins élevée et un peu plus complexe sur le plan géologique.

A l'Est, les monts de Belazma font partie des structures de l'Atlas saharien et correspondent à la terminaison périanticipline des Monts

de Batna qui se caractérisent surtout par des terrains crétacés (marnes, calcaires, calcaires dolomitiques...).

Les altitudes de cet ensemble montagneux passent de 600m dans les zones sud à 1500m dans les zones est. Citons Dj. Naimia 619 m ; Dj. Moddiane 651m ; Dj. Fozna 754m ; Dj. Ahmar 923m ; Dj. Bou Zokra 946m ; les Monts de Belezma 1300m et Djebel Metlili 1496m.

La faiblesse des altitudes de ces reliefs ceinturant au Sud les hautes plaines steppiques du Hodna, est considérée comme un facteur permettant les influences désertiques sur la région du Hodna.

1.2/ Les piémonts

Ce sont des surfaces d'accumulation à pente douce et régulière, situées en contrebas de montagnes, leur altitude varie plus ou moins, de 600 à 800m au nord et à l'est, et de 500 à 600m au sud. Ils ont une superficie de 1417 km², ce qui représente environ 32% de la superficie totale.

Au nord, le système de piémont, aménagé dans une structure synclinale, de terrains tertiaires où il apparaît des collines, telles que Chabket Magra (889m), Chabket El Guedah (731m), Chabket Bouchara (792m). Ce système se caractérise par une morphologie étendue et très variée spatialement.

Bref, le piémont nord constitue une zone subsidente, caractérisée par un remplissage mio-plio-quaternaire très important. La tectonique cassante est réduite au contact anormal des terrains allochtones avec l'autochtone. Il constitue le domaine pré-tellien.

L'important est de noter que le piémont, dans la zone de Berhoum, présente un relèvement axial très net, visible au niveau des formations tertiaires ; ce qui confirme l'aspect de «zone haute» par rapport à Barika.

Au sud, le système de piémont est moins large, de telle sorte que, par endroit, on passe de la montagne vers la Sebkhah.

Sur le piémont sud se sont développés des sols à encroûtements et à croûtes gypseuses. Leurs surfaces, dans la plupart des cas, sont ensablées par un système de Nebkas et de dunes.

1.3/Les plaines

Représentent un ensemble de surfaces planes avec des pentes faibles à nulles, occupant une portion de 36% de la surface (1560 km²) et se localisent entre la zone des glacis et le chott.

Au nord et à l'est, une vastitude allant de 400 à 600m d'altitude, alors qu'au sud les plaines sont moins étendues, de 400 à 500m. Ceci s'explique par la position des montagnes qui ont une faible distance par rapport à la dépression.

Au Sud, la plaine de Barika porte, à l'immédiat du chott et au Nord-Est de l'agglomération de M'Doukal, une série de champs dunaires.

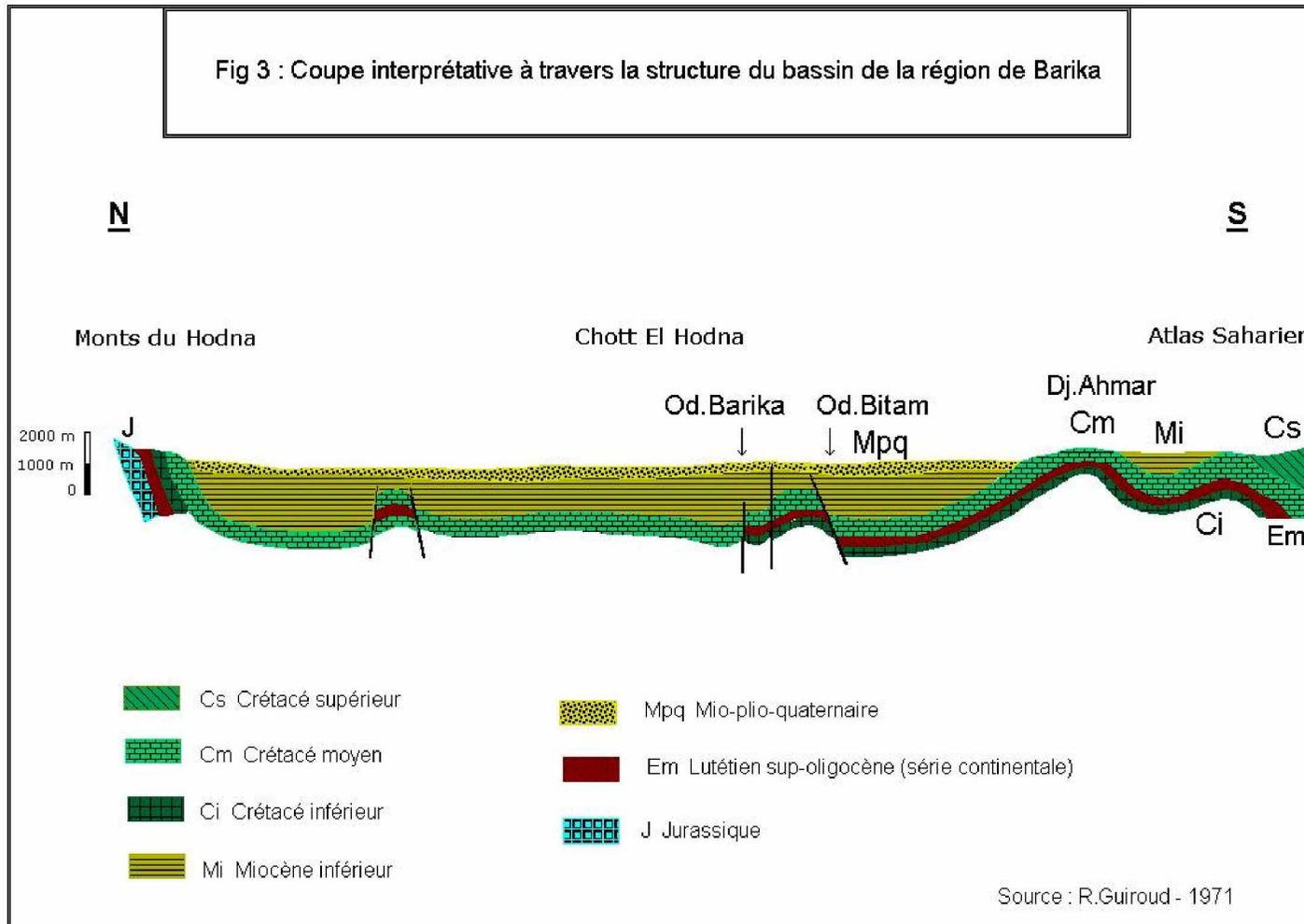
1.4/La dépression

C'est une zone d'altitude inférieure à celle de la surface voisine, elle s'est formée par suite d'effondrement ou d'affaissement, dont la cuvette constitue une zone de basse pression. Dans la région d'étude, la dépression est à une altitude inférieure à 400m avec une superficie de 171 km² (4%) répartie en trois chott, celui du Hodna, celui du petit chott et celui de M'Doukal au sud.

Le système de dépression à l'ouest, est matérialisé par des dépôts gypso-salins et des dépôts éoliens plus au sud.

En conclusion, la zone est organisée suivant deux grandes structures ; l'anticlinorium des monts et le synclinorium de la cuvette. Ils appartiennent à deux styles tectoniques différents, tellien au nord et atlasique au sud. Entre les deux styles, un domaine de confusion (Guettouche M.S. (2003)-Guiraud R. (1971)), pré-tellien / pré-atlasique (fig3).

Fig 3 : Coupe interprétative à travers la structure du bassin de la région de Barika



1.5/Réseau hydrographique

Un organisme qui assure le drainage par un système hiérarchisé de collecteurs qui transfèrent les eaux vers les oueds. Les cours d'eau convergent vers la sebkha, en dessinant un réseau très dense d'oueds et de ramifications secondaires. L'ensemble de ces oueds se caractérise par des vallées bien ancrées dans les montagnes et qui divaguent à la sortie.

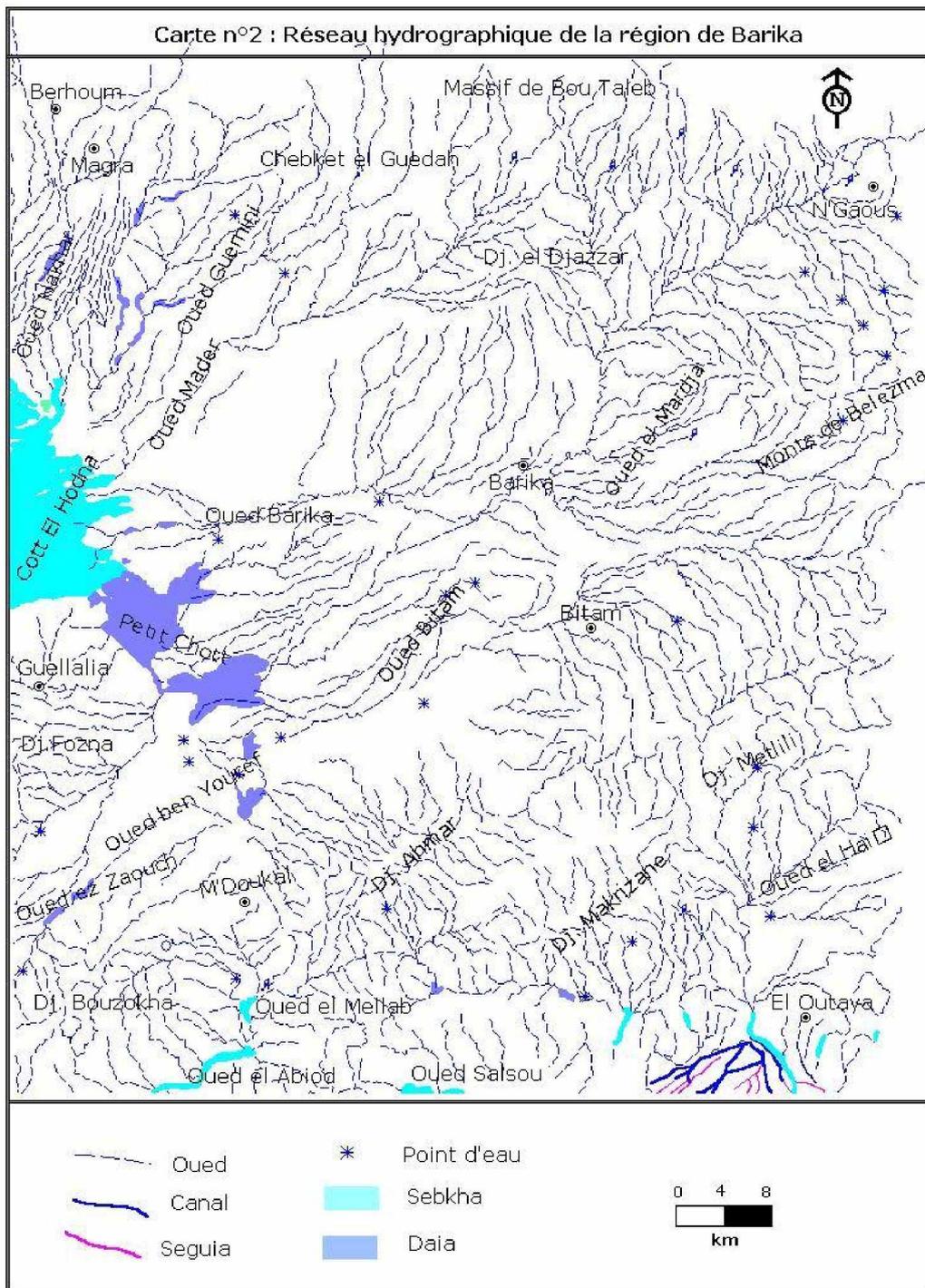
En montagne, les vallées présentent un tracé sinueux caractérisé par des méandres le long de l'oued, et un profil transversal en «V» créant ainsi des gorges étroites. La direction de ces vallées est variable, présentant parfois un arc de cercle et elles débouchent vers le piémont en gorge.

Quant au piémont, nous constatons qu'il est parcouru par un enchevêtrement d'oueds anastomosés, souvent à écoulement sporadique, mais qui ne sont alimentés que par le ruissellement des eaux pluviales.

Le réseau hydrographique, à ce niveau, est généralement très dense (carte2) et que les oueds sont contiguës et à tracé sinueux. Sa densité est due aux formations superficielles moins perméables.

Quelques cours d'eau prennent naissance au sein des plaines afin de se raccorder à des oueds (Oued Barika, Oued Bitam, Oued Mader) qui s'orientent vers la dépression dans laquelle ils se jettent.

L'oued Barika draine un bassin versant de 1890 km² où il prend source et continue son cours au sud-ouest sur une longueur de 82 km et une pente moyenne de 20,7 m/km. Il reçoit, entre autres, plusieurs affluents dont les plus importants sont les oueds Khelidj Sakheri, Merzoug, El Merdja, Gouriane, Tabeggart et El Melah. Son chevelu hydrographique est développé ($Dd=3,9$ km/km²) et couvre la totalité du bassin versant. (Etude de protection de la ville de Barika contre les inondations par ENHYD).



Réalisée par Sahraoui Abdelbasset

Comme la plupart des oueds méditerranéens, le régime hydrologique reflète fidèlement le régime pluviométrique de la zone étudiée, il est très irrégulier et l'écoulement de la majorité des oueds est intermittent et ne coulent généralement que pendant la période pluvieuse.

2/Le cadre géologique

Faisant partie du domaine alpin, la région de Barika est un territoire intégrant la bordure nord de l'Atlas saharien au sud et les Monts de Belazma à l'Est. Il couvre plusieurs ensembles morphologiques qui résultent d'une évolution géologique très complexe et d'une tectonique polyphasée.

2.1/La stratigraphie-lithologie

Les terrains affleurants dans la région, sont essentiellement secondaires et tertiaires. Ils couvrent un socle hercynien plus profond et qui n'affleure qu'en dehors de la zone d'étude. Cette couverture, volumineuse et variée, fortement plissée et fracturée, est constituée par les séries suivantes :

2.1.1/Le Trias

Les pointements triasiques sont peu fréquents à absents dans notre zone d'étude, mais avec une position structurale anormale. Il s'agit de formations argilo-gypseuses ou salines, englobant des amas volumineux et chaotiques appartenant soit à la couverture sédimentaire (calcaires, dolomies, grès,...) soit au socle (rhyolites, basaltes, argiles micacées,...).

Le régime dominant dans cette période est Lagunaire généralisé, dont on observe la présence de lambeaux paléozoïques associés à des masses du trias diapirique et que la composition lithologique est d'argiles bariolées, gypses, dolomies, cargneules, roches vertes.

2.1.2/Le Jurassique

Le Jurassique n'occupe que des surfaces réduites qui affleurent, sous forme d'îlots dans les monts de Belazma, et Dj Fouzna dans l'Atlas saharien. Il a connu des mouvements bathyaux d'instabilité épisodique du tréfonds et le phénomène de hard-ground. Il est constitué par :

-Le Lias est représenté par de grosses masses de dolomie et de calcaire dolomitique, avec une épaisseur d'environ 230m, connu par un régime épicontinental.

-Le Dogger est constitué essentiellement d'une alternance de calcaires et de marnes, avec une épaisseur de 70m.

-Le Malm représente une épaisseur de plus de 600m de calcaires argileux, de marnocalcaires et de calcaires marneux.

2.1.3/Le Crétacé

Il est constitué de deux grands ensembles de formations, dépassant les 4000m d'épaisseur, celles du Crétacé inférieur et celles du Crétacé supérieur.

-Le Crétacé inférieur affleure largement dans les chaînes montagneuses qui entourent la cuvette. Les faciès sont souvent monotones, des faciès marno-gréseux ou argilogréseux alternant sur de fortes épaisseurs, avec des formations carbonatées d'importance moindre.

-Le Crétacé supérieur forme l'essentiel des affleurements mésozoïques dans la région. Il est constitué principalement de marnes, de marno-calcaires, de calcaires et de dolomies caractérisant le début du régime continental.

Le Trias, le Jurassique et le Crétacé sont les trois périodes de l'ère secondaire, les plus anciennes formations de la région, ont été prises en place sur les monts au sud (carte3).

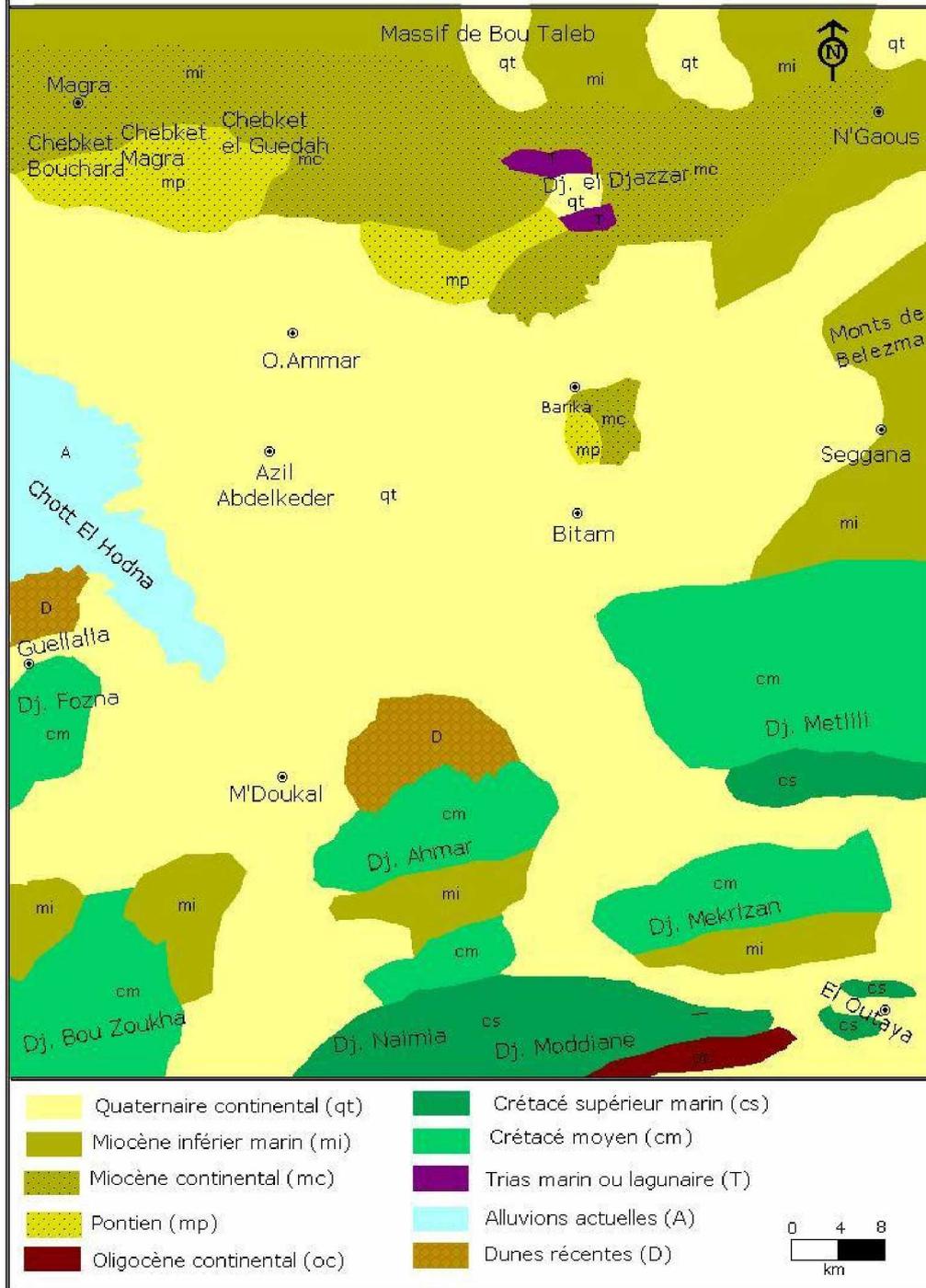
2.1.4/Le Tertiaire

Ses mouvements s'alternent entre marin, lagunaire et continental, ce qui engendre des surfaces d'érosion et des dépôts dans le bassin, Il se subdivise en deux périodes :

-Le Paléogène : Les formations paléogènes sont limitées dans le bassin aux régions septentrionales et les principaux affleurements plongent en directions du sud. La puissance de ces formations dépasse les 800m.

Surmontant les calcaires et les marnes du Maëstrichtien, le Paléogène débute par des marnes gypseuses, noires du Danien, surmontées par

Carte 3 : Principales formations géologiques de la région de Barika



Réalisée par Sahraoui Abdelbasset

Source : L'esquisse géologique de l'Est Algérien

une série alternée de marnes et de calcaires parfois argileux, puis une série d'argiles vertes et de lits gypseux irréguliers, le tout appartenant à l'Eocène. Une formation continentale rouge, constituée d'une alternance d'argiles, de sables et de grès de l'Oligocène, termine les séries paléogènes.

Des terrains argilo-marno-gréseux, d'âge éocène et oligocène, se trouvent emballés dans le Miocène du bassin et tout au long de la bordure sud-tellienne. Ces formations appartiennent, selon M. Kieken (1975), aux nappes de charriage sud-telliennes.

-Le Néogène : Les terrains néogènes, d'une épaisseur considérable (>3500m), occupent une grande superficie, surtout au nord, dont les principaux affleurements se localisent dans les piémonts et les plaines. Ces formations marines ou laguno-lacustres discordantes, débutent par une série jaunâtre à verdâtre du MiocèneI, constituée de minces bancs calcaires sableux, surmontée par des marnes grésocalcaires qui se terminent par une alternance de marnes sableux, de grès calcaires et de calcaires sableux.

Une puissante série transgressive, marneuse ou marno-gréseuse du MiocèneII (moyen), surmonte le Miocène 1er cycle (inférieur). On note ici la présence de nappes de charriage interstratifiées au sein de cette formation.

Le MiocèneII est surmonté par un ensemble néogène post-nappes appartenant au MiocèneIII (supérieur ou remplacé par le Pontien). Il s'agit d'une formation essentiellement argilo-gréseuse, surmontée en concordance par une épaisse série conglomératique alternant avec des grès et des marnes sableuses et gypseuses.

2.1.5/Le Quaternaire

La lithostratigraphie se termine souvent par le Quaternaire qui est très développé dans la région. Après la phase tectonique plio-quaternaire, ayant abouti au plissement des formations pliocènes, une évolution continentale caractérisée par des variations climatiques et des phénomènes néotectoniques importants s'est faite. Ceci peut être perçu à travers la diversité des formes, des héritages et des modelés.

Les phases d'évolution quaternaire se traduisent, dans les paysages par le façonnement de plusieurs formes et dispositifs géomorphologiques.

Il s'agit notamment de glacis, de terrasses fluviales, de cônes de déjection et de cônes d'éboulis.

-Les glacis se sont développés au pied des reliefs structuraux, leur surface topographique a une pente longitudinale ne dépassant pas les 12%, légèrement concave et une pente latérale presque nulle, parcourue par des rills sans s'enfoncer dans la surface.

Longitudinalement, les cours d'eau s'encaissent dans les glacis ce qui implique un rajeunissement de cette forme. Le contact entre les versants structuraux et les glacis est souvent rectiligne, malgré la présence de quelques rentrants qui permettent la pénétration de ce système dans la montagne. On distingue deux types de glacis, les glacis d'érosion et les glacis d'accumulation.

La partie amont de ces glacis se caractérise par la présence de discontinuités tandis que le côté de l'aval débouchant souvent sur une zone d'accumulation, les *champs d'épandage* ou *playa*, qui sur lequel s'installe la Sebka. Celle-ci se réduit, en saison sèche, à une croûte de sel, développée sur les dépôts limoneux.

-Les terrasses : Suivant leur position topographique, la plupart des terrasses alluviales sont édifiées dans les vallées de la partie montagneuse. Ces terrasses présentent généralement des surfaces plates et des rebords abrupts.

A noter aussi que les formations quaternaires, dans cette zone, varient d'un secteur à un autre :

-A la sortie du cadre montagneux, l'accumulation est très grossière, mais d'épaisseur faible, témoignant d'une compétence très élevée des oueds.

-Alors qu'en aval, elle devient fine mais très épaisse, reposant sur un substrat marneux de 15° à 20° de pendage vers la sebka.

2.2/La tectonique

L'étude des terrains a permis de voir que la région étudiée a connu plusieurs événements tectoniques dont certains relèvent de la tectogénèse néoalpine responsable de la mise en place du domaine tellien ; d'autres relèvent plutôt de phases plus anciennes mais essentiellement atlasiques.

Ces événements peuvent être résumés en 4 importantes phases :

2.2.1/La phase laramienne

Elle a débuté au Turonien et s'est poursuivie pendant le Sénonien. C'est une phase de compression suivie d'une période de distension et dont les effets intéressent le domaine préatlasique et l'Atlas saharien. Les premières déformations importantes de cette phase apparaissent au sommet du Turonien et se poursuivent pendant le Sénonien. Il s'agit, généralement, de bombements accompagnés de cassures NW, NE ou ENE dont certaines d'entre-elles ont permis la mise en relief des formations triasiques.

2.2.2/La phase atlasique

Les effets de cette phase ont commencé à se faire sentir dès la fin du Crétacé et se sont prolongés jusqu'à l'Eocène moyen. Cette phase, en superposant ses effets à ceux de la précédente, elle est responsable de la disparition des lagunes éocènes et de l'amorce des plissements de l'ensemble de la chaîne alpine algérienne, particulièrement le domaine atlasique et préatlasique. L'Oligocène, discordant dans ce secteur, est lui-même plissé avant le dépôt du Miocène inférieur.

2.2.3/La phase tellienne

Elle est responsable de la surrection de certains ensembles structuraux telliens et la mise en place des terrains nappés sur les bordures nord du terrain étudié. Cette phase essentiellement compressive, a été suivie par une distension responsable de l'effondrement du bassin du Hodna.

2.2.4/La phase plio-quadernaire

Elle se caractérise par des mouvements surtout verticaux, ayant conduit à l'individualisation définitive des ensembles morphologiques de la région.

Les effets de chacune de ces phases peuvent être suivis à travers le tronçon algérien de la chaîne alpine, selon le découpage proposé par R. Guiraud (1973). Il s'agit de deux domaines présentant des styles tectoniques différents qui sont, du Sud au Nord :

2.2.5/Le domaine atlasique

Correspond essentiellement à un ensemble morphologique bien individualisé, les Aurès-Nememcha au SE. Il est constitué de plis vastes, assez réguliers et souples, dont l'orientation est voisine de N60°E. Cette structure de plis se limite, dans l'Atlas saharien, aux cuvettes synclinales orientées N40° à N50°E, souvent obliques à la direction générale de la chaîne ; Ces structures atlasiques sont affectées de nombreuses cassures obliques (N60°E) qui ont joué principalement avant le Miocène, et de cassures EW, tel que l'accident Nord atlasique qui sépare le domaine atlasique de celui du domaine préatlasique.

2.2.6/Le domaine préatlasique

Ce domaine est représenté, dans la zone d'étude, par le synclinorium du Hodna et l'anticlinorium des monts du Hodna, respectivement couloir préatlasique et chaîne préatlasique. Le synclinorium de la cuvette hodnéenne peut être subdivisé en plusieurs structures comprenant l'aire synclinale de Barika.

A noter aussi que plusieurs replis affectant le Mio-Pliocène, caractérisent la région de Barika. Ce sont le synclinal de Magra, l'anticlinal de Theniat Zit et le synclinal perché de Dj. Djezzar.

Il faut signaler enfin que ces différents domaines tectoniques caractérisant la zone d'étude, sont affectés d'accidents majeurs, appelés : failles transversales. On note la présence d'au moins deux accidents transversaux qui traversent la zone d'étude ; celui de

Constantine–N’gaous à l’Est et celui de Setif–Aïn Oulmane–Guellalia au Nord-Ouest et qui ont rejoué à des époques très récentes.

2.3/L’hydrogéologie

Les ressources hydriques souterraines au nord sont très faibles, du fait de l’indigence des précipitations, de la grande extension des terrains marneux imperméables et de la structure quasi-monoclinale du piémont.

En effet, dans les montagnes, quelques sources surgissent des falaises calcaro-dolomitiques avec un débit très faible. Seules les sources liées à des failles offrent un débit important en fournissant des eaux thermales.

Au piémont, les terrains aquifères sont les formations continentales mio-plio-quaternaires qui renferment deux sortes de nappes :

-*La nappe artésienne du Mio-pliocène* où les principaux niveaux se situent entre 100 et 200m de profondeur. Elle est exploitée par des forages et ses eaux de faibles teneurs en chlorures (<0.1 g/l).

-*La nappe phréatique* qui existe dans la plaine et aux débouchés des principaux oueds. Celle-ci est exploitée par des puits de grand diamètre et de faible profondeur alors qu’elle n’est pas trop salée.

Les eaux souterraines sont les ressources les plus utilisées notamment pour l’AEP et l’agriculture. La mobilisation de ces potentialités est assurée par un grand nombre de forages, puits individuels ou collectifs et les sources captées ou non captées, réparties surtout dans la plaine de Barika, la majorité sont en exploitation, et d’autres abandonnés définitivement à cause du tarissement et parfois de la salinité.

3/Le cadre bioclimatique

En plus du rôle des facteurs abiotiques, il est certain que les facteurs biogéographiques ont aussi un rôle déterminant dans l’organisation et le fonctionnement des géosystèmes. Ils sont responsables non seulement des édifices hérités, mais en particulier de la plupart des processus morphogéniques récents et actuels.

Dans cet ordre, il est nécessaire d'aborder les paramètres climatiques qui affectent cette zone, ensuite les conditions édaphiques et phytocologiques.

3.1/Le climat

Le climat de la zone d'étude ne peut être dissocié de celui du Hodna, c'est un climat méditerranéen qui comporte deux saisons: l'une humide et fraîche en hivers, attirée surtout par les anticyclones du front nord ; l'autre sèche et chaude en été, installée par l'effet des anticyclones sud.

A partir des entités physiques, même au sein d'entre elles, nous observons des différences au niveau climatique et au niveau géomorphologique qui s'accompagnent sur le terrain par une répartition distincte et stratifiée de la végétation et de l'occupation des terres. En effet, ces différences climatiques désignent les étages bioclimatiques :

- Semi aride aux sommets des monts du Belezma, Dj. Metlili où les précipitations sont assez importantes de 300 à 400 mm/An.
- Aride frais régnant dans la zone des glaciés, dont la pluviométrie est comprise entre 200 et 300 mm/An, N'Gaous 223 mm/An (Seltzer) et à l'étage semi-aride frais.
- Aride doux touchant une partie de la plaine comprenant notamment les communes de Barika, Bitam et Ouled Ammar. Les précipitations sont inférieures à 300 mm/An (Barika 224 mm/An).
- Saharien touchant une grande partie de la plaine et notamment les agglomérations de Azil Abdelkader et de M'Doukal, aussi le versant Sud des Aurès et les montagnes du versant Nord des Monts du ZAB. Les précipitations sont inférieures à 200 mm/An et les conditions naturelles sont très difficiles.

Dans la région de Barika, le relief influe sur les facteurs climatiques et explique certains contrastes locaux : à l'Est les monts de Belazma et des Aurès, très élevés, font barrière aux masses d'air du NE et de l'Est ; au Sud, les monts des Zibans, moins élevés, laissent de larges ouvertures aux influences du climat saharien.

3.1.1/Les vents

Il est à noter d'abord que les monts du Hodna et des Aurès sont localement le siège de hautes pressions, les vents s'infiltrent alors, par le couloir de Batna-N'Gaous, dans la cuvette qui joue ainsi le rôle d'une zone de basse pression. Car le manque de stations mesurant les vents dans la zone d'étude, ne permet pas de faire une analyse détaillée de ce paramètre ; seule la station de Barika, fournit des mesures de fréquences et de vitesses du vent sur plusieurs années, à cela s'ajoute la station de M'sila en dehors de la région mais utilisable puisque l'effet du vent est régional.

La direction et la vitesse des vents sont très variables au cours de l'année, le tableau n°1 montre que les vents du N, NW et W sont les plus dominants sauf en été où la dominance est aux vents chauds du Sud. Tandis qu'en hivers, la région de Barika est soumise aux vents froids.

Le vent d'Ouest «Gharbi», sec et froid, apporte plus de nuages que de pluies, il est responsable des orages de fin d'été. Les vents pluvieux sont ceux du NW et du N «Bahri» ; les vents du NE et de l'Est «Chergui», passant par les Aurès et Belazma, sont froids en hivers et relativement frais en été. Les vents du Sud «Chehili» sont secs et chauds, avec une grande action de sécheresse en été qui pendant lequel ils créent des *tempêtes de sable* dans la zone.

Tab.1-Fréquence des vents suivant la direction

DIRC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DÉC	ANN
N	18	16	15	13	15	12	12	9	12	13	14	16	14
NE	12	10	15	15	15	16	15	17	13	15	14	12	14
E	11	9	8	8	6	9	9	11	10	10	10	12	10
SE	6	6	8	7	6	9	12	7	11	7	5	6	7
S	4	5	8	11	15	19	19	19	14	18	7	4	11
SW	7	9	9	12	10	13	15	14	12	6	6	7	10
W	20	21	17	16	16	12	10	13	13	18	19	19	17
NW	22	24	20	18	17	10	8	10	13	23	25	24	18

Source : Projet FAO-HODNA.

L'analyse du tableau permet de voir aussi que durant l'année, les vents dominants sont ceux de l'ouest et du NW et ceux du nord et du NE avec

plus de 60%. Les vents de l'est et du SE ne présentent que 17%, alors que ceux du sud et du SW arrivent à 21%.

Quant aux vitesses des vents, le tableau n°2 montre que les vitesses sont relativement faibles à modérées et sont régulièrement réparties sur l'année. Elles varient entre 2 et 3 m/s.

Tab.2-Variabilité mensuelle de la vitesse du vent en m/s
(à 0.5 mètre au dessus du sol)

STATION	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUT	SEP	OCT	NOV	DÉC	ANN
Barika	1.9	2.1	2.4	2.7	2.5	2.6	2.4	2.3	2.5	2.1	2	1.8	2.3
M'sila	2.2	3.1	2.6	2.4	2.8	2.8	2.8	3	2.5	1.8	1.6	2.2	2.5

Source : Projet FAO-HODNA.

A peine remarque-t-on que la vitesse du vent dans la station de M'sila dépasse celle de Barika, sauf en Avril, mois où les vents sont bien davantage porteurs de sable, et plus au moins en octobre et novembre.

3.1.2/La température

Par manque de séries complètes sur les températures dans les stations existantes, nous avons préféré pour l'étude de ce paramètre d'utiliser les données de Seltzer P. (1946). En effet, les températures se caractérisent par une extrême variabilité spatio-temporelle, et une opposition nette entre le nord et le sud.

Si l'on se réfère au tableau n°3, on constate que l'année est partagée entre deux périodes :

- L'une chaude qui s'étale entre juin et septembre en montagne (station de Bou Taleb) et entre mai et septembre sur le piémont, avec un maximum de température en juillet-août.
- L'autre froide, allant d'octobre à mai, avec un minimum de température en janvier surtout.

On remarque par ailleurs, que les températures s'abaissent en allant du sud vers le nord et elles ont tendance à augmenter d'Ouest en Est (fig 4). Ce phénomène est, sans doute, lié à la continentalité du climat qui sévit dans la région, son effet est plus accentué sur le piémont qu'en montagne.

L'analyse de la variabilité inter-annuelle des températures moyennes annuelles, montre une succession d'années relativement fraîches (1977, 1979, 1984, 1986, 1987, 1991) et d'années relativement chaudes (1980-1982, 1983, 1985, 1988-1990).

Tab.3-Répartition mensuelle des températures dans la région de Barika

STATION /MOIS	BARIKA					BOUTALEB				
	m''	m	Moy	M	M''	m''	m	Moy	M	M''
Janv	-5	2.8	7.95	13.1	20.3	-11	-2.3	2.85	8	18.5
Fevr	-5.2	4.1	10	15.9	25.9	-11	-1.4	3.8	9	21
Mar	-3.6	7	13	19	30	-11.5	0.7	6.4	12.1	21.6
Avr	2.4	9.8	16.7	23.6	34	-6.5	3.2	7.25	12.2	22.5
Mai	5.6	14.1	21.3	28.5	39.3	-4	7.3	14.4	21.5	31.5
Jun	8.8	19.5	26.85	34.2	43.6	0.5	11	19.1	27.2	36
Jill	16	22.7	30.95	39.2	46.8	4	14.8	23.5	32.2	39.5
Aut	15	21.1	29.85	37.6	47.7	6	14.6	23.1	31.6	39
Sep	6	18.1	25.3	32.5	43.2	2.5	14.6	23.1	31.6	39
Oct	0.4	12.7	19.05	25.4	35.1	-6	6.7	12.75	18.8	28
Nov	-2.6	7.8	13.25	18.7	30	-5	2.3	7.25	12.2	22.5
Déc	-6.2	3.4	8.6	13.8	22.3	-11	-1.4	3.8	9	21
Année	-6.2	12	18.56	25.1	47.7	-11.5	5.7	12.2	18.7	39.5

Source : Projet FAO-HODNA.

M'' : Maximum absolu observé ; m'' : Minimum absolu observé,

Moy : Moyenne mensuelle.

M : Moyenne de tous les maxima ; m : moyenne de tous les minima

Les amplitudes thermiques mensuelles dans la zone sont plus élevées en été qu'en hiver (tab 4) ; elles sont autour de 10°C pour le mois de Janvier, mais varient entre 14 et 20°C en Juillet. L'amplitude annuelle varie aussi entre le nord et le sud et entre l'Ouest et l'Est ; elle est de 9.2°C à M'sila et descend à 5.6°C à Barika à l'Est.

Tab.4-Variations des amplitudes thermiques mensuelles et annuelles

Stations	JANVIER			JUILLET			Ann.
	M	m	M - m	M	m	M - m	
Barika	13.1	2.8	10.3	39.2	22.7	16.5	5.6
Bou Taleb	8	-2.3	10.3	32.2	14.8	19.4	9.35
M'sila	13.8	4.0	9.8	37.2	23.5	13.7	9.2

Source: A.N.R.H.

Les températures extrêmes agissent le plus souvent sur l'évolution du milieu, en entretenant le phénomène de gel-dégel. Le tableau n°3, montre aussi une variation spatiale des minima et des maxima, du nord au sud et d'ouest en est. On passe de 11.5°C comme minimum en montagnes (Bou Taleb) à 2.6°C à M'sila et à 6.2°C à Barika pour la cuvette, et de 39.5°C comme maximum au nord à 43.2°C à M'sila et 47.7°C à Barika. Ainsi apparaît-il l'écart thermique entre la bordure des montagnes au nord et la cuvette au sud, il est également considérable entre l'est et l'ouest de la région.

L'étude relationnelle entre les températures et les altitudes (GUETTOUCHE M.S. 2003) a permis de déduire la fonction linéaire suivante :

$$T^{\circ}\text{c} = 22.9832 - 0.0084(\text{Alt. en m}) \quad (1.1)$$

Ce gradient thermique (1.1) traduit une diminution de 0.84°C pour une augmentation de 100 mètres d'altitude. Il nous a été un moyen efficace pour établir la carte de la répartition spatiale des températures dans la zone d'étude (fig 4). Cette carte montre que les températures moyennes annuelles diminuent avec l'altitude, on passe de 18°C en moyenne sur le piémont à 14°C sur les montagnes.

De cette analyse, on marque l'importance de la dessiccation des sols, suite aux fortes amplitudes thermiques, ce qui en résulte une action éolienne très active sur les particules du sol, notamment pour les versants exposés au vent.

3.1.3/Les précipitations

Au même titre que les températures, la région d'étude est marquée par une variabilité des précipitations dans le temps et dans l'espace.

Le tableau n°5 montre une variabilité annuelle bien marquée. Elle peut être résumée en deux périodes:

-L'une pluvieuse, qui s'étale entre septembre et mai, avec un maximum qui varie d'un lieu à l'autre. Il est enregistré en novembre en montagne, en décembre à l'ouest du piémont, en janvier au centre et en novembre à l'Est ;

Fig 4 : Températures annuelles moyennes

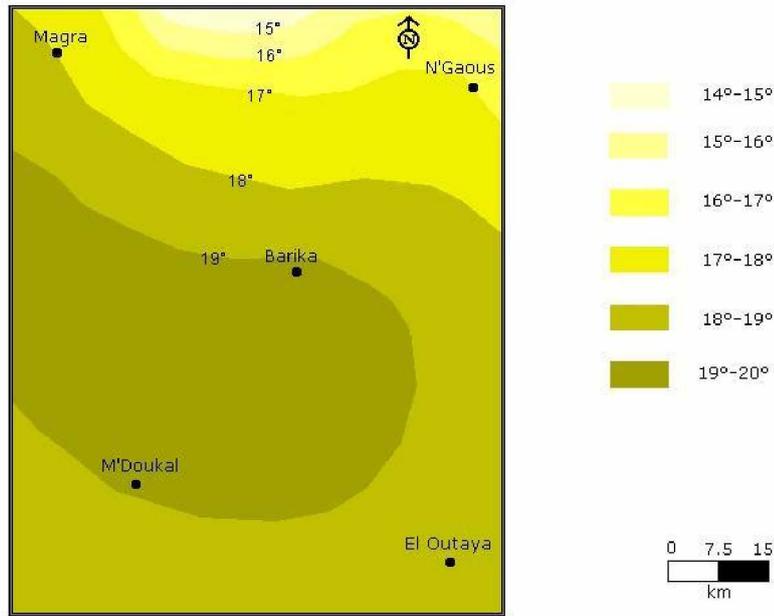
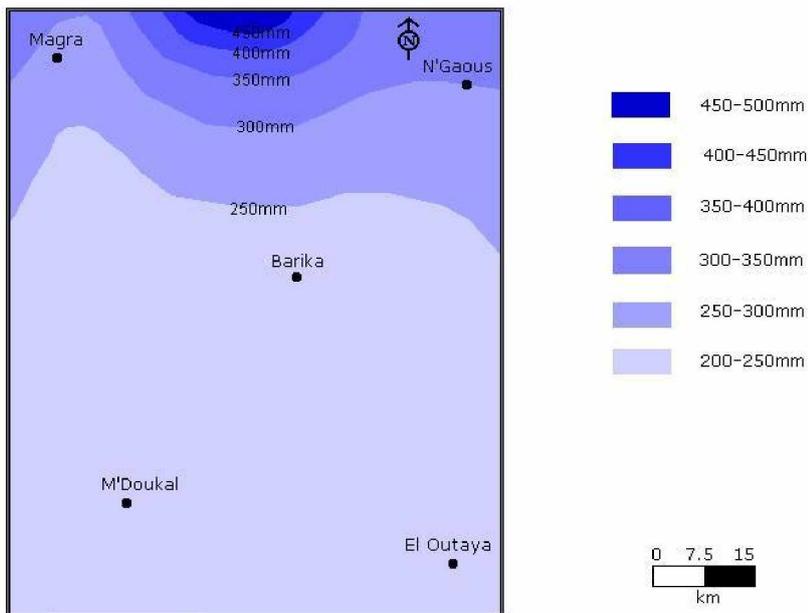


Fig 5 : Précipitations annuelles moyennes



-L'autre sèche, allant de juin à août, avec un minimum en juillet-août. La période pluvieuse est plus variable encore, elle offre des courbes irrégulières, marquant des mois plus pluvieux. En effet, en montagne, la station de Bou Taleb enregistre quatre pics correspondant aux mois de novembre, janvier, mars et mai ; alors que dans la partie amont du piémont, on enregistre au NW des pics en décembre, mars et mai. Plus au sud, dans la partie aval du piémont, la station de Barika au SE marque des pics en novembre, janvier, mars et mai.

Tab.5-Moyennes mensuelles des Pluies dans la région de Barika

STAT	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOT	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
Barika	25	24	26	14	21	13	02	03	24	20	30	22	224
B.Taleb	52	40	54	32	39	21	04	13	31	40	56	45	427
N'Gaous	25	20	24	16	24	14	4	9	22	21	29	23	231

Source: A.N.R.H.

Cette situation pluviométrique confirme l'irrégularité annuelle des pluies dans le Hodna et le caractère orageux pendant l'automne et le printemps. Le total annuel des jours de précipitations par mois dans la station de Barika est de 78 jours dont 37 de gelée.

Tab.6-L'humidité relative (%) de la région de Barika

Station de Barika	M O I S												Moynne
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Humidité relative	67	69	48	46	54	31	26	34	45	54	58	62	50

Source : Station météorologique de Batna.

La variation inter-annuelle des précipitations est également importante ; elle se traduit, parfois, par des hauteurs de pluies qui vont du simple au double avec une succession d'années plus pluvieuses que d'autres. En montagne la station de Bou Taleb a enregistré entre 1923 et 1943, deux périodes plus pluvieuses ; alors qu'au piémont et durant 45 ans on n'observe que trois périodes enregistrées en amont du piémont. Le reste du secteur est marqué par la rareté des pluies, surtout au sud-est.

Cette variabilité temporelle est couronnée par une variabilité spatiale. Celle-ci se traduit en général par une diminution des pluies du Nord au Sud et du NW au SE.

De cette analyse spatio-temporelle surgisse une certaine relation entre les pluies et les altitudes. Celle-ci peut être déduite mathématiquement par une analyse relationnelle entre les deux.

En effet, l'analyse de la relation entre les pluies et les altitudes (GUETTOUCHE M.S. 2003) a permis de déterminer un gradient pluviométrique en fonction de l'altitude et de dresser, par la même, une carte des moyennes annuelles des pluies. Ce gradient pluviométrique est de la forme :

$$P_{an} \text{ (mm)} = 2.0439 \text{ (Alt)}^{0.7608} \quad (1.2)$$

où

P_{an} : Pluies moyennes annuelles (en mm);

Alt : Altitude en mètres.

Le gradient (1.2) traduit l'augmentation de la pluie avec l'altitude ; elle est de 40 mm en moyenne annuelle pour une dénivelée de 100m dans la plaine et de 26 mm pour 100m en montagne.

La carte pluviométrique (fig.5) montre une concentration des pluies sur la zone montagneuse où la pluviométrie peut atteindre les (600 mm) et une faiblesse des précipitations au niveau du piémont (300 mm) et de la plaine du Hodna (200 mm).

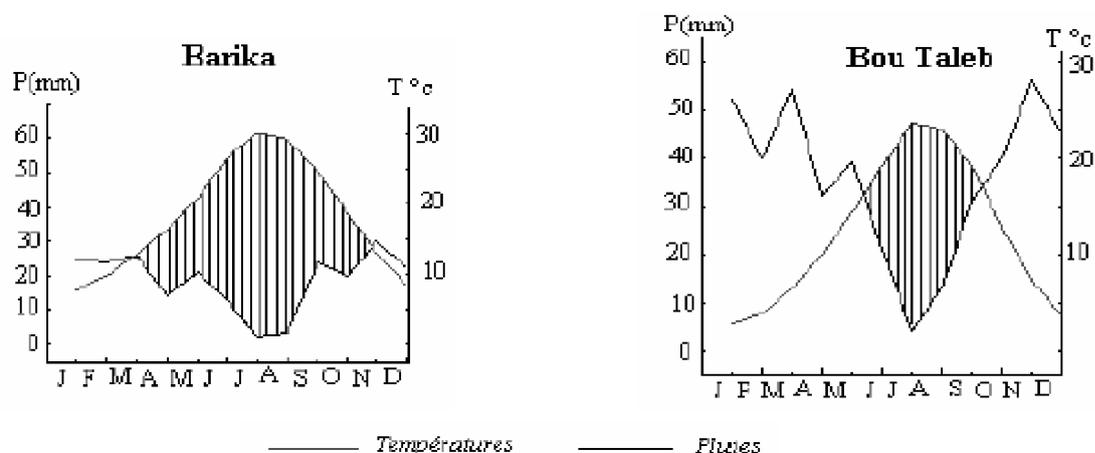
3.1.4/Synthèse climatique

La combinaison des variations mensuelles des températures et des pluies, illustrées par les diagrammes ombrothémiques (fig.6) permet de voir le type du climat régional et d'analyser surtout les caractères essentiels des saisons de la zone étudiée.

Ces diagrammes montrent une augmentation régulière des températures pendant la saison estivale à partir du mois de mai pour atteindre un maximum en juillet pour la zone montagneuse (Bou Taleb) et en Août pour la partie aval du piémont (Barika); puis elle décroît à partir de la mi-octobre.

Les pluies sont, au contraire, plus variables dans l'année ; elles offrent des courbes irrégulières, avec deux pics de pluie en montagne (station de Bou Taleb), l'un en mars et l'autre en mai.

Fig.6-Diagrammes Ombrothermiques de la région de Barika, stations de Barika et de Boutaleb.



Les diagrammes ombrothermiques lisent mieux les anomalies des pluies et des températures pour donner deux périodes climatiques, l'une sèche, l'autre humide. La saison sèche est plus longue sur le piémont que sur la montagne ; elle est de 8 mois à M'sila et à Barika ; alors qu'elle ne dépasse pas les 4 mois à Bou Taleb en montagne.

La sécheresse du mois d'avril dans les stations du piémont, s'explique surtout par les faibles quantités de pluies par rapport aux températures moins élevées, et aussi par l'effet du vent chaud du sud pendant ce mois. *C'est le mois du vent de sable dans cette zone.*

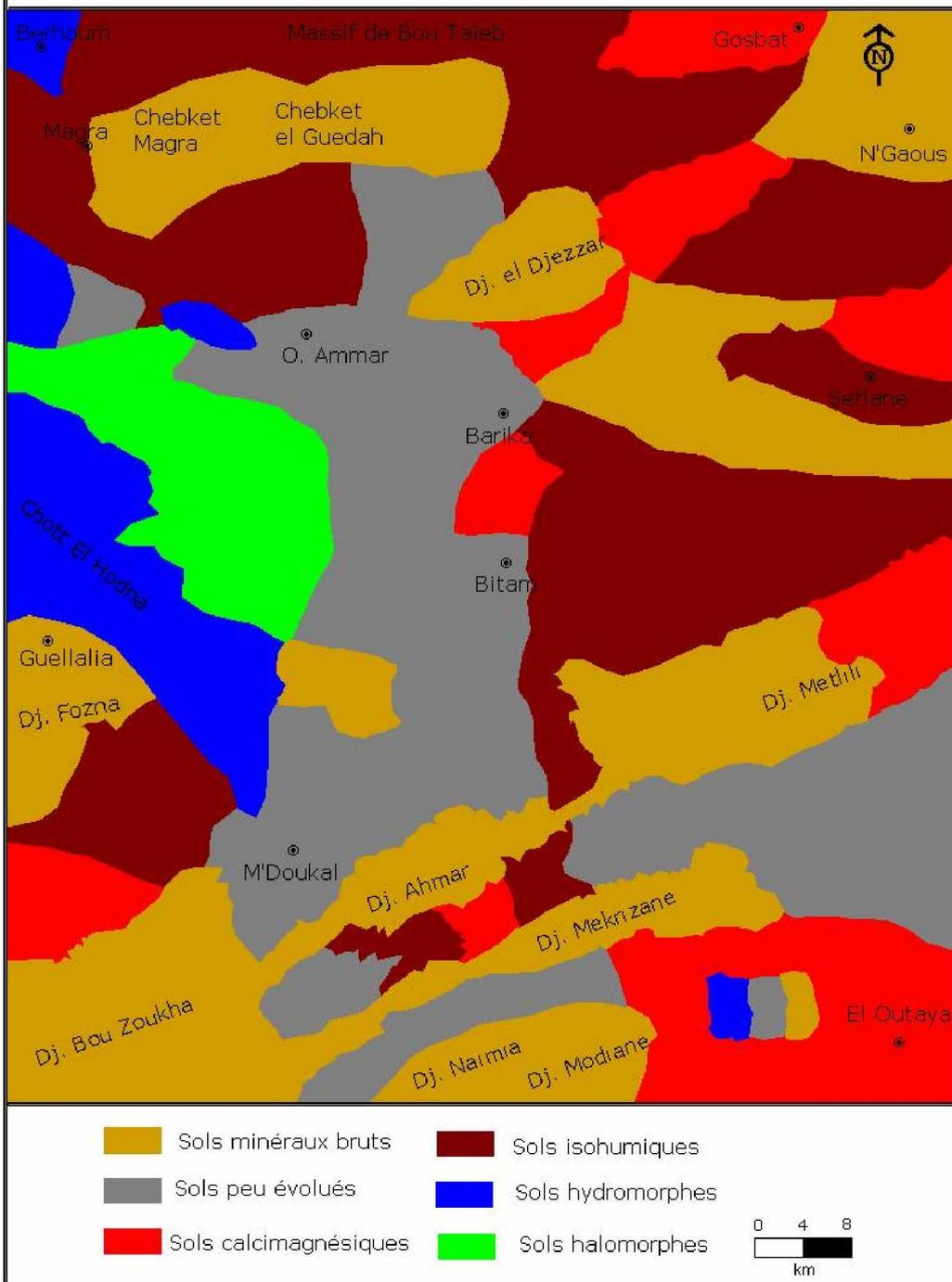
3.2/Les sols

En observant la carte pédologique réalisée par BOYADGIEV T.G. en 1972 (carte4), les sols sont alternativement répartis à travers toute la surface, relativement aux formations morphologiques qui, en quelque sorte, en font la distinction.

Les sols de la zone montagneuse sont rares et très peu développés, ils sont dans la plupart des cas soit des lithosols soit des régosols.

-Les lithosols lorsque le substratum est résistant, tels que les sols développés sur les versants rocheux, couverts de dépôts provenant directement des calcaires et dolomies du Secondaire, ou des grès et des conglomérats mio-pliocènes pour le cas de Chebkate Magra.

Carte n°4 : Principales formations pédologiques de la région de Barika



Réalisée par Sahraoui Abdelbasset

Source : Pédologie du Bassin El Hodna

-Les régosols sont développés généralement sur les marnes et sur les argiles et les gypses.

Lithosols et *régosols* représentent des sols minéraux bruts qui ne sont pas vraiment des sols au sens pédologique ; ils se caractérisent par des affleurements rocheux avec un horizon humifère très mince. Ce type de sols se localise sur les versants à pente forte (>12%) où le ruissellement est très actif et où la morphogenèse l'emporte sur la pédogenèse. On distingue trois sous classes dans ce type de sol dont la première est autant répandue que les autres : sols minéraux bruts xériques inorganisés d'apport (E) ; sols minéraux bruts d'érosion (LR) ; sols minéraux bruts d'érosion, d'apport alluvial (A).

La zone de piémont, représentée par des glacis, où les sols sont Isohumiques, relativement plus évolués que les sols de montagnes particulièrement en zone amont. Sur les glacis d'accumulation très développés dans la plaine de Magra, les sols sont plus évolués bien que dominés par les Siérozems.

3.2.1/Les sols des glacis d'érosion

Sur les parties couvertes des glacis d'érosion se sont développés des sols de type Siérozem (sol steppisé) qui se subdivise, en fonction des formations parentales, en trois sous groupes bien distincts :

-*Les Siérozems à croûte calcaire* : se localisent sur les formations anciennes du niveau le plus élevé des glacis d'érosion, avec une profondeur ne dépassant pas les 10 cm. Ce sont des sols très calcarifères, de texture limoneuse et de structure granulaire avec un bon drainage externe. La croûte zonaire apparaît par endroits en surface.

-*Les Siérozems modaux* (BM) qui s'observent sur les formations des glacis moyens. Ce sont des sols de texture limono-sableuse, de structure polyédrique, peu riche en matière organique (0.8%), avec un bon drainage externe. Ce type de sol passe à des Siérozems modaux à accumulations calcaires (BN) (en concrétion) sur les formations récentes des glacis. Ils sont de texture moyenne (limono-argilo-sableuse) et de structure polyédrique, avec une accumulation de

calcaire en profondeur. Ils sont assez profonds (50 à 60 cm), avec une teneur en matière organique inférieure à 2%.

Les Siérozems ont un taux de calcaire très fort, avec une minéralogie dominée par les Quartz pour la fraction sableuse et les Micas, kaolinites et Chlorites pour les argiles, avec une abondance d'Attapulgites dans les niveaux polygéniques et d'Illites dans les formations des glacis récents.

3.2.2/Les sols des glacis d'accumulation

Sur ce dispositif, se développent des sols profonds, à structure généralement polyédrique, qui s'individualisent dans les paysages en fonction de la morphologie des glacis et de leur position géographique. Sur les glacis-cônes se développent deux types de sols : les sols peu évolués et les Siérozems :

-*Les sols peu évolués* sont très fréquents dans les lits des oueds et dans les terres de mise en valeur, ils sont d'apport alluvial, modaux (AM), vertiques (AV) et parfois calcimorphes (EP), formés sur les alluvions. Il sont aussi des sols rougeâtres, profonds (+100 cm), lourds, de texture limono-argileuse, calcarifère (31% de CaCO_3), avec peu de matière organique (1.28%), de structure polyédrique avec un bon drainage. Ces sols sont à dominance de Quartz, de Chlorite et de kaolinite pour les minéraux argileux, à l'aval ils deviennent steppisés (AS), leur couleur est brune foncée à texture limoneuse ou limono-argileuse. Près du Chott, ces sols sont halomorphes (AL) avec une couleur brune olivâtre devenant grisâtre en profondeur. Leur texture est lourde et leur structure est massive en surface et polyédrique en profondeur.

Dans la dépression où se localise le phénomène d'hydromorphie, ces sols deviennent peu évolués *hydromorphes*, à encroûtement et à croûte gypseuse (HG), caractérisés par un horizon superficiel de texture plus légère qui passe à une texture argileuse dans les horizons B et C. Dans l'horizon A, ces sols sont calcarifères, de structure polyédrique, de drainage assez faible et d'une matière organique de 1.24%.

-Les *Siérozems modaux* à accumulations calcaires se localisent en aval des glacis-cônes et se caractérisent par une texture moyenne (limono-argilo-sableuse) et une structure massive, avec un assez bon drainage externe. Ils sont assez profonds (+80 cm), calcarifères avec une teneur en matière organique inférieure à 1%. Dans les dépressions, ces sols sont calcarifères, de texture assez lourde, de matière organique peu abondante et de structure finement granulaire.

3.2.3/Les sols des cônes d'éboulis

En montagne et sur les cônes d'éboulis, installés en contre-bas des fronts des crêts et des escarpements, se sont développés des sols de type *calcimagnésique* (groupe *humique carbonaté*), tels les sols calcimagnésiques bruns calcaires xériques à encroûtement calcaire (CE) et bruns calcaires xériques à croûte calcaire (CK) et de moins les sols calcimagnésiques gypseux (G), caractérisés par un gradient organique excluant tout isohumisme. Ce sont des sols argilo-limoneux, de structure grumeleuse, installés sur roches carbonatées. Leur profondeur est variable en fonction de la situation; elle est de 10 cm en amont et passe à 40 cm en aval.

Ce type de sols, riche en matière organique, s'observe sur les pieds des fronts de cônes. Ils sont dominés par des Quartz et de minéraux argileux de type Kaolinite et Feldspath, et possèdent un bon drainage et sont colonisés par une «forêt» de pin d'Alep et de chêne vert peu dense.

La faiblesse du taux de calcaire de ces sols peut s'expliquer par une décalcification suite à la circulation des eaux de pluies (400-600 mm) et au bon drainage aidé par la pente et le fort pourcentage de matière organique. Il peut s'expliquer aussi par la présence de la végétation forestière et les faibles températures dans ce secteur.

Les sols halomorphes sont soumis à l'influence d'une nappe salée, riche en sel de sodium. Le sel remonte par ascension capillaire et formes souvent des efflorescences blanches en surface, le profil différencié est de type AC. Ils prennent la forme d'îlots, de texture argilo-limoneuse

ou limono-argileuse, ils sont moyennement salins (S1), fortement salins (S2), très fortement salins (S3).

3.3/La végétation

3.3.1/Les formations de montagne

En altitude, sur les sols calcimagnésiques (carte5), est développé un groupement forestier à *Cedrus libanica* (Cèdre du Liban= Bigunon) et un matorral à *Juniperus oxycedrus* (Genévrier oxycèdre=Arar ou Taga). La présence du genévrier avec le cèdre dans cette zone est sans doute liée au fait que cette association supporte la sécheresse de l'été et le froid de l'hiver.

Au dessous s'installe un matorral de *Quercus Ilex* (Chêne vert= Querrouche ou Ballout) et fait concurrence avec le *Pinus Halepensis* (Pin d'Alep=S'nouber). Le chêne vert est un arbre qui supporte la chaleur et le froid des zones semi-arides et il se présente ici sous forme de garrigue qui remplace la forêt du cèdre. Il présente un faciès de forêt claire et basse, très xérophile, mélangé avec le genévrier oxycèdre. La strate du sous-bois est constituée par le romarin et le Diss. Les deux associations présentent un taux de recouvrement faible (<30%).

Plus bas que les deux stations précédentes, la forêt commence à se dégrader de plus en plus et on rencontre un matorral de Pin d'Alep qui colonise tout le reste de la zone montagneuse. Il est caractérisé par son adaptation à la sécheresse plus accusée, on le trouve même sur les Chebkats au nord où la température est plus élevée. C'est une association xérophile et thermophile qui s'adapte aux températures élevées.

Le Pin d'Alep représente ici un témoin de dégradation de la forêt du Cèdre, c'est une espèce qui vient remplacer d'autres associations et d'autres faciès. Son cortège floristique est représenté par le *Rosmarinus Officinalis* (Romarin), *thymelaea* (thym=Zaater), *Ampelodesma mauritanicum* (Diss).

3.3.2/Les formations steppiques

Les formations steppiques dans cette région sont développées essentiellement au niveau du piémont et de la plaine sur des sols de type siérozem ou peu évolués salins. Ce sont des formations diversifiées, mais ayant atteint un stade très avancé de dégradation.

Deux groupements peuvent être distingués:

-Le premier est constitué d'*Anabasis oropedium*, *Hydysarum carnosum*, *Salsola vermiculata* (Salicorne=Oucrif) et *Atriplex halimus* (Atriplex=Guettaf). Ces formations poussent sur les marnes, les argiles et les encroûtements calcaires.

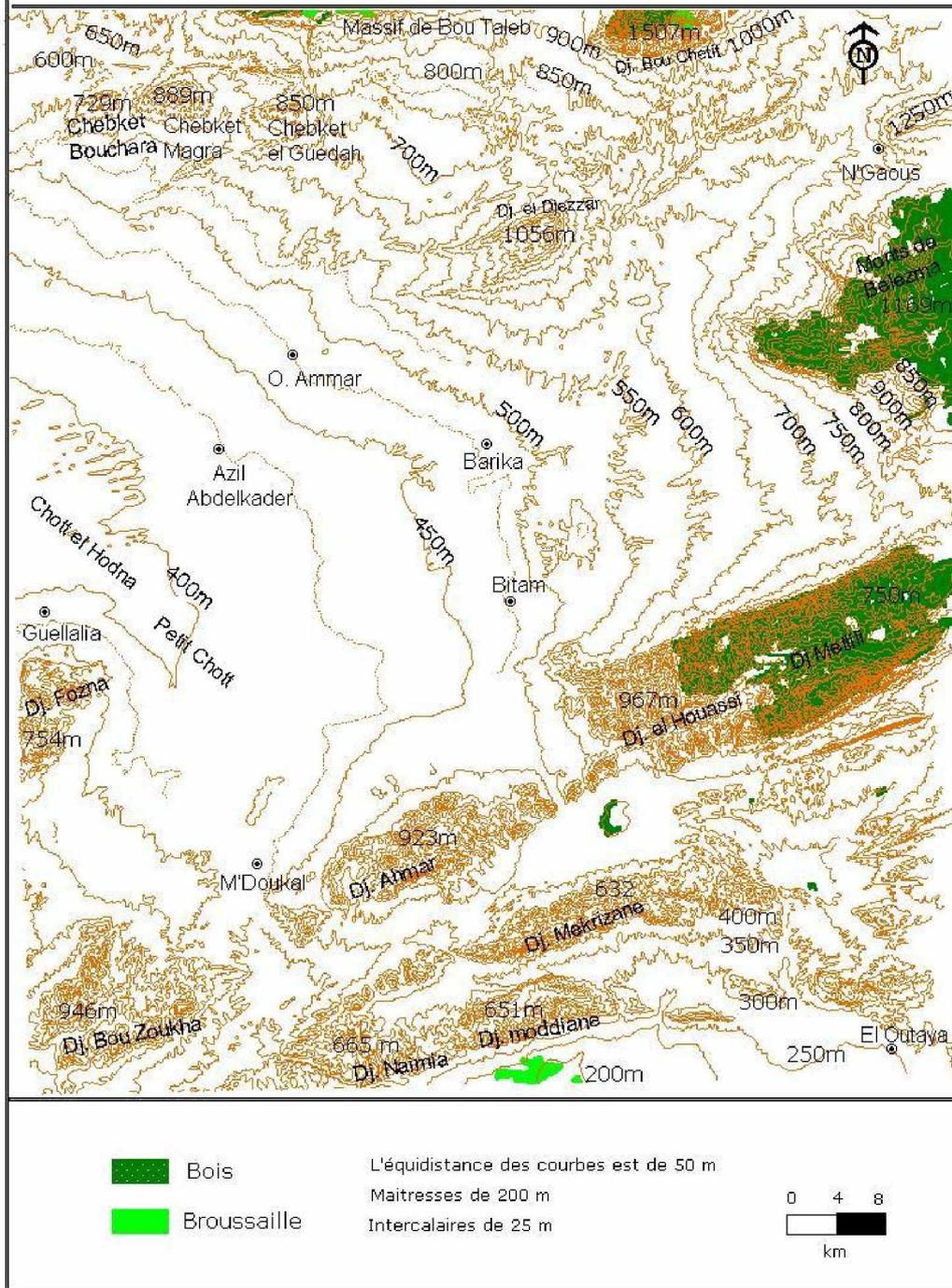
-Le second, développé essentiellement sur les glacis à sols siérozems, est formé d'*Artemisia herba alba* (Armoise blanche=Chih), *Stipa tenacissima* (Alfa=Halfa), *Helianthemum hirtum ssp. ruficomum* et *Thymna hirtum*, *Cynara cardunculus* (Cardon=khourchef), *Ziziphus lotus*, *Lygeum spartum* (Sparte=Sennagh) et *Sueda fruticosa* (Soude=Soud). L'analyse de ces deux groupements montre bien que cette zone est sub-aride et se situe dans une zone de transition entre le semi-aride au nord et l'aride au sud.

Il faut souligner enfin que l'impact des actions humaines sur l'évolution du couvert végétal se voit très bien dans les paysages de cette zone ; car aux formations végétales naturelles s'ajoutent des formations de reboisement, de pin d'Alep essentiellement, qui depuis 1965 ne cessent de s'accroître et de progresser. Le meilleur exemple est celui de la forêt de reboisement de Chebkat Magra.

De cette analyse bioclimatique et suivant les subdivisions climatiques proposées par Dresch J., Dewolf Y., Joly F. et Raynal R. (1974), on distingue deux étages bioclimatiques dans la Région de Barika :

-Le domaine semi-aride, est représenté par les versants de la zone montagneuse au Nord. Il est confirmé par sa pluviométrie entourant les 500 mm et par les groupements forestiers de Pin d'Alep, de chêne vert et de genévrier, sur des sols calcimagnésiques et parfois des régosols ;

Carte n°5 : Courbes de niveaux et Végétation de la région de Barika



Réalisée par Sahraoui Abdelbasset

-Le domaine sub-aride, est représenté par la station de Barika qui caractérise la zone de piémont et de la plaine avec une végétation steppique, marquant l'aridité. Cette station est plus aride encore et marque la limite entre le sub-aride et l'aride subdésertique plus au sud.

4/Les activités humaines

La région de Barika est classée actuellement par le code pastoral comme zone steppique ; sa bordure nord demeure donc la bordure sub-steppique, qui marque la limite entre le domaine agro-sylvicole au nord et le domaine pastoral au sud.

L'impact des actions humaines sur la morphogenèse et la déstabilisation du milieu est, sans doute, un élément fondamental dans l'évolution de cette région et ce depuis les temps les plus reculés de l'histoire.

Toutes les études historiques permettent de dire que la région d'étude constituait, depuis des millénaires une zone frontière entre les régions cultivables du Tell et les zones de parcours du domaine steppique.

En effet, la vie pastorale précoloniale dans la région était basée sur un ordre tribal, caractérisé par une empreinte de solidarité, d'équilibre et de complémentarité. Ainsi, une tribu y habite, les Ouled Derradj, qui se subdivisent en fractions et sous fractions (Nekma, Ferka, Arch).

Actuellement c'est l'ordre communal, où les Ouled Derradj sont subdivisés en communes ; dont Barika représente une daïra de la wilaya de Batna et compte plusieurs communes.

4.1/Le cadre bâti

La localisation de la population est en premier lieu dans les villes qui constituent des zones d'agglomération, principalement celles de Barika, Magra, N'Gaous et M'Doukal (carte6), où se construisent des ensembles de maisons (parc logement, Tab 7) visant à assurer l'habitation, accompagnées des établissements nécessaires :

-Educatifs : scolaires plus de 120 (écoles, lycées...) et de formation professionnelle.

- Etablissements sanitaires : hôpitaux, maternités, polycliniques, salles de soin et institutionnelles, cabinets privés, pharmacies...etc.
- Etablissements culturels et infrastructures sportives : musées, bibliothèques, salles de Cinéma, centre culturels, maisons de jeunes, salle polyvalentes, auberges.
- Equipements économiques : postaux, de télécommunications, commerciaux.
- Etablissements administratifs : de municipalité et du service.
- Etablissements touristiques (hôtels, agences touristiques).
- Unités industrielles : usines et entreprises.
- De service et de culte (mosquées, écoles religieuses, koubbas, marabouts...).

Tab.7-Répartition du Parc logement selon les communes dans la région de Barika

COMMUNES	LOGEMENT TOTAL 2006	LIVRAISONS ANNEE 2007		TAUX D'OCCUPATION DES LOGEMENTS (TOL)
		Rural	Urbain	
Barika	14 286	11	92	7,31
Bitam	1 496	13	6	7,44
M'Doukal	1 332	0	1	6,50
Djezzar	2 686	10	14	7.925
O. Ammar	1 026	8	7	8.19
A. Abdelkder	1 613	4	7	9.10
N'Gaous	4 937	12	36	6,39
Boumagueur	1 008	3	8	8,79
Sefiane	1 983	23	04	7,20
Seggana	1 174	18	18	4.80
Tilatou	654	20	6	4.38

Source : Direction des statistiques de la wilaya de Batna 2007.

Le tableau n°7 montre que sept communes ont un TOL supérieur à 7 personnes par logement, dépassant la moyenne nationale qui est comprise entre 6 et 7.

Par ailleurs, des équipements irréguliers s'installent aux zones approximatives à extension limitée, près des villes, comme Bitam,

Seggana.... Ce faisant, ces lieux manifestent une vie rurale mais non isolée.

Le reste de la zone, quelques maisons éparpillées expriment en fait la propriété des terrains que leurs habitants ont préféré demeurer plutôt que d'y quitter.

4.2/Les infrastructures de base

La région de Barika est liée à d'autres wilaya par des routes qui facilitent le déplacement, notons la route nationale RN 28 relie Barika-M'Sila, dont la longueur dépasse les 50 km, la RN 70 reliant M'Sila-M'Doukal via Barika avec une longueur de +54 km, l'embranchement de Magra, la route nationale RN 78 (10 km) s'oriente vers la wilaya de Sétif, au sud à peine la route RN 3 (22 km) est passée par la région en prenant chemin à Biskra.

Intérieurement, les routes secondaires sont nombreuses et servent de chemins entre les villes, Barika-N'gaous (29 km), Barika-M'Doukal (35 km). Aussi les pistes font lier les petites agglomérations.

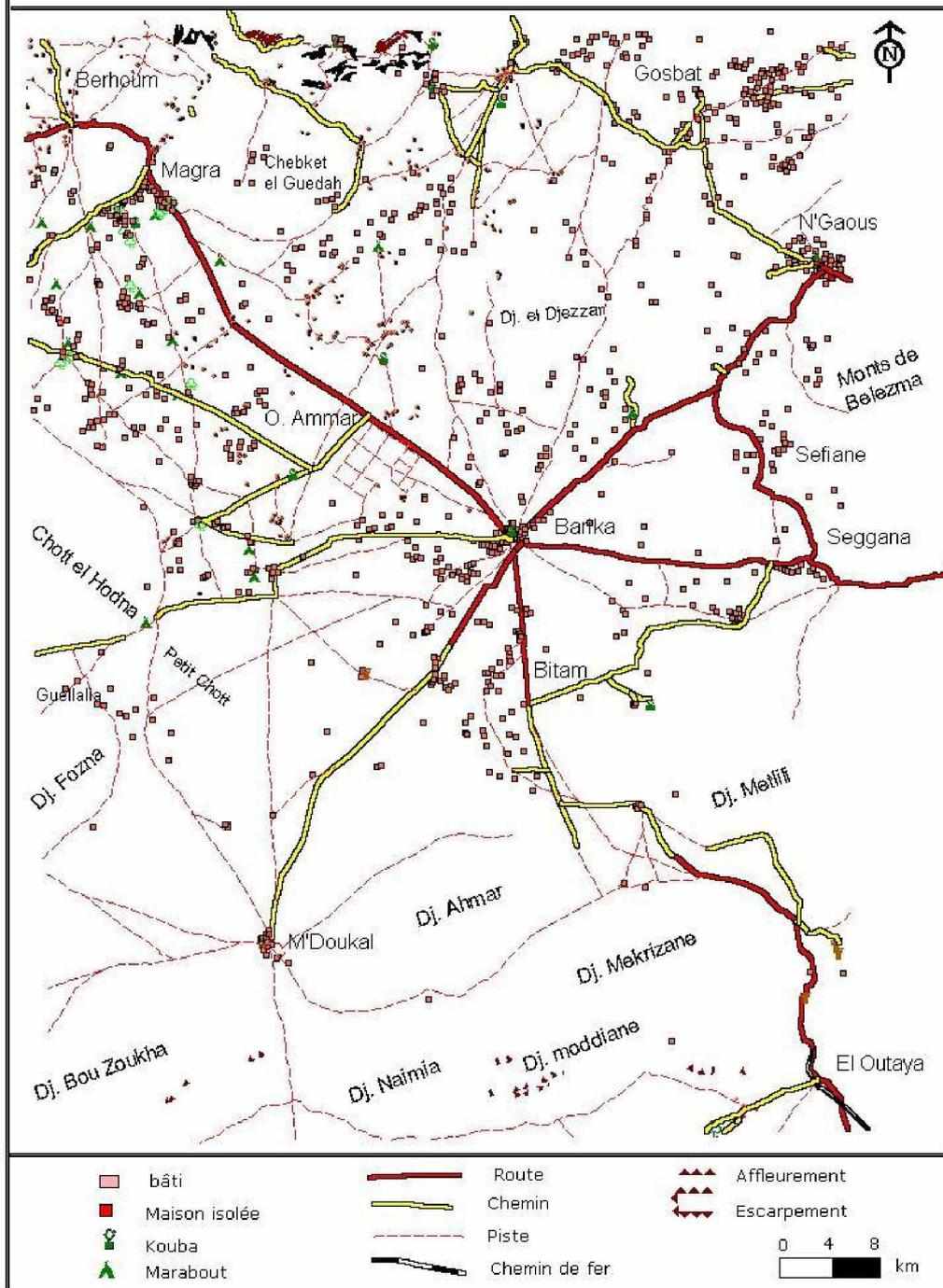
Tab.8-Réseau routier dans la région de Barika

COMMUNES	RESEAU ROUTIER (EN KM)					ENSEMBLE
	R.N.	C.W.	C.C.	T/RENETU	PISTE	
Barika	22,500	18,000	21,600	62,100	28,800	90,900
Bitam	47,500	0	12,700	60,200	0	60,200
M'Doukal	27,600	0	17,500	45,100	0	45,100
N'Gaous	16,500	5,000	27,600	49,100	31,400	80,500
Boumagueur	14,500	0	15,000	29,500	22,600	52,100
Sefiane	0	10,000	30,000	40,000	24,000	64,000
Djezzar	17,000	21,000	42,500	80,500	22,000	102,500
Ouled Ammar	0	9,000	22,000	31,000	0	31,000
Azil AEK	0	16,000	26,100	42,100	5,000	47,100
Tilatou	15.000	0	41	600	8.900	65.500
Seggana	28,000	11,200	13,500	52,700	25,500	78,200

Source : Direction des statistiques de la wilaya de Batna 2007.

Le réseau routier couvre la plupart des secteurs, étant cela, il est indispensable de savoir sa densité vis-à-vis des communes (tab 9), on en observe que la densité est des mieux élevée au nord, de Barika à

Carte n° 6 : Cadre bâti et infrastructures de base da la région de Barika



Réalisée par Sahraoui Abdelbasset

M'sila, cependant au sud, la densité est moyenne ou faible à l'exception de la zone de M'Doukal.

Tab.9-Densité routière dans la région de Barika

COMMUNES	SUPERFICIE (km ²)	TOTAL DU RESEAUX (km)	DENSITE ROUTIERE RAPP- A LA SUPERFICIE (%)
Barika	305.43	90.90	29.76
Bitam	917.54	60.20	06.56
M'Doukal	252.14	45.10	17.89
N'Gaous	80.95	80.50	99.44
Boumagueur	111.69	52.10	46.64
Sefiane	181.26	64	35.31
Djezzar	332.38	102.5	30.84
Ouled Ammar	75.14	31	41.26
Azil AEK	1035	47.10	04.55
Tilatou	381	65.5	17.19
Seggana	284.47	78.2	27.49

Source : Direction des statistiques de la wilaya de Batna 2007.

4.3/La population

Cette région se caractérise par une occupation disparate de l'espace. La population a triplé depuis 1893. Elle est concentrée dans les chefs lieux avec une densité supérieure à 170 hab/Km². (tab.10)

Tab.10-Population et sa densité dans la région de Barika

COMMUNES	SUPERFICIE EN km ²	P O P U L A T I O N			TAUX D'AGGL.	DENSITE HAB/ KM ²
		TOTAL	AGGL.	RURAL		
Barika	305.43	104424	96813	7615	92,71	342
Bitam	917,54	11136	5364	5772	48,12	12
M'Doukal	252.14	8652	7940	712	91,77	34
N'Gaous	80,95	31539	31468	71	99.78	390
Boumegueur	111.69	8863	6799	2064	76,71	79
Sefiane	181.26	14287	3140	11147	21.98	79
Djezzar	332.38	21284	12474	11718	22.24	64
Ouled Ammar	75.14	8405	4734	16550	25.15	112
Azil AEK	1035	14671	3837	10833	26.16	14
Tilatou	381	2867	1733	1133	60.47	08
Seggana	284.47	5638	4036	1603	71.58	20

Source : Direction des statistiques de la wilaya de Batna 2007.

Le reste de l'espace est fortement dépeuplé et la population rurale, selon S. Sobhi (1987) a diminué, elle est passée de 91% en 1954 à 70.8% en 1981.

Cette densité des chefs-lieux est liée essentiellement au caractère attractif de ces centres (cadre de vie et équipements).

D'autre part et dès 1954, le peuplement de la zone n'a cessé d'augmenter et la population a presque quadruplée.

La répartition de la population selon les branches d'activité permet de saisir la structure professionnelle de la population active. Cette structure est marquée par la prépondérance du secteur agricole.

Le tableau n°11 montre que la majeure partie de la population active en 1995 est occupée par l'agriculture. En effet, presque 50% de la population active dans le secteur agricole et 40% dans le secteur tertiaire, alors que le secteur de l'industrie ne compte que 2.5%.

Tab.11-Répartition de la population par secteur d'activité en 1995

AGRICOLE %	INDUSTRIE %	SERVICE %	B.T.P %
47.5	2.5	40	10

4.4/L'agriculture

Suivant l'ordre tribal et suivant l'irrigabilité des terrains, les terres de cette zone étaient subdivisées par les autochtones en trois catégories :

- Les terres dites Haiï, ce sont les terrains irrigués au moyen de barrages construits sur les principaux oueds ;
- Les terres dites Djelf, arrosées par les eaux de pluies ou de crues ;
- Les terres Hmadas, non irriguées, sont des terrains de parcours.

Les terres Haiï ; sont exploitées d'une manière individuelle, mais les terrains de parcours le sont en commun.

Le fondement économique consistait donc en la pratique de l'élevage associé à l'agriculture comme activité secondaire localisée auprès des oueds.

La précarité des pâturages a induit la mobilité des pasteurs dans l'espace. Cette mobilité s'opérait à deux échelles temporo-spatiales, la transhumance d'hiver (moyenne distance) avec un déplacement vers le Rmel (sur les dunes au sud de la Sebka) et la transhumance d'été vers les hautes plaines constantinoises.

Tab.12-Situation des terres du Hodna Est en 1893

DOUARS	POPULATION EN 1893	TERRAINS CULTIVABLES(HA)	TERRAINS DE PARCOURS(HA)	SUPERFICIE TOTALE(HA)
Barika	3206	37930	-	38410
Metkaouak	2025	22211	49607	105860
Djezzar	1331	32825	-	33484
Magra	2141	38561	-	40920
Berhoum	1202	18847	-	19700
Ain Kelba	1679	15418	-	15750

Le découpage en morceau d'un espace ouvert a convergé vers la mise en culture de portions au dépens des terrains de parcours et le développement d'une sédentarisation pratiquant un élevage aléatoire, ceci a mis fin à la complémentarité et l'équilibre agropastorale d'autrefois.

-La zone montagneuse : les versants des monts du Hodna au Nord, Bellezma et Dj. Metlili à l'Est et les versants Nord des monts du ZAB au Sud, Les cultures extensives prédominent avec l'élevage, par contre les cultures maraîchères sont très limitées et les cultures industrielles inexistantes, ceci est dû au problème que pose ces pentes à l'irrigation qui devient impossible au-delà de 15%.

-La plaine de Barika offre beaucoup plus de potentialités agricoles par rapport à la zone montagneuse, elle est dominée essentiellement par les cultures extensives avec une grande part réservée à la jachère associée à l'élevage qui représente une activité économique très importante pour les populations de cette zone.

-La zone du Chott du Hodna, aucune activité agro-pastorale du fait de la remontée de sel tout alentour.

Tab.13-Répartition générale des terres selon les zones

ZONES	SURFACE TOTALE (ST) EN HA	SURFACE AGRICOLE TOTALE (SAT)	SURFACE AGRICOLE UTILE (SAU)	SAU IRRIGABLE
Barika	30543	28004	15549	1497
Bitam	91754	83386	15697	1417
M'Doukal	25214	22703	2107	305
Azil AEK	103500	40769	7657	1615
Djezzar	33238	30959	7784	260
Boumegueur	11169	6000	4858	177
N'Gaous	8095	4800	4659	355
Séfiane	18126	14633	9607	520
O Ammar	7514	7342	4772	503
Seggana	28447	22902	6158	135
Tilatou	38100	20460	5227	107
Gosbat	28120	19000	10712	42
O.Sl.Slimane	15666	6900	6668	550
R.El Aioune	11596	7500	634582	82
El Kantara	23910	7380	1469	903
El Outaya	40610	36986	8254	5112

Source : Direction des services agricoles (2007).

Il est à noter que les zones suivantes : Azil Abdelkader, N'Gaous, Séfiane, Seggana, Tilatou, Gosbat, Oueled Si Slimane, Ras El Aioun, El Kantra (Biskra), El Outaya (Biskra), appartiennent partiellement à la région de Barika.

L'analyse de ce tableau permet de déduire que la surface agricole présente 79% de la surface totale, seulement 23% est utilisée pour l'agriculture dont 8% est irrigable. Les parcours et les terres improductives allant jusqu'à 40% de la surface agricole totale.

Quant aux cultures : les céréales priment à travers la région surtout la plaine ; l'arboriculture fruitière est en usage dans les piémonts, comme l'abricotier (*Prunus Armeniaca*) et l'olivier (*Olea Europea*), cette pratique est mieux adaptée aux conditions climatiques, a pour objectif de préserver le sol par le caractère persistant des arbres et assure une exploitation durable des terres ; les maraîchages sont réduits, il y en a

quelque spéculation (pomme de terre, tomate, ail et oignon) ; les fourrages (orge, maïs et osier) destinés à l'alimentation des animaux domestiques, présentent le caractère pastoral, ce qui diminue la pratique de la jachère, mais suite aux sécheresses de ces dernières années, celle-ci est devenue courante chez certains agriculteurs.

L'élevage est tant concentré au sud qu'au nord, le cheptel ovin et caprin dispose un effectif considérable (Tab.14), destiné à la production des viandes rouges, y compris les bovins qui, d'autre part, sont des ressources de la production laitière. L'aviculture (chair et ponte), un effectif de quelque 1707100, constitue un apport complémentaire assez important en matière d'approvisionnement en viande blanche et en œufs. La zone sub-saharienne détient 125 de camelins, et la zone de Barika en a 12 seulement.

Tab.14-Répartition du cheptel dans la région de Barika

ZONES	CHEPTEL			
	Bovin	Ovin	Caprin	Camelin
Barika	1745	18390	2990	12
Bitam	1575	23850	5270	35
M'Doukal	208	4875	595	00
Azil AEk	1080	16780	1700	90
Djezzar	930	14200	1220	00
Boumegueur	115	12637	3000	00
N'Gaous	220	5600	2000	00
Séfian	214	6100	3000	00
O Ammar	1360	5770	430	00
Seggana	12	8400	2800	00
Tilatou	19	3500	1700	00
Gosbat	440	3870	3107	00
O SI Sliman	302	5470	2465	00
Ras EL Aioun	649	16800	1546	00

Source : Direction des services agricoles (2007).

La fonction animale - non prise en compte dans la formule de quantification - s'avère d'une importance capitale à la steppe où l'élevage est un pastoralisme nomade à caractère contemplatif dont une des conséquences est le rapport de la charge animale effective et la capacité de charge d'un espace donné qui est presque toujours supérieur à 1. Ce phénomène, sur la majeure partie des types de sol en

présence, produit effritement et accroissement des prédispositions des sols à l'érosion éolienne.

En plus du phénomène de piétinement l'effet du rapport sur la couverture végétale (fourragère) est à prendre en compte en plus de la fonction végétale.

Actuellement, et malgré les aménagements induits par la révolution agraire, la zone d'étude reste un écosystème fragile, soumis à une forte pression sur les terres et sur les ressources du milieu.

Il faut souligner à cet effet que cette région est naturellement à vocation agro-sylvo-pastorale qui malheureusement est devenue, par le fait accompli, un système à toute vocation.

Le défrichement pour l'agriculture et le feu de bois et le surpâturage des parcours ont rompu l'équilibre de la vocation agro-sylvo-pastorale avec comme conséquence les phénomènes de steppisation.

L'exploitation des terres ayant une influence importante sur l'état du milieu naturel, le type des pratiques culturales et leur densité, ainsi les méthodes utilisées et le mode continu, peuvent nuire à la fertilité des terres, ainsi les pratiques agricoles irrationnelles contribuent jusqu'aujourd'hui à la dégradation des sols. La vocation agricole de la zone d'étude, est principalement dominée par la céréaliculture sur les versants au détriment de la végétation steppique et forestière soit par défrichement, soit par les incendies.

Conclusion

La région de Barika dispose en principe les caractéristiques physiques et climatiques d'une zone steppique limitrophe au Sahara au sud dont l'altitude des montagnes est moyenne, bien que cet ensemble montagneux soit moins cohérent et entrecoupé par quelques couloirs et détient une faible densité du couvert végétal, auquel cas, il est nécessaire de signaler que la faiblesse des altitudes des reliefs ceinturant le sud, est considérée comme l'un des facteurs permettant la pénétration de l'influence du bioclimat Saharien dans la région.

De plus, le côté d'ouest est quasi ouvert vis-à-vis du vent dominant et que la région constitue une vaste étendue qui favorise l'accumulation des dépôts lorsque les monts du nord se sont pris pour empêchement naturel. Donc la zone est suffisamment étendue dans le sens du vent.

La répartition de formations éoliennes est commandée par le climat, la situation des sources d'alimentation et le relief. Au Quaternaire, la combinaison de ces facteurs a conduit à l'individualisation de provinces lithologiquement distinctes, dont les caractères et l'extension sont en cours de développement, à cela s'ajoute l'importance de dépôts quaternaires, qui représentent une certaine potentialité hydro-agricole.

Les précipitations annuelles sont moins de 250 mm dans la totalité, à l'exception de la partie nord, elles atteignent 450 mm, donc c'est un signe d'aridité si on ajoute une température annuelle moyenne de 19°C. Les conditions naturelles sont assez difficiles.

L'élevage et la céréaliculture occasionnelle sont considérés comme les principales activités dans la zone de plaine. Alors quant au sud, c'est le domaine de l'élevage par excellence. Toutefois quand les conditions pédologiques et hydro-géologiques le permettent, l'irrigation est possible.

La nature et la composition des sols meubles, secs et finement émiettés, desséchés en surface durant de longs mois seront facilement

érodables et dévastables par le vent. D'ailleurs la disparition de l'effet protecteur de la couverture végétale naturelle sous l'effet du surpâturage, des prélèvements pour le combustible et des défrichements pour les cultures, les privent de matière humique, ce qui leur enlève toute cohésion et plus tard les rend très fragiles avec une structure pulvérulente.

Tenir compte de ces paramètres environnementaux, la région de Barika offre souvent une certaine aptitude à l'intensification de l'érosion éolienne, à priori on suppose que la région de Barika serait inéluctablement exposée au risque d'ensablement.

Chapitre 2

Erosion éolienne et aléa d'ensablement

A l'instar des régions arides du Monde, le Nord Africain connaît, en de nombreux pays, de sérieux problèmes d'ensablement. Ce dernier qui résulte de la sévérité des conditions climatiques et de la mauvaise utilisation des ressources naturelles, constitue le phénomène le plus spectaculaire de la désertification.

En Algérie, les zones de la bordure méridionale aux alentours du désert, sont couvertes d'impressionnants dépôts de sable. La mobilisation par le vent de cet important stock de sable constitue une menace sérieuse pour l'ensemble des infrastructures de développement. En outre, les effets environnementaux néfastes engendrent une diminution des surfaces agricoles, la stérilisation de vastes zones. Cette dégradation entraîne l'exode rural et le dépeuplement.

A cet effet, il convient d'apporter une contribution à la compréhension de l'érosion éolienne et du mécanisme de l'ensablement en se basant sur les travaux de F.A.O 1988, 1989 et 1992, GUETTOUCHE M.S. 2003 et 2007, etc.

1/Aspect théorique et position du problème

Le mot ensablement défini par Larousse désigne un "Amas de sable formé par l'eau ou le vent". Pour notre cas, ce mot prend un sens plus large, il désigne tout envahissement d'objets ou de surfaces par des grains de sable, aboutissant ainsi à l'accumulation de sable et à la formation des dunes. L'ensablement est susceptible de provoquer, quand il prend de l'ampleur, des perturbations importantes dans les domaines économique et social. Il constitue souvent l'une des manifestations les plus spectaculaires de la désertification.

L'érosion éolienne est par excellence la cause principale de tout ensablement où le vent joue le triple rôle d'agent érosif, de transport, de dépôt et de formation des dunes ; elle débute lorsque le sol n'est plus protégé par une végétation permanente et son intensité dépend essentiellement du vent qui est l'agent causal et des autres caractéristiques écologiques du milieu où s'exerce cette érosion.

1.1/ Les caractéristiques

Généralement les régions affectées par l'ensablement correspondent aux étages bioclimatiques arides et sahariens dont les principales caractéristiques écologiques sont :

1.1.1/ Au plan climatique

- Précipitations faibles et irrégulières.
- Températures élevées avec de grandes amplitudes thermiques.
- Vents violents et assez fréquents.

1.1.2/ Au plan édaphique

A l'exception des oasis et des aires de culture, les sols sont squelettiques et généralement constitués de roche mère friable et facilement érodable.

1.1.3/ Au plan géomorphologique

Le paysage est fait de formations montagneuses dénudées et fortement érodées, entrecoupées de vastes étendues et constituées de regs et de plaines d'épandage fluvial.

1.1.4/ Au plan végétal

Les conditions difficiles décrites ci dessus ne permettent pas le développement d'une végétation riche et variée. L'essentiel de cette végétation se concentre le long des cours d'eaux et chenaux. En dehors de ces milieux, la végétation discontinue, de type steppique ne permet pas une protection du sol contre l'érosion éolienne.

1.1.5/ Actions anthropiques

La fragilité des milieux naturels, surtout leur faible potentiel de production, et les besoins grandissants d'une population nombreuse ont conduit inévitablement à une mauvaise utilisation des ressources naturelles de ces milieux. Les manifestations les plus néfastes de ces utilisations sont:

- L'exploitation abusive de la végétation, bloquant la régénération naturelle et épuisant les réserves semencières.
- Le surpâturage et le défrichement des steppes pour l'extension de la céréaliculture.

1.1.6/Indices déterminant les origines du sable

Avant de "s'attaquer" à un ensablement, il est indispensable de connaître tout d'abord les origines du sable qui le constitue. Ce premier diagnostic se base sur l'analyse des quatre indices déterminants ci-après :

Sens des vents dangereux:

La détermination des sens des vents dangereux indique les directions suivant lesquelles le sable s'est déplacé. L'emplacement des sources d'alimentation sur les trajectoires des vents renseigne sur la nature et l'origine du sable transporté.

Texture des dunes :

Les dunes de texture grossière dont le diamètre des particules est supérieur à 0,05 mm, confirment une origine autochtone, donc le sable local est plus grossier, tandis qu'au contraire la texture fine due à une origine allochtone.

Couleur des dunes :

La couleur du sable indique la nature de sa roche mère. Cet indice permet de définir son origine selon les lieux des roches qui l'ont produit. Le sable autochtone a une couleur brunâtre assez foncée alors que celui d'origine allochtone est plus clair ou jaunâtre.

Traces d'érosion :

L'existence locale de traces d'érosion témoigne d'une autochtonie, leur manque indique une origine allochtone. Les indices ci hauts présentés constituent pour le technicien des éléments pratiques indispensables pour identifier un ensablement donné.

1.1.7/Sources du sable

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

Sources mères de sable: Les roches:

La décomposition granulaire et la friabilité de certaines roches sous les effets physico-chimiques du climat donnent naissance aux particules sableuses. Les montagnes gréseuses ou sableuses, les regs et hamadas sont de véritables sources mères inépuisables de matériel sableux.

Sources pourvoyeuses de sable :

Ce sont des milieux naturels dont les structures contiennent le sable à l'état façonné. Parmi ces sources très nombreuses les principales en sont:

- Les terrasses à matrices constituées d'éléments fins.
- Les dépôts alluvionnaires et colluvionnaires.
- Les ergs et autres accumulations dunaires.

Ces sources constituent des dépôts de stockage et d'approvisionnement importants en matériel sableux.

1.1.8/Composition minérale et aspect de sable

Le sable est composé en majorité de quartz. C'est le produit de la décomposition des roches gréseuses. Vus au microscope, les grains de quartz peuvent apparaître soit anguleux soit irréguliers et émoussés. L'irrégularité des grains est due aux impacts répétés et à l'action abrasive du vent. Les grains de quartz, très dominant en raison de leur dureté, acquièrent un aspect émoussé ou rond mats caractéristiques (Cailleux et Tricart, 1959), le brassage répété et la corrasion du même matériau expliquent le bon classement granulométrique des sables éoliens dont la médiane est en moyenne de 0.1 à 0.4mm. D'ailleurs des

analyses granulométriques et observations morphoscopiques des sables rouges des dunes (du delta du fleuve au Sénégal) montrent la constitution d'une petite fraction de sable grossier avec des grains ronds et mats, preuves d'un transport éolien (R.D.FALL, 1980).

D'autres minerais peuvent aussi se rencontrer en quantité très faible comme la calcite, le gypse, la magnétite... Les différentes couleurs du sable sont le résultat de l'enrobage des particules de sable par les oxydes. Ainsi, les oxydes de fer confèrent aux grains de sable une couleur rouge.

1.2/Le vent et son action

Le vent est une masse d'air en mouvement selon une composante horizontale qui s'écoule des hautes vers les basses pressions. A partir d'une vitesse comprise entre 4 et 6 m/s (supérieure à un seuil critique ?) le vent soulève les particules du sol et provoque leur migration. En outre, Un tourbillon est un déplacement d'air autour d'un axe d'inclinaison variable, la vitesse du vent y est multipliée au moins par cinq d'où sa grande efficacité comme agent d'érosion et de transport.

La vitesse du vent est nulle au contact même du sol et croît progressivement lorsqu'on s'en éloigne. La variation de vitesse la plus importante s'observe dans les premiers millimètres ou centimètres au-dessus de la surface.

En effet les vents dominants correspondant à des vents fréquents qui peuvent être sans danger, alors que les vents dangereux peuvent ne pas être fréquents mais constituent un danger pour les surfaces agricoles et les infrastructures. Ces vents correspondent aux vents efficaces.

1.2.1/Le vent agent érosif

Dans les vastes étendues des milieux désertiques, le vent atteint des vitesses considérables lui permettant d'exercer des actions érosives sur le sol par les mécanismes suivants:

- Dessèchement des parties superficielles du sol;
- Emiettement du sol et arrachage des particules sableuses;
- Corrosion des roches et de la végétation;
- Destruction par déchaussement de la végétation.

L'action érosive sur les éléments grossiers prend le nom de la "déflation", indispensable pour amorcer l'érosion éolienne et s'exerce directement sur des substrats meubles, sols pulvérulents, dépôts alluviaux, lacustres, évaporitiques, tandis que le prélèvement des particules fines fait par le vannage de la fraction fine des sables mobiles.

1.2.2/Le vent agent de transport

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

Mécanisme du mouvement par grains:

Les grains de sable se meuvent individuellement suivant l'un des trois modes de déplacement de grains (désignés dans la fig 7) par: la saltation, la reptation et la suspension. La densité, la granulométrie des grains et la vitesse du vent sont les facteurs qui interviennent dans le classement de ces modes de déplacement.

La saltation :

C'est le déplacement des grains par sauts. Le diamètre des particules soumises à ce régime varie de 0,5 à 1,1mm. La majorité des grains qui se déplacent par saltation ne dépassent pas 1m de hauteur. Après avoir sauté, les particules retombent sous l'action de la pesanteur.

La Reptation :

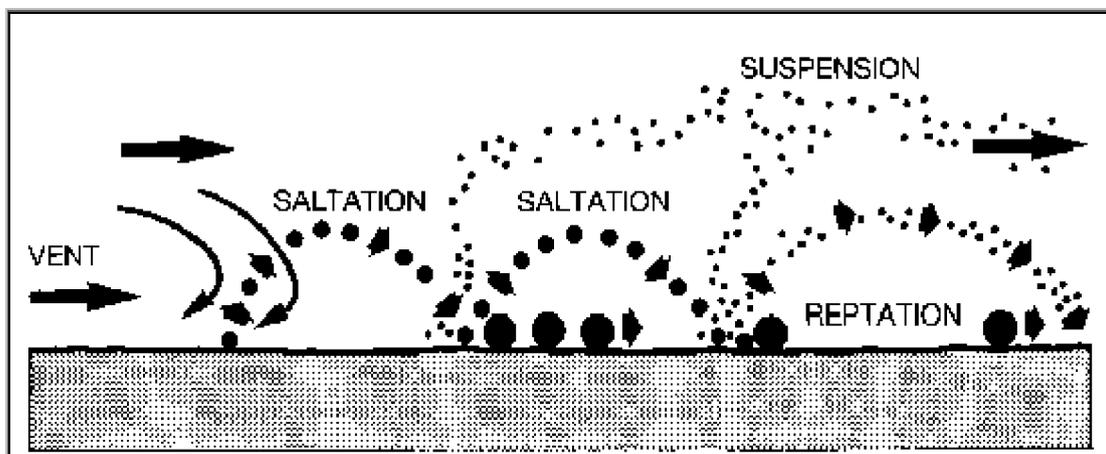
C'est le déplacement des particules de plus grande dimension par roulement ou glissement à la surface du sol. Trop lourdes pour être soulevées, leur mouvement est déclenché par l'impact des particules en saltation plutôt que par l'action du vent. Ce mode intéresse les grains de forte densité et de granulométrie variable entre 0,5 et 2mm.

La Suspension :

Déclenchée au départ par une saltation, le soulèvement et le transport en l'air des particules très fines sont assurés par le vent. Arrivées dans la couche turbulente, ces particules assimilables à des poussières sont soulevées par des courants ascendants et forment des nuages atteignant parfois 4000m d'altitude.

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

Fig.7-Mode d'entraînement des particules



Le mécanisme de mouvement en masse :

Les particules en mouvement sont le siège d'interactions dont il faut citer principalement:

L'effet d'avalanche:

Ce phénomène est la conséquence de la saltation. Les particules qui ont sauté, provoquent, en retombant, le départ d'une quantité plus importante de particules. Aussi, lorsque le vent progresse sur un sol dénudé, sa charge en particules augmente sans cesse jusqu'à atteindre un maximum tel que la quantité perdue est égale à la quantité gagnée à chaque instant.

La charge maximale du vent en particules est sensiblement la même pour tous les types de sols et elle est égale à celle que l'on rencontre sur les dunes de sable.

La distance nécessaire pour que cette saturation soit atteinte varie en raison inverse de la sensibilité d'un sol à l'érosion. Ainsi sur un sol très fragile elle peut se produire en une cinquantaine de mètres, et demander plus de 1000 mètres sur un sol de bonne cohésion.

Le phénomène d'avalanche, nettement visible sur les dunes soumises à des vents monodirectionnels, provoque des ensablements par masse, les plus menaçants.

Le triage:

Le vent déplace les particules très fines et très légères beaucoup plus rapidement que les grosses. Plus les particules sont fines, plus leur vitesse est grande et plus la distance qu'elles parcourent et les hauteurs qu'elles atteignent sont importantes. Le vent sépare ainsi les différents éléments du sol en catégories suivant leurs dimensions : mottes non érodables, gravier, sable, argile et lœss. Il emporte ainsi les éléments fins et ne laisse sur place que les éléments grossiers. Une autre conséquence de ce triage est la stérilisation progressive du sol car la matière organique elle-même formée d'éléments fins et peu denses, est l'un des premiers éléments à être emporté.

La corrasion:

La corrasion est l'attaque mécanique de la surface sur laquelle souffle un vent chargé de particules. Il s'agit du prélèvement direct sur roches cohérentes par abrasion, c'est dans les régions arides, une cause aggravante de l'érosion des sols.

Dans un matériau cohérent et homogène la corrasion se traduit par des stries parallèles ou par un remarquable poli. Le polissage affecte les affleurements comme les cailloux des regs, plus ou moins alvéolés ou façonnés en facettes "dreikanter".

Les vents de sable associés aux effets des amplitudes thermiques donnent aux buttes résiduelles découpées dans des couvertures gréseuses, des formes de champignons.

Dans les roches meubles et en particulier dans les terres agricoles (argile et limons), les vents creusent des sillons parallèles mettant à nu les racines des jeunes plantes. Lorsque ce phénomène est poussé plus loin, la corrasion délimite des buttes allongées aux profils longitudinaux aérodynamiques, hautes parfois de plusieurs mètres appelées "yardangs".

1.2.3/Le vent agent de formation des dunes

Lorsque le vent faiblit et perd sa vitesse d'entraînement, c'est à dire la vitesse ascensionnelle est inférieure à la vitesse de chute des particules soulevées, celles-ci sont déposées sélectivement et reviennent au sol avec la diminution de la vitesse. La forme des accumulations sableuses est très complexe, non seulement en raison de la structure du courant éolien, mais aussi de la nature de la surface du sol, de la topographie, de la végétation et de la dimension des grains de sable. D'autres facteurs interviennent en aidant le vent à jouer son rôle de constructeur, ces facteurs sont des obstacles naturels ou artificiels qui forment des pièges au sable transporté par le vent.

L'efficacité d'un obstacle est fonction de:

- Sa hauteur.
- Sa perméabilité.
- Sa flexibilité et résistance.
- Sa rugosité et sa pente du côté exposé au vent.

Toute barrière, toute proéminence, toute excavation, toute surface rugueuse et toute pente peuvent, selon leur efficacité, ralentir la vitesse du vent et provoquer l'atterrissement à leur niveau du sable transporté. Les principaux obstacles responsables de l'ensablement se distinguent en trois catégories : les obstacles naturels topographiques, les obstacles mécaniques et les obstacles vivants.

Les formes d'accumulation :

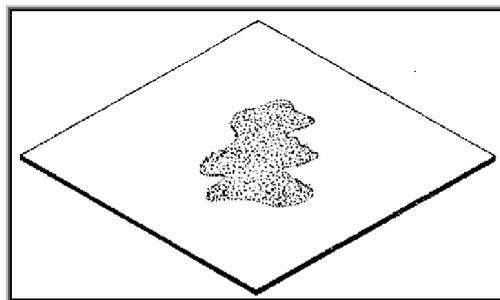
Selon le critère de classification choisi qui peut être soit le vent, soit la topographie soit la végétation, on distingue plusieurs formes

d'accumulations sableuses. Nous reprenons ci-après les accumulations éoliennes les plus courantes et caractéristiques.

Le voile sableux :

C'est un saupoudrage diffus des particules sableuses à la surface du sol (fig 8), les surfaces très rugueuses ou couvertes de végétation et les pentes sont les lieux privilégiés de formation des voiles sableux.

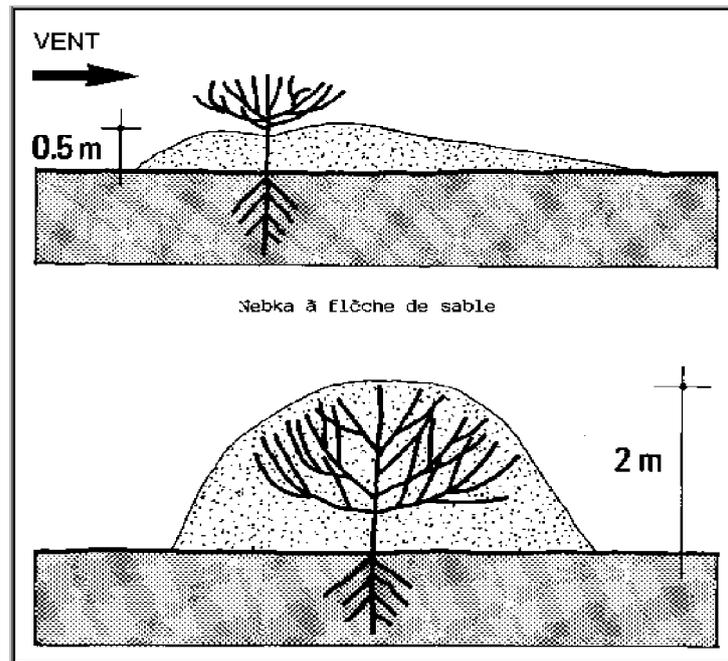
Fig.8-Voile sableux



Nebka :

Dans les régions sahariennes le mot "Nebka" en arabe veut dire dune ou dunette : C'est un dépôt sableux provoqué par un obstacle (végétal, rocheux...) sur la trajectoire des particules sableuses en mouvement. On distingue deux types de nebkas: nebka en languette ou en flèche de sable, orientée suivant la direction du vent qui l'a formée, et nebka buissonnante de forme ovoïde couvrant presque entièrement l'obstacle et avec une légère et courte pointe au côté sous le vent. Cette forme est le deuxième stade de formation de la nebka en flèche. (fig 9). La dimension d'une nebka est de quelques décimètres de hauteur et de 1 à 4m de long. Une nebka s'édifie rapidement en quelques jours de vent fort de direction constante. Elles peuvent se détruire aussi rapidement, certaines sont de formes fugitives caractéristiques du dernier vent de sable. La nebka indique une mobilité du sable à l'échelle locale.

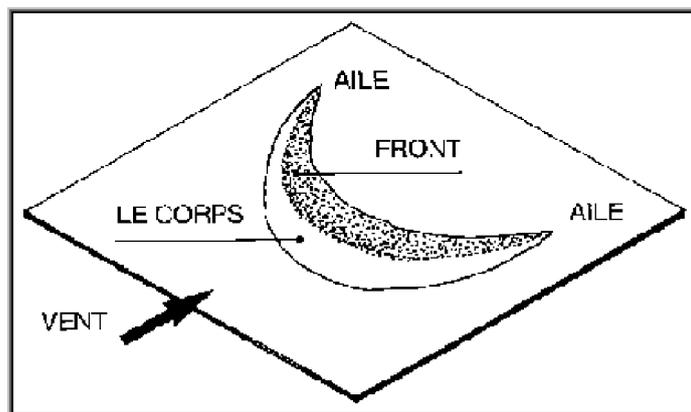
Fig.9-Nebka-Nebka buissonnante



Barkhane :

C'est une dune en forme de croissant à convexité au vent (fig 10). Sa formation passe par plusieurs stades: bouclier sableux, bouclier barkhanique, dièdre barkhanique (fig11). Les conditions de leur genèse sont un vent dominant et un substrat cohérent constitué d'éléments de taille supérieure à ceux qui sont mobilisables par le vent.

Fig.10-Barkhane



Une barchane isolée peut être considérée comme un véhicule de transport de sable qui migre dans sa totalité et selon une direction de cheminement conforme à son axe de symétrie qui est la direction du vent. Lorsqu'une dune devient une vraie barchane, sa dynamique reste

la même quelle que soit sa taille jusqu'à un seuil à partir duquel, trop grande pour migrer en totalité, elle devient réservoir de sable pour des barkhanes plus petites. Sa vitesse de migration dépend de sa taille et de la pente sur laquelle elle se déplace ; la vitesse diminue lorsque la taille croît. Quand la surface du sol est inclinée dans le sens du vent, la progression de la dune s'accélère ; lorsqu'il y a contre-pente, c'est le contraire qui se produit. La vitesse de déplacement peut atteindre plusieurs dizaines de mètres par an.

Les barkhanes ne restent généralement pas à l'état isolé. Elles peuvent se fusionner et former des ensembles plus ou moins complexes allant des chaînes ou trains barkhaniques à de véritables massifs dunaires.

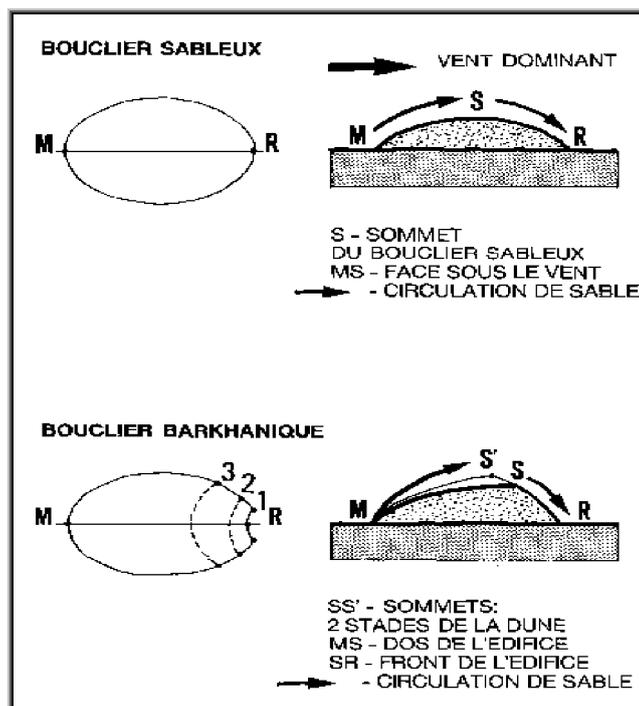
Le bouclier sableux :

On l'appelle aussi barkhane naissante. Il s'agit d'une accumulation sableuse peu mobile sous forme ovoïde à profil en dôme, ne présentant ni crêtes ni ailes.

Le bouclier barkhanique :

A l'inverse de la première, il s'agit d'une dune mobile qui se caractérise par une légère encoche concave qui apparaît du côté sous le vent. Cette forme porte le nom également de barkhane embryonnaire.

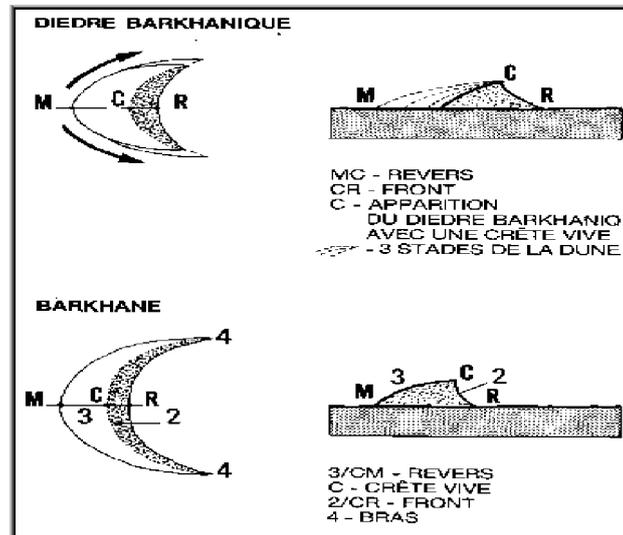
Fig.11-Edifices barkhaniques et barkhane 1



Le dièdre barkhanique :

La forme du bouclier barkhanique devient celle d'un dièdre lorsque le dos de la dune forme avec la pente de l'encoche une crête anguleuse. Dans cette forme le dos est plus large que le front de la dune (fig 12).

Fig.12-Edifices barkhaniques et barkhane

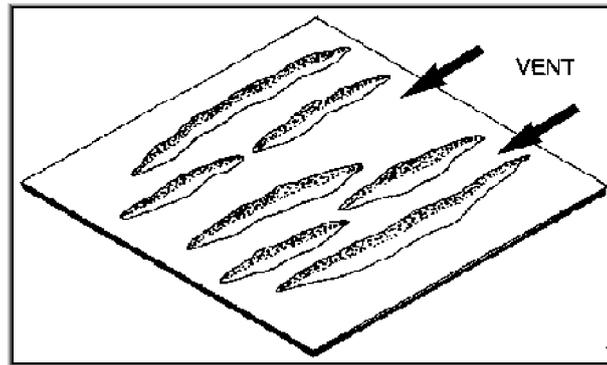


Dunes linéaires ou sif :

Une dune linéaire (fig 13) ou du mot arabe sif est un édifice allongé, étroit, de forme étirée sur toute sa longueur. Il possède deux côtés à pentes fortes qui se rejoignent en une crête active. Elle résulte de l'action de deux vents de directions différentes et son emplacement est toujours oblique par rapport au vent résultant annuel. Sa longueur est plusieurs fois plus grande que sa largeur. En moyenne les sifs ont de 2 à 3 km de long et 30 à 150 mètres de large. Quelquefois ils peuvent être discontinus et assemblés en rides pouvant atteindre 30 à 40 km de longueur.

Le mouvement d'une dune linéaire se fait par allongement. Le vent chargé de sable en rencontrant une dune linéaire dépose une partie du sable sur la face de la dune au vent, l'autre partie franchit la crête jusqu'à la face sous le vent, où l'effet de remous du sillage la ramène à la dune. Le sable accroché à la dune migre comme le long d'un rail parallèlement à l'édifice qui s'allonge selon sa propre direction.

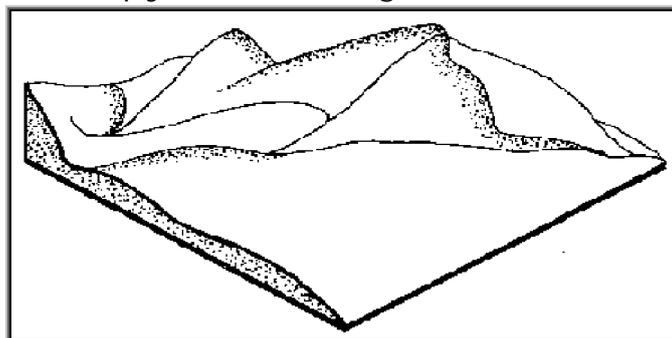
Fig.13-Dunes linéaires "SIF"



Les dunes en pyramide ou "ghourds" :

Ce sont des collines de sable souvent en forme de pyramide étoilée avec trois ou plusieurs bras s'étalant à partir du sommet (fig 14). Ces dunes signifient l'absence de vents dominants. Elles naissent à la convergence de plusieurs flux éoliens et sont pratiquement immobiles. Elles constituent une source de sable qui dépend de la direction du vent et de la topographie, et peuvent donner naissance à des barkhanes ou à des dunes linéaires. Les bras provoquent souvent des ensablements géants. Les ghourds sont en effet les plus hauts édifices sableux de la terre, ils dépassent souvent 400m de hauteur et leur diamètre peut atteindre 3 Km. De plus, les stars dunes peuvent être alignées en formant des chaînes ghourdiques.

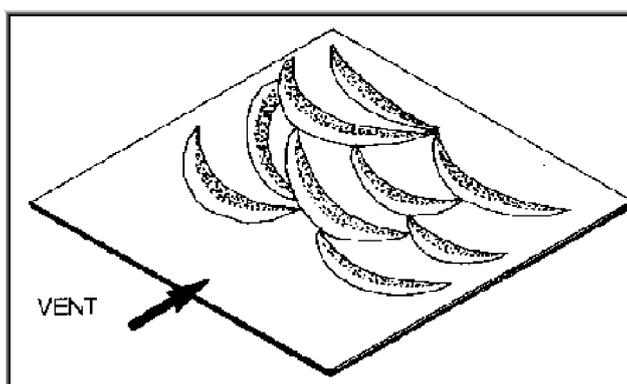
Fig.14-Dune pyramidale: "ghourd" ou "star dune"



Aklé :

Dense assemblage de dunes qui se tassent et tendent à grimper l'une sur le dos de la précédente (fig 15).

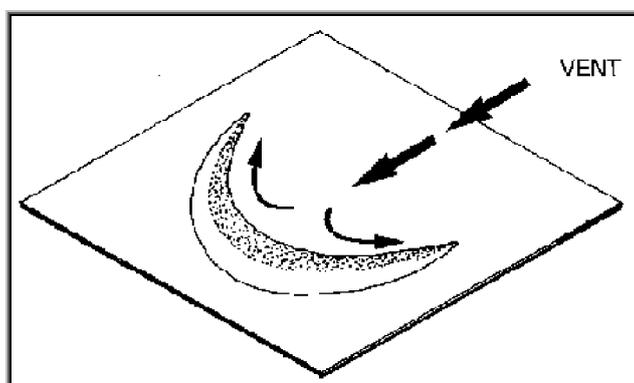
Fig.15-Aklé



Dune parabolique :

C'est une dune dissymétrique en forme de fer à cheval à concavité au vent souvent plus ou moins fixée par la végétation (fig 16). Sa disposition par rapport à la direction du vent est inverse de celle de la barkhane. La dune parabolique est peu mobile et généralement ne migre guère une fois qu'elle est formée.

Fig.16-Dune parabolique

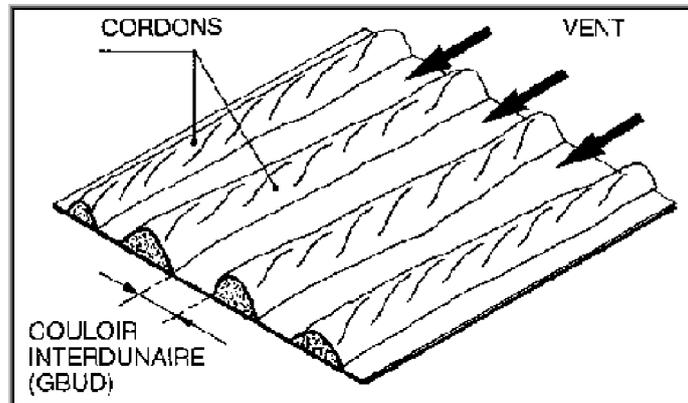


Cordons longitudinaux: Sandridge :

Les cordons allongés (fig 17) ou "sandridges" 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. Ils ont une toute autre dimension que les dunes linéaires, leur base est large.

Fig.17-Dunes longitudinales "Sandridge"



1. 3/Les effets

L'érosion éolienne concourt à la désertification des zones sources et constitue l'une des causes de l'appauvrissement des sols. Elle se produit par la déperdition en substances nutritives dues à la disparition de la fraction organique du sol. On assiste alors à une altération des propriétés du sol quant à l'infiltration et à la rétention des eaux des pluies et à une perte en micro-organismes jouant un rôle essentiel dans la fixation de l'azote nécessaire aux végétaux supérieurs. Les dépôts éoliens par sédimentation, gravitation ou impaction, ou associés aux eaux des pluies fertilisent les zones-puits, qu'elles soient continentales ou littorales.

De cet aspect théorique, une question se pose est «Comment peut-on quantifier cet aléa ensablement» ?

2/Quantification de l'érosion éolienne

Nous considérons que le flux de poussières soulevé, en un lieu, dépend à la fois des conditions atmosphériques et des caractéristiques de la surface du sol, ce flux est nul si, quelles que soient les conditions atmosphériques, l'état du sol ne se prête pas à la déflation. De même, une absence totale de vent correspondra à un flux nul quel que soit l'état de disponibilité du sol à la déflation. Nous en déduisons donc que la perte du sol par érosion éolienne, notée E_w résulte de deux facteurs dont les effets sont multiplicatifs :

$$E_w = I(n_r, e_c, h, R, V_g) C \quad [1]$$

D'où :

I : Erodibilité du sol, doit tenir compte des principaux paramètres de surface qui conditionnent l'érosion éolienne :

n_r : Distribution granulométrique des éléments de l'état de surface ;

e_c : Facteur d'encroûtement ;

h : Humidité du sol ;

R : Rugosité du sol ;

V_g : Couvert végétal.

C : Pouvoir de déflation, mesure l'aptitude du vent à soulever les particules du.

De ce constat, nous pouvons conclure que :

-Le pouvoir de déflation marque l'influence du vent sur le sol, et il peut être décrit sous le terme général *éolisation* ; si les propriétés du sol sont affectées par l'érosion éolienne, donc le sol est appelé à être *éolisé*.

-D'autre part, le sol offre certaine résistance au courant d'air, en réduisant sa vitesse et en diminuant son énergie cinétique. L'effet du vent dépend aussi des propriétés internes du sol, particulièrement la cohésion entre ces agrégats, exprimée par la proportion du matériel granulaire dans le sol. La cohésivité dépend aussi du degré de cimentation des particules et de l'état d'humidité du sol.

Généralement, l'influence du vent sur le sol est déterminée par l'érosivité du vent ou éolisivité, la résistance du sol au vent par l'érodibilité du sol ou éolibilité.

En l'absence d'une couverture de sol, cette action de déflation représente l'érosion éolienne potentielle qui peut être définie comme étant l'érosion éolienne possible du sol non protégé ou aléa d'ensablement. Celle-ci peut être formulée ainsi :

$$E_{ep} = C . I \quad [2]$$

Où :

E_{ep} : Perte du sol par érosion éolienne en t/h/an.

C : Eolisivité.

I : Eolibilité en t/ha/an.

2.1/Equation de l'érosion éolienne

Parmi les équations les plus utilisées pour l'estimation de l'érosion éolienne, nous citons l'équation de l'érosion éolienne *WEE* de W.CHEPIL et P.N.WODRUFF, F.H.SIDOWAY et autres. Elle est de la forme :

$$E_w = f(I, C, K, L, V) \quad [3]$$

Où :

E_w : Perte de sol moyenne annuelle [t/h/an].

I : Facteur d'érodibilité (éolibilité) du sol [t/h/an].

C : Facteur climatique (sd).

K : Facteur de rugosité.

L : Facteur de «longueur de l'ouverture du champ au vent».

V : Facteur couvert végétal.

2.1.1/Eolisivité (érosivité du vent)

C'est le facteur climatique C qui inclut la vitesse moyenne annuelle du vent V [m/s] mesurée à une hauteur de 10m (9m), et l'humidité de la première couche du sol (en surface). L'humidité est estimée par l'indice efficacité des pluies de Thornthwaite sur une base mensuelle. P : précipitation du mois i , E = évaporation potentielle du mois i (basé sur la température du même mois).

C peut être calculé alors par la formule de Chepil et Al (1965) suivante :

$$C = 100 \frac{(V)^3}{(P-E)^2} \quad [4]$$

$(P-E)$: Représente l'écoulement E annuel d'après Thornthwaite.

Cette équation a été développée non pas avec le système d'unité SI, par conséquent quelques corrections sont nécessaires (au moins [in \rightarrow mm], [$^{\circ}$ F \rightarrow $^{\circ}$ C]).

Remarque:

La plupart du temps la vitesse est enregistrée à 2 ou à 4m, pour avoir la vitesse à 10m, on utilise la formule:

$$\frac{V_{Z1}}{V_{Z2}} = \left(\frac{Z1}{Z2}\right)^{0,143} \quad [5]$$

L'équation adaptée par La F.A.O. est :

$$C = \frac{100 \cdot (V)^3}{9,2 \cdot (Pe)^2} \quad [6]$$

V : Vitesse du vent en m/s à 10m de hauteur.

Pe : Pluies efficaces en mm, indice de Thornthwaite qui peut être calculé par l'équation :

$$Pe = 3,16 \sum_1^{12} \left[\frac{Pi}{(1,8Ti + 22)} \right]^{10/9} \quad [7]$$

Ensuite, pour une meilleure précision de l'estimation, La FAO a modifié la formule de Chepil (F.A.O. 1979 ; Skidmore 1986) :

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETP_i - P_i}{ETP_i} \right) \right] \cdot d \quad [8]$$

Où : C : le facteur climatique de WE .

V : la vitesse moyenne mensuelle du vent à 2 m de hauteur (m/s).

ETP_i : l'évaporation potentielle mensuelle (mm).

P_i : les précipitations mensuelles (mm).

d : le nombre de jours dans le mois concerné.

Le bilan hydrique selon Thornthwaite (P-E) :

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10 \cdot T}{I} \right)^a, \quad I = \sum_1^{12} i, \quad i = \left(\frac{T}{5} \right)^{5.14}$$

$$a = (0,016 \cdot I) + 0,5 \quad ETP_i = ETP_{nc} \cdot K$$

Où :

ETP_i : Evapotranspiration potentielle du mois considéré en mm.

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré en °C

K : Coefficient d'ajustement (correction) mensuel, en fonction de latitude.

Bilan :

Le bilan est basé sur la notion de réserve en eau, stockée dans le sol, facilement utilisable, RFU ; elle est bornée (0.200mm). On admet qu'il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant ($ETP=ETR$) avant l'écoulement. On établit le bilan à l'échelle mensuelle à partir de la pluie, de l' ETP et de la RFU ainsi :

1°. Si $P > ETP \rightarrow RFU = \text{maximum}$ et $ETR = ETP$, il reste donc un excédent $P - ETP$ qui sera affecté en premier lieu à la RFU , et si RFU est maximum (complète), l'excédent sera affecté à l'écoulement $E \rightarrow E = P - ETR$.

2°. Si $P < ETP$, c'est-à-dire, on évapore toute la pluie et on prend l'eau nécessaire à la RFU (jusqu'à la vider) pour satisfaire l' ETR , soit :
 $ETR = P - \text{Min de } RFU$.

$\text{Min } RFU = ETP - P \rightarrow RFU_i$ (du mois i) = RFU_{i-1} (mois précédent) - $(ETP - P)$.

Si on arrive à $RFU_i = 0$ et $P > ETP \rightarrow RFU_{i+1} = RFU_i + (P - ETP)$;

Si $RFU_i = 0$ et $P < ETP \rightarrow RFU_{i+1} = 0$.

Noter : Bérenger et Bernet ont étudié la fréquence d'occurrence de la chasse sable en fonction respectivement de la vitesse moyenne du vent à Reggane en Algérie et de la vitesse maximale du vent à Faya Largeau au Tchad. Les Résultats statistiques qu'ils ont obtenus montrent que l'aptitude d'un vent à provoquer la déflation est nulle au-dessous d'un

certain seuil de l'ordre de 5 à 8 m/s et qu'elle augmente ensuite très vite avec la vitesse.

2.1.2/Eolibilité (érodibilité du sol)

C'est la facilité de désagrégation du sol. L'érodibilité du sol est l'expression de la fraction d'agrégats ou de particules non devastables par le vent, elle est égale à la fraction des quantités d'éléments non transportables par les vents sur celle d'éléments déflatables.

$$I = \frac{X_2}{X_1}$$

Au niveau des tests et observations qui ont conduit à l'établissement de la formule, X_1 ou la partie de sol devastable par les vents comprend les éléments de sol dont la taille est inférieure à 0,84mm. La violence des vents, des tourbillons, tornades et vents de sable déplace et transporte des grains de diamètre allant jusqu'à 1mm.

Par ailleurs l'érodibilité d'un sol est une donnée très variable, elle est fonction de l'état d'humidité du sol et de sa dynamique biologique et minérale. Dans les sols à texture essentiellement sableuse et très pauvre en matière organique comme la majeure partie des sols cultivés, cette variabilité est réduite et reste principalement liée aux saisons. L'érodibilité serait par conséquent maximum en saison sèche et minimum en saison humide.

Le facteur I représente la perte du sol annuelle au niveau d'un champ nu et sec, le facteur incorpore le pourcentage des sables secs de diamètre $>0.84\text{mm}$ ($>1\text{mm}$), dans la couche supérieure du sol. De plus, la raideur de l'inclinaison du côté au vent est considérée.

Calcul de l'éolibilité :

D'après HAYES (1965), l'éolibilité est basée sur le pourcentage des éléments non érodables, A ($\%d \geq 0.84 \text{ mm}$), Elle est inversement proportionnelle à A . [9]

Tab.15-Les valeurs de l'éolibilité suivant le facteur A

A (%)	0	3	10	20	30	40	50	60	>60	70%
T/ha/an	773	544	331	242	188	138	97	91	<57	12

L'équation de SHIYATYI (1965) est de la forme :

$$I = 10^{4,03691 - 0,0384S - 0,00406N} \quad [10]$$

Où :

I : Éolibilité en g/m^2 , S : Texture du sol (%d > 1mm).

N : Nombre des restes de tiges > 20cm de long par m^2 .

2.1.3/Facteur rugosité K

La rugosité du sol est un frein à l'érosion éolienne. Plus un sol présente des aspérités, moins le vent a prisé sur lui pour le dévaster. Parmi ces aspérités au niveau d'une parcelle on peut considérer les formations de terres surélevées et fixes, les cailloux et rochers et tous les agrégats de taille supérieure à la fraction transportable. Concernant les aspérités du microrelief (monticule, dunes fixes, gros cailloux, rochers ...) leur rôle dans la réduction de l'action érosive du vent est fonction de leur hauteur et de leur dispersion dans l'espace considéré.

Le K est une mesure pour l'effet de rugosité de la surface, perpendiculairement à la direction principale du vent, produite par les tillages ou les procédures de gestion du sol. La rugosité K est fonction du facteur R qui doit être calculé ainsi :

$$R = 4 \cdot \frac{H^2}{d} \quad [11]$$

Où :

H : Hauteur de la corniche du sillon (mm).

d : Distance entre corniches (cm).

Ainsi, le K est calculé pour les trois différentes conditions comme suit :

$$K = 1$$

$$\text{si } R < 2,27$$

$$K = 1,125 - 0,153 \ln(R)$$

$$\text{si } 2,27 \leq R < 89$$

$$K = 0,336 \cdot E^{0,00324R}$$

$$\text{si } R \geq 89$$

2.1.4/Facteur longueur d'ouverture du champ L [m]

Bien que reconnue comme un facteur fondamental dans la quantification de la somme de matière érodée par le vent, la définition de la longueur du champ L à considérer pose problème par le fait que la direction des vents est très changeante à l'intérieur d'une superficie limitée. A grande échelle cela pose moins de problème.

Le L est une mesure de la longueur ou distance du champ à étudier, suivant la direction principale du vent, et non protégé par des barrières, naturelles ou artificielles, même arbres, haies ou brise-vent. La relation est donnée par :

$$L=D-10.H \quad [12]$$

D : Longueur totale du champ dans la direction principale du vent [m];
 H : Hauteur de la barrière [m]. Cependant D n'est pas la longueur du champ simplement, mais l'orientation du champ par rapport au nord (angle), la direction du vent (angle) et la largeur du champ [m] sont reliées entre elles par une équation complexe.

2.1.5/Couvert végétal V [Kg/ha]

Un sol totalement couvert de végétation est entièrement protégé contre l'action des vents dont la force érosive, toute chose étant égale, est directement proportionnelle à la capacité de freinage de la matière végétale en présence. La végétation a déjà souvent été utilisée pour réduire ou anéantir l'énergie érosive des vents.

Le facteur V comprend l'effet de la matière végétative vive et morte, debout et/ou allongée sur le sol. Le taux des résidus SGe , qui est seulement une partie du V en [Kg/ha] peut être calculé ainsi :

$$SGe=0,162\frac{R_w}{d}+\left(8,708\frac{R_w}{d.y}\right)^{0,5} -271 \quad [13]$$

Où : R_w : Poids des résidus debout [Kg/ha].

d : Diamètre moyen des tiges [cm].

y : Poids spécifique moyen des tiges [t/m^3].

WILLIAMS et Al (1984) a proposé une équation permettant de déterminer le facteur couvert végétal, elle est de la forme :

$$V=0,2533(SGe)^{1,363} \quad [14]$$

Où V : Facteur couvert végétal ($0 \leq V \leq 1$).

2.2/L'érosion éolienne potentielle ou aléa ensablement

Elle s'obtiendra par la multiplication d'éolisivité et d'éolibilité, ceci pour but de confirmer que la région serait soumise à l'aléa ensablement (susceptible de se manifester), autrement dit, savoir principalement l'aptitude de la région à être ensablée sans tenir compte des autres facteurs qui en diminuent ou en augmentent l'effet.

Il peut être quantifié ainsi :

$$Eep = C.I \quad [2]$$

Où

C : Erosivité du vent.

I : Erodibilité du sol.

3/ Application sur la zone d'étude

Pour appliquer la formule de l'érosion éolienne potentielle, il est nécessaire d'avoir les données climatiques et édaphiques pour calculer respectivement l'éolisivité et l'éolibilité.

3.1/ Calcul de l'éolisivité

Concernant le facteur C , nous avons amené les précipitations mensuelles (P en mm), les températures mensuelles (T en °C) et les vitesses mensuelles du vent (V en m/s à 10m de hauteur) d'une durée de 10 ans (1994-2003).

Tab.16-Les précipitations mensuelles de la région de Barika

ANNÉE/MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	ANNUEL
1994	70.4	67.4	2.3	1.8	38.3	14.1	18.1	0	0.2	2.6	0.4	1.2	216.8
1995	34	3	7	15	7	4	24	9	1	8	0	3	115
1996	10	5	1	5	79	39	48	12	32	11	6	5	253
1997	40	10	43	20	13	5	3	42	1	10	0	10	197
1998	37	3	5	3	12	12	1	33	28	2	1	3	140
1999	17	31	28	42	55	2	2	14	2	9	1	12	215
2000	22	1	10	28	0	0	6	2	47	2	0	34	152
2001	23	5	26	21	18	5	1	1	8	0	0	0	107
2002	6	25	28	10	3	2	8	12	3	1	1	9	108
2003	28	82	17	37	92	20	7	40	14	2	13	12	272

Tab.17-Les températures mensuelles de la région de Barika

ANNEE/MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	MOY
1994	25	18.3	13.3	7.9	8.6	9.7	15.1	14.8	25.3	28.4	31.7	32.5	19.2
1995	23.4	19.4	12.9	10.3	7.1	11.5	12	15.4	22.8	26.9	31.2	29.4	18.5
1996	22.9	17.1	13.4	10.4	9.9	8.3	12	15.3	21	24.6	29.7	30.1	17.9
1997	24.2	18.8	12.7	8.8	9.6	11.9	13.5	16.1	23.2	29	31	29.5	19
1998	26.3	16.9	12.6	7.4	7.9	10.1	12.6	17.2	20.5	28.1	31.4	30.4	18.5
1999	26.4	20.9	11.9	8.3	8.5	8.2	13.1	18.1	25.7	30.1	30.8	33.1	19.6
2000	25.7	18.3	13.2	9.5	5.5	10.4	14.5	18.6	25	27.5	31.4	30.4	19.2
2001	26.2	23.4	16.5	7.6	8.8	9.7	17	16.7	22.4	29	32.1	31.4	20.1
2002	21	19.5	13.4	10.1	7	10.3	15.1	18	23	29	31.3	29.4	18.9
2003	25.4	21.1	13.1	7.8	8.1	8.1	13	17	22.8	29.3	33	31.3	19.2

Tab.18-Les vitesses du vent mensuelles de la région de Barika
(V en m/s à 10m de hauteur)

ANNEE/MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	MOY
1994	5.7	3.3	3	3.1	3	8	3	5.8	5.8	7	4.2	4.7	4.7
1995	4.1	2.2	3.5	3.1	3.4	4.6	4.9	4.3	5.2	5.4	5.7	4.9	4.3
1996	5.2	4.6	3.6	4.4	3.7	4.8	3.8	4.4	4.9	5.2	5.4	5.3	4.6
1997	4	3.6	3.5	3.3	3.8	3.9	4.9	3.8	4.6	4.7	5.4	4.4	4.2
1998	3.6	2.7	2.3	3	2.9	2	4.1	4.1	3.9	4.8	4.3	4.1	3.5
1999	4.6	3.1	3.1	3.4	2.8	4	5	5.8	6	4.8	5	4.6	4.4
2000	4.4	3.9	3.4	3.6	2.1	4	4.5	5.5	4.9	4.9	5.1	4.2	4.2
2001	4.3	3.5	3.9	2.7	3.3	4.6	5.2	5.7	5	6.3	5	4.6	4.5
2002	4.5	4.3	5.6	4.4	2.6	4.9	5.6	6.2	6.6	5.7	7.1	5.3	5.2
2003	5	4.6	3.7	4.3	2.2	4	4	6	4.5	5	5	4	4.4

Selon la formule de la FAO [6]:

Les résultats de calcul pour l'année 2000 comme exemple sont:

	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT
$T^{\circ}C$	25.7	18.3	13.2	9.5	5.5	10.4	14.5	18.6	25	27.5	31.4	30.4
$P(mm)$	22	1	10	28	0	0	6	2	47	2	0	34
$\left[\frac{P}{1,8T_i+22}\right]^{10/9}$	0.28	0.01	0.18	0.69	0	0	0.10	0.02	0.67	0.02	0	0.40

$$V=4,2 \rightarrow (V)^3=74,08$$

$$Pe=3,16 \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{(1,8T_i+22)}\right]^{10/9} =3,16.2,37=7,49$$

$$C=\frac{100.(V)^3}{9,2.(Pe)^2}=\frac{100.74,08}{9,2.56,10}=\frac{7408}{516,12}=14,35$$

La même procédure s'applique à toutes les années (voir annexe) :

Tab.19-Les valeurs de l'éolisivité selon la formule [6]

ANNÉE	FACTEUR C
1994	6,76
1995	2,14
1996	3,40
1997	5,68
1998	8,24
1999	2,11
2000	14,35
2001	26,20
2002	46,23
2003	1,35
Total	116,46
Moyenne	11,65

Nous avons aussi appliqué la formule [8] de Skidmore (1986) :

Qui demande des données de vitesse du vent à 2m de hauteur et les valeurs de L'ETP.

Pour transformer les vitesses du vent à 2m, nous avons utilisé la formule [5].

Par exemple pour une vitesse de 5,7 m/s, pour une hauteur de 2m, nous aurons:

$$\frac{5,7}{V_{z2}}=\left(\frac{10}{2}\right)^{0,143}$$

$$V_{z2} = \frac{5,20}{1,258} = 4,53 \text{ m/s.}$$

Les résultats se sont inscrits dans le tableau ci-après :

Tab.20-Les vitesses du vent mensuelles de la région de Barika
(V m/s à 2m de hauteur)

ANNEE/MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU
1994	4.53	2.62	2.38	4.46	2.38	6.36	2.38	4.61	4.61	5.56	3.34	3.74
1995	3.26	1.75	2.78	2.46	2.70	3.66	3.9	3.42	4.13	4.30	4.53	3.9
1996	4.13	3.66	2.86	3.50	2.94	3.82	3.02	3.50	3.90	4.13	4.29	4.21
1997	3.18	2.86	2.78	2.62	3.02	3.10	3.89	3.02	3.66	3.74	4.29	3.50
1998	2.86	2.15	1.83	2.38	2.3	1.59	3.26	3.26	3.10	3.81	4.42	3.26
1999	3.66	2.46	2.46	2.70	2.22	3.18	3.97	4.61	4.77	3.81	3.97	3.66
2000	3.50	3.10	2.70	2.86	1.67	3.18	3.58	4.37	3.89	3.89	4.05	3.34
2001	2.70	2.78	3.10	2.15	2.62	3.66	4.13	4.53	3.97	5.01	3.97	3.66
2002	3.85	3.42	4.45	3.50	2.07	3.89	4.45	4.93	5.25	4.53	6.64	4.21
2003	3.97	3.66	2.94	3.42	1.75	3.18	3.18	4.77	3.58	3.97	3.97	3.18

Pour le calcul de L'*ETP*, on applique la formule de Thornthaitte, les valeurs du facteur *K* à 35° de latitude Nord sont tirées du tableau (voir annexe) :

Tab.21-Les valeurs du facteur *K*

LATITUDE NORD	JAN	FER	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
35°	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85

Tab.22-Les valeurs de L'*ETP* de la région de Barika

A/M	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU
1994	113.40	55.63	25.31	8.42	10.30	12.93	39.553	40.11	136.56	173.88	222.41	220.97
1995	104.03	67.33	26.40	16.63	8.09	20.73	27.37	47.68	116	110.30	214.68	184.93
1996	102.39	55.20	30.72	18.71	17.43	12.16	29.80	50.16	109.94	137.92	200.92	194.39
1997	107.73	60.61	24.14	11.29	13.80	20.90	32.75	49.64	116.11	183.06	213.20	181.72
1998	130.19	51.08	25.32	8.72	10.16	16.15	30.32	59.43	93.39	174.36	220.83	195.33
1999	124.49	71.12	18.89	8.64	9.30	8.41	27.79	58.74	138.08	193.64	206.77	227.49
2000	120.62	56.05	25.19	12.56	4.12	15.16	36.68	65.15	133.79	163.13	218.50	192.65
2001	120.74	88.87	36.79	6.71	9.45	11.42	47.02	47.87	100.79	176.98	224.49	201.78
2002	82.82	65.48	28.35	15.09	7.34	15.70	41.37	62.54	114.20	182.82	214.18	180.21
2003	116.72	74.60	24.42	8.17	9.05	8.84	28.79	53.37	109.42	184.82	240.89	203.40

Pour l'année 2000 par exemple, les résultats sont:

	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV
$(V)^3$	42.87	29.79	19.68	23.43	4.65	32.15
$T^{\circ}C$	25.7	18.3	13.2	9.5	5.5	10.4
$P(mm)$	22	1	10	28	0	0
i	11.92	7.13	4.35	2.64	1.15	3.03
ETP_{nc}	117.11	57.79	29.29	14.78	4.74	17.84
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85
d	30	31	30	31	31	29
ETR	120.62	56.05	25.19	12.56	4.12	15.16
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)$	0.82	0.98	0.60	-1.23	1	1
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)d$	24.52	30.45	18.09	-38.10	31	29
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)d(V)^3$	1051.58	907.09	356.03	-892.82	144.15	932.35

(Suite)

	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT
$(V)^3$	45.77	83.57	59.09	59.09	66.63	37.21
$T^{\circ}C$	14.5	18.6	25	27.5	31.4	30.4
$P(mm)$	6	2	47	2	0	34
i	5.01	7.31	11.43	13.21	16.15	15.37
ETP_{nc}	35.61	59.78	110.57	148.82	177.64	166.08
k	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
d	31	30	31	30	31	31
ETR	36.68	65.15	133.79	163.13	218.5	192.65
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)$	0.84	0.97	0.65	0.99	1	0.82
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)d$	25.93	29.08	20.11	29.63	31	25.53
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)d(V)^3$	1186.75	2430.14	1188.36	1750.98	2065.53	949.95

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \rightarrow I = \sum_1^{12} i = 98,70$$

$$a = 0,016 \cdot I + 0,5 = 2,08$$

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10 \cdot T}{I}\right)^a \rightarrow ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10 \cdot T}{98,70}\right)^{2,08}$$

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)\right] \cdot d = \frac{1}{100} \cdot 12070,08 = 120,70$$

Les mêmes procédés ont été appliqués pour les autres années (voir annexe), les résultats sont comme suit :

Tab.23-Les valeurs de l'éolisivité selon la formule [8]

ANNÉE	FACTEUR C
1994	139,38
1995	128,20
1996	69,42
1997	92,54
1998	72,53
1999	102,70
2000	120,70
2001	148,77
2002	241,15
2003	15,29
Total	1130,68
Moyenne	113,07

3.2/Calcul de l'éolibilité

En se basant sur le pourcentage des éléments non érodables par les vents afin de calculer l'éolibilité, nous avons adopté à chaque type de sol le pourcentage de sable grossier des sous classes selon leur répartition (voir annexe). L'érodibilité des sols (T/ha) a été calculée par la formule [10] de SHIYATYI (1965)

L'application de celle-ci, par exemple pour les sols hydromorhes, nous donne :

$$I = 10^{4,03691 - 0,0384S - 0,00406N} \quad \text{d'où : } S=13 \text{ et } N=0$$

$$I = 10^{4,03691 - 0,0384(13) - 0,00406(0)}$$

$$I = 10^{4,03691 - 0,4992} = 10^{3,53771} = 3449 \text{ g/m}^2 = 34,49 \text{ T/ha}$$

Pour le reste des sols, les résultats sont :

Tab.24-Erodibilité des sols selon l'équation [10]

TYPE DE SOLS	% DE SABLE GROSSIER	I (T/ha)
Sols minéraux bruts	63,84	0,38
Sols peu évolués	4,93	70,37
Sols isohumiques	5,87	64,74
Sols calcimagésiques	11,89	38,03
Sols halomorhes	2,43	87,77
Sols hydromorphes	13	34,49

Selon l'abaque de corrélation entre la texture du sol et ce qu'on appelle les groupes «Érodibilité Éolienne» (EEG) de KIMBERLIN.L.W et AL (1977) (voir annexe), on peut tirer directement les valeurs de l'éolibilité :

Tab.25-Les valeurs de l'éolibilité selon l'abaque de corrélation [9]

TYPE DE SOLS	% DE SABLE GROSSIER	I (T/ha/an)
Sols minéraux bruts	63.84	86.50
Sols peu évolués	4.93	502.60
Sols isohumiques	5.87	455.75
Sols calcimagésiques	11.89	311.35
Sols halomorphes	2.43	604.82
Sols hydromorphes	13	304.30

Les résultats des différentes formules montrent que des équations surestiment l'érosion par rapport aux autres. Cela nous amène à adopter celles qui surestiment, du fait de notre but recherché qui est le risque d'ensablement. Dans ce cas, il est préférable de surestimer les valeurs pour montrer la gravité du problème avant toute catastrophe.

Pour l'estimation de l'érosion éolienne potentielle, c'est la multiplication des valeurs de l'éolisivité (formule [8]) avec celles de l'éolibilité (I : selon l'abaque de corrélation [9]), on obtient le tableau ci-dessous :

Tab.26-Les valeurs de l'érosion éolienne potentielle dans la région de Barika

TYPE DE SOLS	EOLISIVITE (C)	EOLIBILITE (I) (T/ha/An)	EROSION EOLIENNE POTENTIELLE (T/ha/an)
Sols minéraux bruts	113,07	86,50	9780,55
Sols peu évolués	113,07	502,60	56828,98
Sols isohumiques	113,07	455,75	51531,65
Sols calcimagésiques	113,07	331,35	35204,34
Sols halomorphes	113,07	604,82	68386,99
Sols hydromorphes	113,07	304,30	34407,20

3.3/Interprétation des résultats

Au travers d'un échantillon de dix ans, les valeurs de l'éolisivité se diffèrent d'une année à une autre, ceci est du souvent aux variations des précipitations mensuelles. L'analyse des dernières cinq années montre que l'éolisivité a commencé de s'accroître. Pour ce qui est de l'éolibilité, les valeurs allant de 86,50 à 604,82 T/ha/an, donc elle est très variable avec les types de sols.

Les sols minéraux bruts ont un pouvoir de résistance à la déflation du fait de sa portion très considérable des éléments non érodables, et aussi les sols hydromorphes qui sont y mois exposés grâce à leur humidité. Cependant, les sols halomorphes et les sols peu évolués sont plus sujets à l'action du vent qui pourrait transporter presque toute la quantité de ces sols. En outre, les sols isohumiques détenant un pourcentage aussi faible des éléments non dévastables par le vent, eu égard aux sols calcimagnésiques, ils peuvent être moins déplacés à partir de certaine cohésion des particules surtout quand la vitesse du vent reste constante.

L'érosion éolienne s'accuse dans les sols fortement érodables, à l'imitation des sols halomorphes, elle atteint plus de 68000 T/ha/an, un seuil qui signale la gravité de la quantité à éroder, mais la répartition de ce type est limitée. En revanche, les sols peu évolués, dont la localisation est largement développée, offrent une grande susceptibilité au fonctionnement de l'érosion éolienne qui se rapproche à 56000 T/ha/an.

Les sols isohumiques, dans lesquels l'érosion éolienne dépasse 51000 T/ha/an, est très considérable et reste une valeur assez élevée, par contre dans les sols calcimagnésiques (>35000 T/ha/an) l'action du vent en est moins intense mais constitue certes une véritable menace en raison de la progression du phénomène que son mécanisme continuera de les rendre impropres à la culture.

L'impacte de l'érosion éolienne sur les sols hydromorphes (>34000 T/ha/an) est moyen, et sur les sols minéraux bruts(>9000 T/ha/an) est tout à fait faible, de plus, ils sont des moins incultivables, alors que ceci n'empêche pas d'avoir, en l'espace, des répercussions sur les zones avoisinantes.

Conclusion

En définitive, la combinaison des facteurs climatiques et édaphiques favorise la dynamique éolienne, et après avoir déterminé, par les formules, les quantités de perte du sol, dans la plupart des cas sont énormes, il convient de ressortir que plusieurs dépôts et formations éoliens pourront avoir lieu, tout dépend des directions du vent dangereux, à ce propos, les vents dominants de l'ouest et du SE aident à accumuler des sables en formant les voiles éoliens, les barkhanes et les cordons longitudinaux, parfois la multiplication des deux directions aura engendré les dunes linéaires (sifs), ces accumulations d'origine allochtone indiquent, selon la direction des vents porteurs de sable, le lieu de provenance.

Néanmoins, la présence des dunes dans la région d'étude, à M'Doukal et en dessous du chott El Hodna, permet d'envisager que d'autres formations d'origine autochtone pourraient apparaître, notamment les nebkas qui désignent le passage du vent à vitesse élevée.

Il est évident que l'aléa d'ensablement se caractérise par les dépôts éoliens, alors même que leur dimension serait mince, puisque on s'intéresse à l'entraînement du vent sur le premier horizon de la couche superficielle du sol, tantôt cet horizon est couvert de sable à tel point que la repousse des plantes se coince, tantôt il est en voie de disparaître, la déperdition en matière nutritive s'accroît, car les deux cas dommageables tirent partie du mécanisme d'ensablement que la région de Barika aura contractés par le déplacement des sables allochtones vers laquelle ou par le déplacement des sables autochtones dans laquelle.

Chapitre 3

Vulnérabilité de la zone et risque d'ensablement

La cartographie est un outil qui a pour finalité la précision de la fréquence et la gravité du risque. L'analyse globale des risques, de l'évaluation des intensités à la prévision des événements qui se produiront, doit constituer la première étape d'une démarche volontaire de gestion de risques, elle permet de mettre en lumière et de hiérarchiser les risques afin d'engager ensuite des analyses et des actions plus ciblées.

Quelque soit la complexité des phénomènes, la compréhension de leurs mécanismes est une condition sine qua non pour déceler une assise de manière à atténuer les contraintes. Il est bien clair que le danger abonde en situations imprévues, c'est ce que la gestion des risques avait préconisé dans l'intention de prendre les mesures nécessaires et indispensables qui puissent en réduire l'effet, y compris les mesures de protection qui servent à anticiper au maximum et à gagner du temps. Toute cette connaissance est utilisée pour mettre en oeuvre des solutions de réduction du risque efficaces, cette discipline porte le nom de "mitigation".

La mitigation des risques naturels est l'action qui conduit à réduire l'intensité de certains aléas et la vulnérabilité des enjeux pour faire en sorte que le coût humain et matériel des dommages liés à la survenue de phénomènes climatologiques ou géologiques soit supportable par notre société.

1/Définition du risque (notion d'aléa et de vulnérabilité)

La notion de risques est largement évoluée, les sociétés ont à admettre une réelle argumentation parce que la perception du risque s'accroît peut être plus que les risques eux-mêmes, les recherches menées en la matière et le développement de la technique ont aidé l'opinion publique à consentir qu'il peut s'agir de tel incident, en effet, le niveau d'acceptabilité se fait connaître d'avantage au fil des jours.

Le risque est la possibilité de survenance d'un événement susceptible de porter atteinte à l'équilibre naturel, dit le Dictionnaire de

l'environnement (1991), cette définition s'appuie sur les données naturelles, c'est à dire le risque-agent, à ceci près que les personnes et les biens qui sont y soumis présentent le risque-objet. A vrai dire, le risque résulte de la conjonction d'un aléa et des enjeux en présence (Ministère de l'Environnement Français), cette dernière définition fait impliquer l'existence de l'homme dans la menace globale que courent les risques.

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}$$

A cela des précisions sont nécessaires :

-L'aléa est la probabilité d'un événement qui peut affecter le système étudié naturel ou technologique, dans notre cas, l'érosion éolienne mettrait en péril un milieu steppique, en le fragilisant, autrement dit, la probabilité d'occurrence d'un aléa d'ensablement qui se produise au cours d'une période déterminée.

-Les enjeux sont les personnes, les biens, les équipements et l'environnement menacés par l'aléa, et susceptibles de subir des dommages et des préjudices. En plein désert l'ensablement présente un risque faible ou très minime, cependant, quant aux grandes villes, le risque est majeur.

-La vulnérabilité exprime le niveau d'effet prévisible d'un phénomène naturel (aléa) sur des enjeux, tout en s'intéressant à la fragilité des enjeux menacés. Sans doute la vulnérabilité mesure-t-elle les conséquences dommageables de l'événement sur les enjeux concernés, on parle de vulnérabilité humaine, socioéconomique et environnementale. La connaissance des processus en action, de la nature et de l'importance des enjeux permet d'appréhender le risque et la vulnérabilité, celle-là diffère d'une région à une autre. Dans notre

zone d'étude, on tiendra pour enjeux, l'habitat, les routes et les surfaces agricoles.

Pour le CEMAGREF (Centre d'étude du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et forêts) la notion de risque comprend deux composantes : L'aléa (le danger) qui tend à regrouper la localisation du risque, en fait, il caractérise l'évolution dynamique de la terre ; la vulnérabilité qui prend en compte les constructions et les vies humaines, sa connaissance permet d'estimer le risque.

Encore faudrait-il bien se situer la catastrophe par rapport au risque, ce dernier est une probabilité, la catastrophe est la traduction de cette probabilité, c'est souvent celle-ci qui permet à la population et aux pouvoirs publics de prendre conscience du risque ce qui pose le problème des décalages entre risques et catastrophes. Ce décalage est temporel de par la durée de récurrence qui rend difficile la prise en compte d'un tel risque, le décalage est aussi spatial mais la catastrophe dépasse parfois les limites du zonage. La délimitation d'un risque sur une carte peut parfois être plus étroite que les zones touchées par une catastrophe. La perception du risque par les populations est fonction de leur situation. Pour de telles situations, la catastrophe dépasse largement les périmètres des risques, donc il est difficile d'admettre que nous ne disposons pas subtilement le moyen de prévoir les limites spatiales du risque.

2/Analyse de la vulnérabilité

L'analyse de la vulnérabilité permet d'élaborer une cartographie des risques étudiés, Pour quantifier une vulnérabilité, le plus simple est de raisonner en terme de coût pour déterminer son degré. C'est un calcul mathématique qui s'affranchit de toute considération morale (le coût d'une vie). D'autres méthodes consistent à raisonner en terme de vie humaine ou de biomasse, c'est-à-dire en terme de poids, l'ensemble des êtres vivants dans un volume donné. On peut aussi raisonner en fonction de la capacité de réaction face à un accident. Ainsi la capacité

de réaction d'un pays développé est nettement supérieure à celle d'un pays en voie de développement touché par un événement similaire.

La vulnérabilité à Barika introduit la présence de l'homme, par trois variables, l'habitat, les routes et les pratiques agricoles, de ce fait, il s'agit d'en calculer les densités en fonction des superficies des types de sol, alors il convient de procéder comme suit :

-Déterminer les superficies des sols.

-Calculer le nombre d'habitats, la longueur des routes, la surface des pratiques agricoles de chaque type de sol.

-Calculer les densités, puis les additionner afin d'obtenir la densité totale de chaque sol (Annexe).

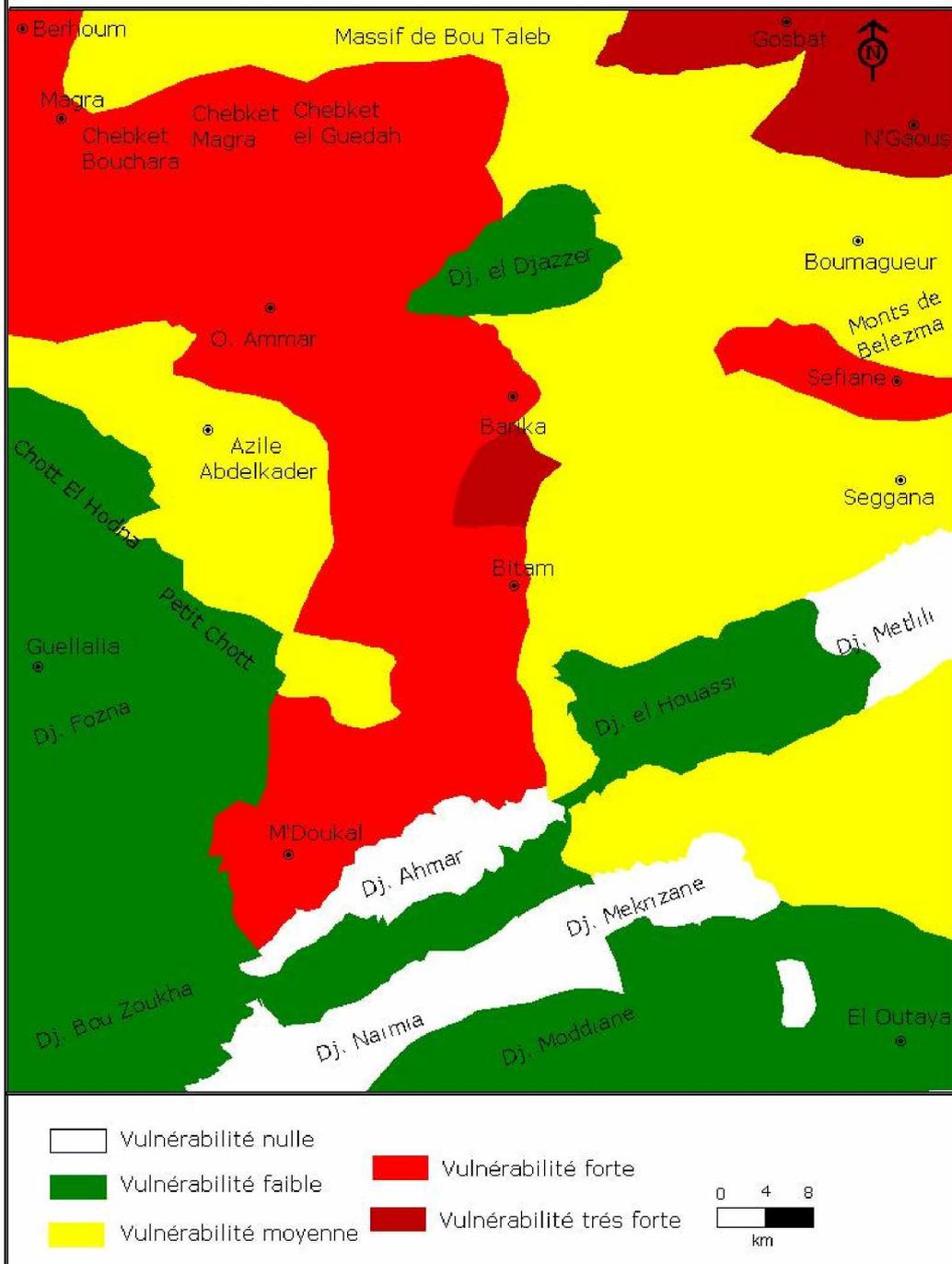
3/Cartographie de la vulnérabilité

Pour ce qui est de l'établissement de cette carte (carte 7), les valeurs des densités doivent être classées en donnant un code à chaque classe :

Tab.27-Les classes de la vulnérabilité

Classes	Densité totale	Code
Nulle	0	0
Faible	20,11 – 66,86	1
Moyenne	66,86 – 113,62	2
Forte	113,62 – 160,37	3
Très forte	160,37 – 207,13	4

Carte n°7 : Vulnérabilité de la région de Barika



Réalisée par Sahraoui Abdelbasset

4/Cartographie du risque d'ensablement (PER)

La carte d'aléa est une démarche raisonnée de perception vis-à-vis des risques naturels ; il est nécessaire de prendre en compte la probabilité de survenance de phénomènes dans le futur. Il s'agit d'une démarche prospective, qui vise à analyser les causes des phénomènes et les indices associés. On est ainsi souvent amené à classer toute la région en zone d'aléa où aucun phénomène n'est survenu jusqu'alors, du fait de l'apparente sensibilité de ces terrains. Les calculs de l'érosion éolienne potentielle peuvent aider à déterminer les effets qu'aurait un tel ensablement sans l'avoir observé : on peut alors affirmer que des terrains qui n'ont pas été ensablés dans un passé récent, et que la mémoire collective considère comme épargnés, sont ensablés.

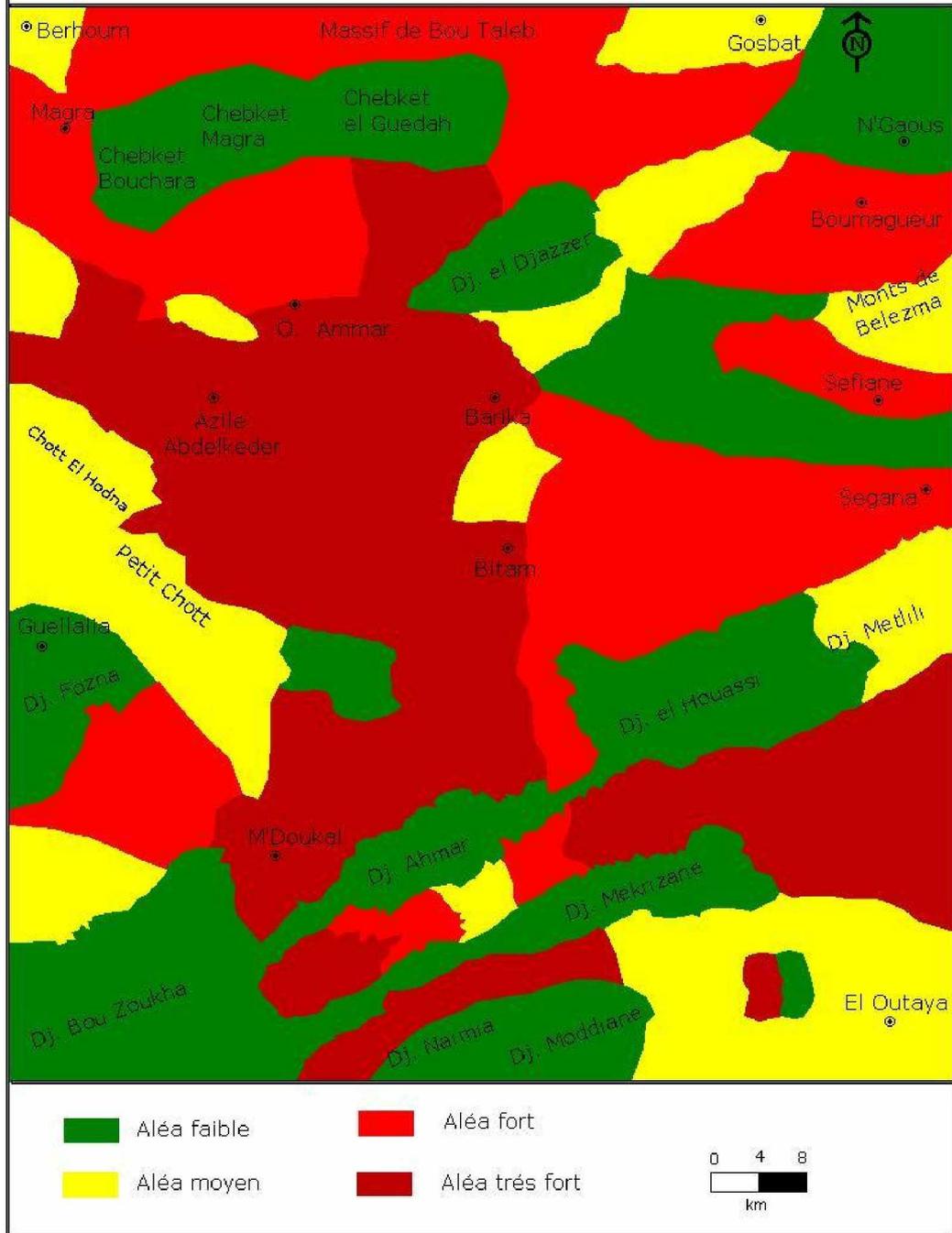
Concernant l'établissement de la carte d'aléa (carte 8), les valeurs de l'érosion éolienne ainsi obtenues sont subdivisées en quatre classes comme montre le tableau suivant :

Tab.28-Les classes d'aléa d'ensablement

Classes	<i>Ep</i> (T/ha/an)	Code
Faible	9780,55–24432,16	1
Moyenne	24432,16–39083,77	2
Forte	39083,77–53735,38	3
Très forte	53735,38–68386,99	4

Les cartes d'aléa et de vulnérabilité sont générées dans le cadre de SIG par croisement de données multiples, sachant que la probabilité d'aléa a une dimension spatiale qui peut être représentée par une carte de sensibilité au phénomène d'ensablement. Celle-ci intègre les données qui représentent plus ou moins directement les facteurs permanents et les facteurs déclenchants.

Carte n°8 : Aléa d'ensablement de la région de Barika



Réalisé par Sahraoui Abdelbasset

Pour le risque nous tenons compte de l'ensemble des personnes et des biens soumis à cet aléa. La carte de risque est le croisement entre la carte de sensibilité (aléa d'ensablement) et celle de vulnérabilité.

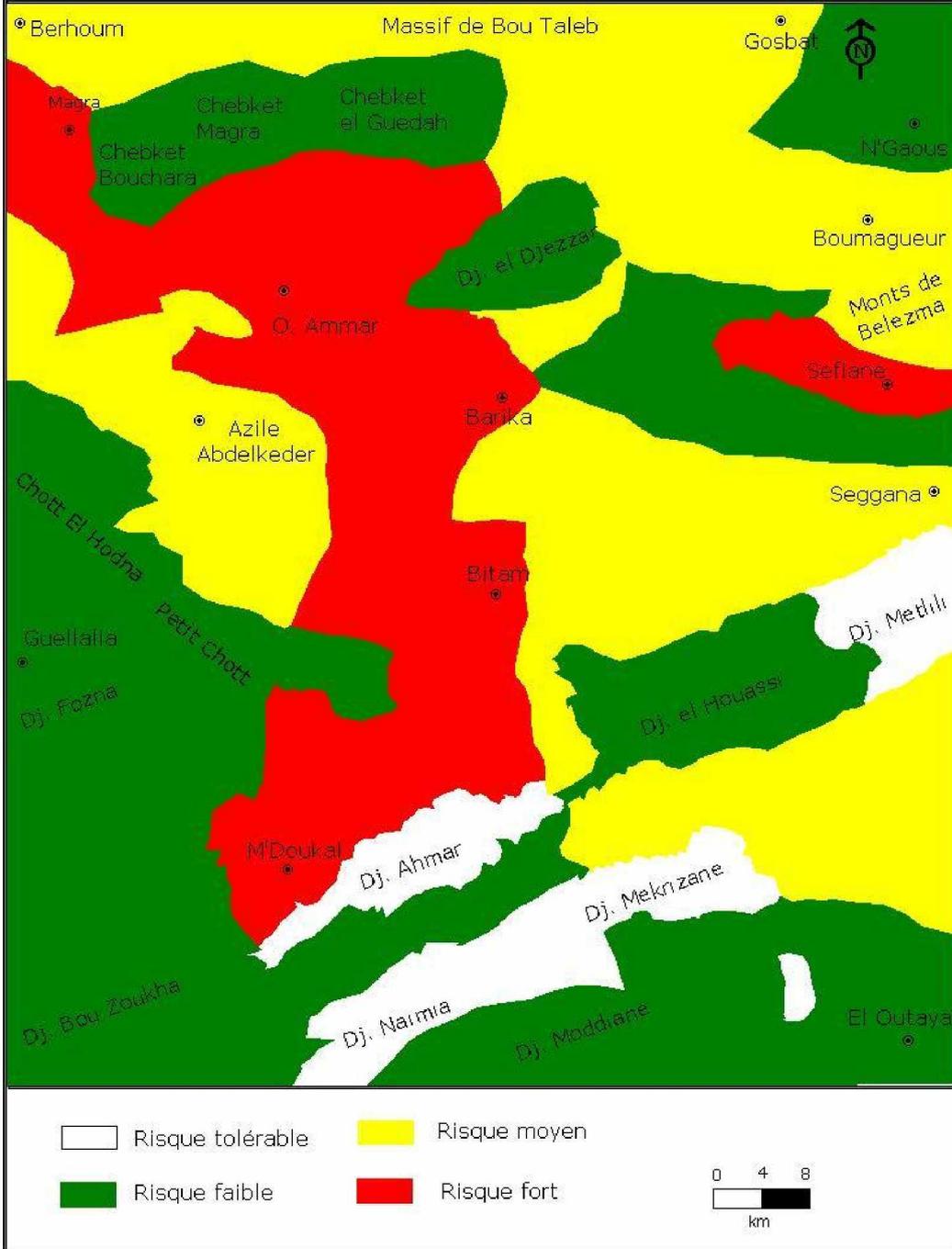
La carte d'exposition au risque d'ensablement (carte 9), de la région de Barika, est réalisée par la conjugaison des deux cartes précédées ($\text{carte9} = \text{carte7} \cap \text{carte8}$) ; si les classes sont semblables, on les garde dans la carte de risque, si elles sont différentes, on choisit le degré le plus réduit.

5/Interprétation des résultats

La carte de vulnérabilité concrétise la distribution spatiale des diverses activités de l'ensemble de la population, les zones à très forte vulnérabilité sont un peu moins nombreuses, telles la ville de Barika et la zone nord-est de N'Gaous, seulement les lieux d'une occupation très élevée. Les terrains d'une forte vulnérabilité occupent le secteur en arc de M'Doukal-Bariaka-Magra où se rencontre la concentration des densités d'habitats, du transport et des champs agricoles. L'absence ou la diminution de telle activité, évoquent la classe de vulnérabilité moyenne, s'étant établi à l'ensemble de l'est, sauf l'unité de Djebel El Djeddar, avec quelques portions au nord et à l'ouest, en deçà de ce niveau, les densités sont réduites, presque tout le sud est moins vulnérable, voire le sud-ouest, cette faiblesse s'explique par la présence du relief montagneux, certaines surfaces sont complètement dépourvues de toute sorte d'activité, surtout les hauts sommets, ceci dit, il n'y a pas de vulnérabilité ou elle est nulle.

A une vue d'ensemble, le zonage de la vulnérabilité est le résultat d'une subdivision territoriale que les collectivités avaient repérée selon leur nécessité, convenablement avec le contexte physique de la région : la plaine est toujours le lieu le plus favorable à savoir la modération des altitudes, le relief étendu facilite le déplacement des habitants, les terres sont autant fertiles qu'ailleurs, aussi l'accessibilité d'utiliser

Carte n°9 : Exposition de la région de Barika au risque d'ensablement



Réalisée par Sahraoui Abdelbasset

l'eau et non pas avec des moyens onéreux. En revanche, la vulnérabilité diminue dans les piedmonts où l'exploitation des terres se baisse, plus au sud, les montagnes ont été rarement propices en régions steppiques, la vulnérabilité devient faible ou nulle du fait de la difficulté des conditions topographiques et climatiques.

La carte d'aléa d'ensablement se renseigne sur l'évolution du phénomène naturel dans la zone d'étude par les différents degrés de classement des valeurs de l'érosion éolienne, le secteur très fortement affecté est celui du centre, où se localisent les sols peu évolués et les sols halomorphes près du chott, encore y a-t-il autres portions au sud-est dans les cols entre les monts. La deuxième classe d'aléa d'ensablement est forte, caractérisant les sols isohumiques dans le nord et à l'est, l'aléa moyen n'a pas de grandes surfaces, un petit nombre à l'ouest, le nord-est et le sud-est, dont il était alternance des sols calcimagnésiques et des sols hydromorphes. En dernier lieu, les sols des monts, moins érodibles, sont dans une classe de faible d'aléa, en fait les sols minéraux bruts s'affrontent en soi l'effet de l'érosion éolienne.

En général, l'aléa demeure si présent à l'interface de l'espace-support, la plaine est atteinte de plus de contraintes, les piémonts sont aussi en danger, il n'en reste que les monts qui, par leur réunion et par leur qualité édaphique, construisent un empêchement naturel contre l'extension et l'évolution de la dynamique éolienne.

S'agissant de la carte d'exposition au risque d'ensablement, la rencontre entre les enjeux et l'aléa dans la région de Barika se manifeste par quatre classes, la vulnérabilité très forte occupe un espace moindre c'est pourquoi le risque très fort est inexistant. Le risque fort couvre la zone qui s'étale de M'Doukal à Barika puis à Magra, y compris Bitam et O. Ammar, et à l'est une portion détachée près de Sefiane, la menace y est paroxystique. Le risque moyen se situe dans les zones placées entourant les précédentes sauf au sud où le risque est faible. Ajoutons, les hautes altitudes à l'est et au nord, le

risque très faible ou tolérable interrompe les endroits au sud et au sud-est, sur les sommets isolés de montagnes.

Les zones rouges sont les plus affectées, leur altitude est souvent inférieure à 500m, la plaine est donc fortement exposée au risque d'ensablement, les piémonts auxquels l'élévation oscille de 500 à 600m au sud et de plus à 700m au nord, sont des zones à risque moyen, les montagnes et les collines sont considérées comme des zones faiblement exposées au risque, peut-on dire que cette classe est épargnée, et d'ajouter, le risque nul n'existe pas, il peut être réduit sans jamais être annulé, couramment appelé tolérable, doit suppléer toute activité humaine, même anodine, susceptible de provoquer des conséquences indésirables.

6/Perspectives de lutte contre l'ensablement

Face aux problèmes de l'érosion éolienne et la progression des sables, on doit d'abord identifier : la localisation des étendues de sources de sable pour déterminer la direction d'ensablement ; les zones de transport sur lesquelles le matériel sableux se déplace sous la forme d'un manteau de saltation et les secteurs d'accumulation.

Ensuite, la fixation des dunes et la lutte contre l'ensablement recourent essentiellement aux techniques mécaniques visant à réduire le phénomène de saltation et pour cela deux moyens peuvent être envisagés : soit stabiliser le sol et les masses sableuses en mouvement ; soit réduire le gradient de vitesse du vent au voisinage de la surface du sol ce qui empêche la formation de dépôts de sable. Ces techniques, malgré leur variabilité apparente, se subdivisent en trois groupes:

- La technique de la palissade (la pratique la plus courante): édification d'un obstacle opposé au vent dominant pour en diminuer la vitesse et provoquer à son niveau l'accumulation du sable en mouvement, elle peut être soit " Palissade d'arrêt" quand celle-ci est perpendiculaire au vent, soit "palissade de défilement ou diversion" dans le cas où elle est placée en biais par rapport au vent. La hauteur

varie généralement de 0,3 à 1m, puisque 95% du sable déplacé par le vent l'est dans les 30 premiers centimètres au-dessus de la surface du sol. Elle se situe à 200 mètres de la zone à protéger. On utilise pour sa confection les palmes, les plaques en fibro-ciment et le grillage synthétique. Dans le cas où les directions des vents sont variables, l'installation d'un réseau de palissades disposées en échiquier portant le nom de quadrillage ou corroyage.

- La technique du mulch : consiste à recouvrir le sable d'une couche protectrice pour supprimer l'action du vent au niveau du sol et empêcher le phénomène de saltation. En avoir la grande variété des couvertures : La couverture végétale (paillage); Les pulvérisations d'eau ; Les films plastiques ; Les mèches acryliques ; Les huiles minérales (l'asphalte, les huiles lourdes, les huiles brutes...) ; Les produits chimiques (non phyto-toxiques). L'expérience Algérienne qui date déjà d'une dizaine d'années a porté d'excellents résultats.

- La technique aérodynamique : Le principe de base est d'utiliser la force du vent pour faciliter le transport du sable au niveau des sites à protéger et éviter son accumulation. A titre d'exemple : L'orientation des rues parallèlement à celle du vent dominant ; Le désensablement par l'emplacement des brises-vent ou clôtures de palmes ; Les pierres à turbulence sur les dunes ; Le profilage qui permet l'écoulement du courant éolien autour des routes et canaux ; Les "khetaras", renforçant la vitesse du vent et empêchant tout dépôt de sable.

La lutte biologique est un dispositif complémentaire pour renforcer l'effet de la lutte mécanique, sa réussite est liée à certaines règles d'ordre écologique, entre autres, le potentiel de croissance d'une végétation arborée sur les dunes.

Les espèces à installer doivent s'acquiescer quelques caractères comme la résistance à la sécheresse et l'adaptation à des vents violents et à leur action abrasive. Les espèces utilisables sont de préférence

arborescentes (tamarix et prosopis). Cette lutte se mène généralement par trois procédés distincts :

- Le reboisement par l'installation d'une couverture végétale vivante;
- Le semi : souvent pratiqué pour certaines espèces (Acacia, Calligonum, Atriplex, ...) ;
- La mise en défens préalable : c'est une protection intégrale du milieu dunaire, elle peut se faire sur un milieu relativement favorable avec l'objectif de reconstituer rationnellement le couvert végétal.

En plus des travaux de prévention et de protection, quelques mesures d'ordre passif doivent être ajoutées comme le gardiennage, l'entretien, la surveillance, la mise en repos des parcours, la prise de conscience et la sensibilisation de la population, la vulgarisation de la notion des risques et du sol. Finalement, l'aménagement de sa part, cherche constamment à trouver des solutions optimums assurant un coup d'arrêt aux dégradations sans compromettre pour autant le développement, à dessein de parvenir à un équilibre combinant progrès technique et protection de la nature.

Conclusion

Sous l'influence de l'érosion éolienne, la région de Barika est d'une grande fragilité, la situation en plaines est porteuse de l'instabilité, d'où la cohérence de cet ensemble affecté laisse l'exacerbation de l'ensablement se rencontrer bien évidemment avec les occupations humaines, et le danger prend le relais, par conséquent.

Le risque réside dans l'impact progressif d'aléa d'ensablement sur les enjeux socio-économiques, notamment les champs d'agriculture, que le déficit en rentabilité perturbe le mode agro-pastoral. Aussi bien la menace existe-t-elle à un degré inférieur auprès des piémonts, et il y va de leur développement futur.

Pourtant, les dégâts n'apparaîtront qu'à long terme, pourvu qu'il n'ait pas de changements climatiques exceptionnels, notamment la recrudescence (anormale) de la vitesse du vent. Malgré les prévisions, la prédiction de l'impact est une tâche délicate si ce n'est impossible, parfois d'autres séquelles pourraient arriver et les dommages en deviennent indéterminables.

En fin, la carte d'exposition au risque d'ensablement est le résultat de la synthèse d'une quantification de l'érosion éolienne potentielle et de sa démonstration sur les zones vulnérables, elle est aussi informative sur l'état éventuel de toute la région, elle doit en principe refléter la réalité du terrain et permet en outre l'élaboration d'un plan de prévention. Tout au plus, la cartographie du risque est un outil d'aide à la décision vis à vis des situations névralgiques.

Conclusion générale

L'érosion éolienne ne cesse de mettre le sol en état d'ensevelissement et d'appauvrissement, par le biais de la diminution de ses capacités de fertilité. L'accentuation et l'extension de son effet donnent apparition au phénomène d'ensablement, un risque qui fait impliquer toute la région dans une détérioration globale, non que les terrains soient ensablés ou steppisés, mais aussi le déclenchement d'une dégradation climatique et environnementale qui s'encadre, à un niveau plus haut, dans la menace réelle de désertification.

La description de la zone d'étude et la cartographie du risque montrent que la région de Barika est fortement touchée par le phénomène d'ensablement. Les caractéristiques climatiques, édaphiques et floristiques montrent une physionomie de steppe et semblent, à première vue, disposer la région à la désertification, au fait qu'on pourrait pronostiquer son devenir. Sans intervention aucune, la situation va effectivement s'aggravant et l'activité de l'homme sera entourée de diverses entraves.

Le phénomène d'ensablement qui constitue la manifestation ultime de la désertification menace en premier lieu les zones qui entourent le chott. Ce sont des terres cultivables où le risque de l'inadéquation entre la disponibilité des ressources naturelles et leur exploitation est grande.

Les facteurs responsables de cette situation s'imbriquent en un réseau de relations causales réciproques, qui entraînent et accélèrent les effets, Ceux-ci sont présentement le théâtre d'intenses processus d'érosion éolienne qui se manifestent par l'extension diffuse des zones dénudées, là où s'exerce la déflation, et des zones ensablées là où s'effectue le dépôt. De l'analyse géoécologique, il en découle que le phénomène d'ensablement commence par des manifestations de faibles intensités, survenant ordinairement pendant les périodes sèches de l'année; son intensité augmente avec l'accentuation de l'aridité du climat et arrive à se manifester en plein à l'apparition de l'étage aride.

Cette situation est due, outre le facteur anthropogène, à des conditions naturelles sévères telles une grande sensibilité des sols à l'érosion ; en ce sens que les sols sont caractérisés par une faible stabilité structurale, une faible teneur en matière organique, une importante fraction de sable fin d'où leur grande érodibilité et une grande fréquence des vents actifs ($v > 3$ m/s) c'est-à-dire ceux capables de provoquer la mise en mouvements des particules sableuses. Ceci trouve son explication dans la vélocité du phénomène éolien et l'acuité de l'ensablement, qui sévissent dans la région d'étude notamment en mois d'avril. En effet, les importants stocks de sable mobilisables dans la région de M'Doukal et Guellalia, constituent une menace sérieuse et permanente pour l'ensemble de l'infrastructure de développement. Cet état est d'autant plus dramatique pour les régions à vocation agricole et pastorale, ce qui provoque une accélération de la dégradation des milieux naturels suite à la réduction et/ou la destruction du potentiel biologique de la terre.

Toutefois, le milieu physique, le climat, les sols, la végétation, l'eau, l'homme et les animaux sont autant des paramètres difficiles à maîtriser, ceci à cause des effets néfastes ou positifs de l'action des uns sur les autres. De ce fait, l'aménagement est un acte de transformation d'un milieu pour en utiliser rationnellement ses potentialités, il s'agit donc d'une artificialisation volontairement organisée sur un espace donné pour en améliorer la productivité ou pour atténuer l'effet des "crises" d'ensablement qui peut l'affecter sous l'effet de l'érosion éolienne. L'aménagement en lui-même constitue un résultat, un acte final à propos duquel il est utile de rappeler les phases de conception d'un modèle qui l'ont précédé, afin de susciter une réflexion commune, dans cette optique, la stratégie à adopter doit nécessairement apporter une réponse appropriée à l'adéquation des besoins et des ressources dans une perspective durable tenant compte des exigences environnementales.

La lutte contre les effets néfastes d'ensablement nécessite en conséquence des actions et des solutions qui s'attaquent aux causes et

non seulement aux effets, tâche immense et complexe nécessitant des moyens techniques et financiers. La stratégie de lutte prend donc en compte tout le processus de l'érosion éolienne du site traité tant sur le plan curatif que préventif. Il s'agit, en matière de lutte préventive, de mener des actions qui freinent le processus de la dégradation de la végétation et du sol, comme l'amélioration des parcours, le reboisement, la création d'un parc national, pour optimiser l'élevage et se pencher sur l'augmentation des ressources pastorales. La lutte curative ou active, se concentre essentiellement sur le traitement des dunes menaçantes qu'on peut qualifier de symptomatiques, car la dune n'est que la manifestation de la dégradation de l'écosystème concerné, ce type de lutte consiste en des interventions ponctuelles à l'endroit même où se manifestent les dégâts et/ou les menaces, c'est une opération de protection par la fixation physique (ouvrages intensifs), et par la fixation biologique ou définitive qui vise à installer une couverture végétale pérenne et auto-défensible.

Du fait de la continuité du phénomène d'ensablement, il faut retenir que la lutte doit être conçue pour le long terme et ne peut être illustrée que par des exemples comparatifs qui démontrent l'urgence de l'intervention. La charge de la lutte incorpore toutes les organisations concernées pour l'exécution d'un programme multisectoriel qui nécessite encore des coordinations entre les structures et des concertations entre les opérations, avec une harmonie totale de la conception et de l'exécution afin d'affermir les résultats escomptés d'une gestion collective de la steppe incluant la mise en valeur agrosylvopastorale. En tout état de cause, la reconstitution du cheptel et l'amélioration de l'élevage figurent dans les priorités du développement rural, la mise au point des préparatifs d'un aménagement des pâturages et la protection des cultures développent aussi bien une action de fixation des populations dans leurs terroirs. En somme, la participation efficace des populations aux actions de lutte contre l'ensablement doit être recherchée par tous les moyens pour leur adhésion totale.

BIBLIOGRAPHIE

ANDRE DAGORNE, RENE DARS (2003) : Les risques naturels, La Cindynique, édition puf, 3^{ème} édition 2003, p : 13, 14.

BERGAMETTI G. (2000) : Les mille retombées de poussière. La recherche : 337, 56-60.

BOYADGIEV T.G. (1975) : Les sols du Hodna, Etude des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricoles dans la région du Hodna, Algérie", FAO, Rome. 1975.

BOYADGIEV T.G. (1972) : Cartes pédologiques du Hodna au 1/100.000", Projet PNUD-FAO, MARA, Algérie. 1972.

BRICE MARTIN (2003) : sur les risques naturels, risques majeurs, leur gestion est-elle possible ?. Document n° 38.

CHEHBANI B. (1990) : Etude de la dynamique éolienne et stratégie de lutte contre le vent et l'ensablement dans le centre sud tunisien. Projet T.C.P./TUN/8956. Direction générale des Forêts/FAO.

CILSS (1983) : Remarques générales des mémoires sur les questions d'aménagement intégré au Sahel. CPU, Dakar.

CLAUDE ALLEGRE (1990) : Histoires de Terre, Economiser la planète, édition Fayard, p 487.

COOKE R.V. et WARREN A. (1973): Geomorphology in Desert. Batsford, London, p 374.

DENIS LAMARRE (1997), Les risques liés au climat, édition Eud (éditions Universitaires de Dijon), p 159.

ELWELL H.A. (1978) : Modelling soil losses in southern Africa.-J.Agric. Engng.Res, p 23, 117-127.

F.A.O. (1988) : Manuel de fixation des dunes, Cahier FAO conservation n°18.1988.

F.A.O./DANIDA (1988) : Notes de cours en matière de lutte contre l'ensablement à l'usage des techniciens forestiers.1988.

F.A.O./PNUD (1989) : Stabilisation des dunes de sable et reboisement, Rapport 34.

F.A.O. Rapport de Mr.AGIAG MOHAMED RAMADANE, MAI 1992 Evaluation des techniques de lutte contre l'ensablement au niveau des pays membres du projet, PROJET RAB / 89 / 034.

GUETTOUCHE M.S. (2003): Du terrain à l'analyse numérique Essai d'une typologie systémique de l'espace géographique hodnéen (Algérie nord-orientale), Thèse du Doctorat d'Etat, FSTGAT, USTHB, 2003.

GUETTOUCHE M.S. & GUENDOUZ M. (2007) : Modélisation et évaluation de l'érosion éolienne potentielle des sols cultivables dans le Hodna (Nord-Est algérien), Rev. Sécheresse 200718 (4), pp : 1-8.

GUIRAUD R. (1973) : "Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines", Thèse de Doctorat ès Sciences, Univer. De Nice, (Publiée en 1990 dans les mémoires de l'ONIG, n° 3, Alger), 259 pages, Pls. H.T.

JEAN CHOROWICZ, JEAN-PAUL DEROIN, (2003) : La télédétection et la cartographie géomorphologique et géologique, éditions scientifiques GB 2003, p : 124.

KHATELLI H. (1990) : Rapport de fin de mission en Mauritanie. Projet de lutte contre l'ensablement et mise en valeur agro-pastorale. FAO.

LABEYRIE J. (1985) : L'Homme et le climat. Denoël, Paris, p 1281.

LE HOUEROU H.N. (1990) : Recherches biogéographiques sur les steppes du nord de l'Afrique. Thèse doct. d'Etat de géographie, Univers. Paul Valéry, Montpellier, 3 vol.

LILIANE BESSON (2005): Les risques naturels : De la connaissance pratique à la gestion administrative, éditions Techni.Cités 2005, p : 441, 447.

MICHEL CAMPY, JEAN-JACQUES MACAIRE (2003) : Géologie de la surface, érosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux, édition Dunod 2003, p 315, 316, 317, 329.

MORGAN R.P.C. (1996): Soil Erosion and Conservation, 2nd.-Longman, Harlow.

PHILIPPE DUCHAUFOUR (2001) : Introduction à la science du sol, édition dunod, 6^{ème} édition 2001, p : 209, 251.

ROKAYA DABA (1995) : L'érosion par les vents au nord et au centre nord du Sénégal, Etat de surface d'érosion, cartographie et évaluation des risques, 1995, p : 294, 300, 301, 303, 304.

SAFRA MONGI (1996) : Rapport du séminaire-atelier sur la lutte contre l'ensablement et la stabilisation des dunes, organisé conjointement par l'organisation islamique pour l'éducation, les sciences et la culture (ISESCO) et l'agence de la francophonie (ACCT), 1996 à Médenine, République Tunisienne.

SEBHI S. (1987) : Mutation dans le monde rural algérien. Le Hodna, OPU-Alger p 251.

SKIDMORE EL. (1986): Wind erosion climatic erosivity. Clim Change 1986 ; 8 : 195-208.

T. JALEL (1988) : Formulation d'une stratégie de lutte contre l'ensablement dans le Département de Kanem. N'Djaména.

WOODRUFF N. et SIDDOWAY F.H (1965): A wind erosion equation. SSSA proc 29 p 602-608.

Liste des cartes

Carte n°1 : Principaux systèmes morphologiques de la région de Barika	12
Carte n°2 : Réseau hydrographique de la région de Barika	16
Carte n°3 : Principales formations géologiques de la région de Barika	19
Carte n°4 : Principales formations pédologiques de la région de Barika.....	34
Carte n°5 : Courbes de niveaux et végétations de la région de Barika	40
Carte n°6 : Cadre bâti et infrastructures de base de la région de Barika	44
Carte n°7 : Vulnérabilité de la région de Barika	92
Carte n°8 : Aléa d'ensablement de la région de Barika.....	94
Carte n°9 : Exposition de la région de Barika au risque d'ensablement	96

Liste des figures

Fig n°1 : Localisation de la zone de Barika	5
Fig n°2 : Présentation de la région de Barika.....	8
Fig n°3 : Coupe interprétative à travers la structure du bassin de la région de Barika	14
Fig n°4 : Températures annuelles moyennes	30
Fig n°5 : Précipitations annuelles moyennes	30
Fig n°6 : Diagrammes ombrothermiques de la région de Barika, stations de Barika et de Boutaleb.....	33
Fig n°7 : Mode d'entraînement des particules.....	60
Fig n°8 : Voile sableux	63
Fig n°9 : Nebka-Nebka buissonnante	64
Fig n°10 : Barkhane.....	64
Fig n°11 : Edifices barkhaniques et barkhane 1	65
Fig n°12 : Edifice barkhaniques et barkhane	66
Fig n°13 : Dunes linéaires "Sif"	67
Fig n°14 : Dunes pyramidales "Ghourd ou Star dune".....	67
Fig n°15 : Aklé.....	68
Fig n°16 : Dune parabolique.....	68
Fig n°17 : Dunes longitudinales "Sandridge"	63

Liste des tableaux

Tab n°1 : Fréquences des vents suivant la direction	26
Tab n°2 : Variabilité mensuelle de la vitesse du vent en m/s (à 0,5 mètre au dessus du sol)	27
Tab n°3 : Répartition mensuelle des températures de la région de Barika	28
Tab n°4 : Variabilité des amplitudes thermiques mensuelles et annuelles.....	28
Tab n°5 : Moyennes mensuelles des pluies dans la région de Barika	31
Tab n°6 : L'humidité relative (%) de la région de Barika	31
Tab n°7 : Répartition du Parc logement selon les communes de la région de Barika	42
Tab n°8 : Réseau routier dans la région de Barika.....	43
Tab n°9 : Densité routière dans la région de Barika.....	45
Tab n°10 : Population et sa densité dans la région de Barika	45
Tab n°11 : Répartition de la population par secteur d'activité en 1995	46
Tab n°12 : Situation des terres du Hodna Est en 1893.....	47
Tab n°13 : Répartition générale des terres selon les zones	48
Tab n°14 : Répartition du cheptel dans la région de Barika.....	49
Tab n°15 : Les valeurs de l'éolibilité suivant le facteur <i>A</i>	75
Tab n°16 : Les précipitations mensuelles de la région de Barika	78
Tab n°17 : Les températures mensuelles de la région de Barika	78
Tab n°18 : Les vitesses du vent mensuelles de la région de Barika (<i>V</i> en m/s à 10m de hauteur)	78
Tab n°19 : Les valeurs de l'éolisivité selon la formule [6]	79
Tab n°20 : Les vitesses du vent mensuelles de la région de Barika (<i>V</i> en m/s à 10m de hauteur)	80
Tab n°21 : Les valeurs du facteur <i>K</i>	80
Tab n°22 : Les valeurs de L' <i>ETP</i> de la région de Barika	82
Tab n°23 : Les valeurs de l'éolisivité selon la formule [8]	82
Tab n°24 : Erodibilité des sols selon l'équation [10]	82
Tab n°25 : Les valeurs de l'éolibilité selon l'abaque de corrélation [9]	83
Tab n°26 : Les valeurs de l'érosion éolienne potentielle dans la région de Barika .	83
Tab n°27 : Les classes de la vulnérabilité	91
Tab n°28 : Les classes d'aléa d'ensablement.....	93

Annexes

Calcul du facteur C

Selon la formule de la FAO :
$$C = \frac{100 \cdot (V)^3}{9,2 \cdot (Pe)^2}$$

1994:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$T^{\circ}C$	25	18.3	13.3	7.9	8.6	9.7	15.1	14.8	25.3	28.4	31.7	32.5
$P(mm)$	70.4	67.4	2.3	1.8	38.3	14.1	18.1	0	0.2	2.6	0.4	1.2
$\left[\frac{P}{1,8T_i+22} \right]^{10/9}$	1.06	1.25	0.04	0.04	1.02	0.32	0.33	0	0.001	0.02	0.002	0.01

$V=4,7 \rightarrow (V)^3=103,82$

$Pe=3,16 \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{(1,8T_i+22)} \right]^{10/9} = 3,16 \cdot 4,09 = 12,92$

$C = \frac{100 \cdot (V)^3}{9,2 \cdot (Pe)^2} = \frac{100 \cdot 103,82}{9,2 \cdot 166,93} = \frac{10382}{1535,76} = 6,76$

1995:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$T^{\circ}C$	23.4	19.4	12.9	10.3	7.1	11.5	12	15.4	22.8	26.9	31.2	29.4
$P(mm)$	34	3	7	15	7	4	24	9	1	8	0	3
$\left[\frac{P}{1,8T_i+22} \right]^{10/9}$	0.49	0.04	0.12	0.33	0.17	0.07	0.51	0.15	0.01	0.09	0	0.03

$V=4,3 \rightarrow (V)^3=79,50$

$Pe=3,16 \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{(1,8T_i+22)} \right]^{10/9} = 3,16 \cdot 2,01 = 6,35$

$C = \frac{100 \cdot (V)^3}{9,2 \cdot (Pe)^2} = \frac{100 \cdot 79,50}{9,2 \cdot 40,32} = \frac{7950}{370,94} = 2,14$

1996:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$T^{\circ}C$	22.9	17.1	13.4	10.4	9.9	8.3	12	15.3	21	24.6	29.7	30.1
$P(mm)$	10	5	1	5	79	39	48	12	32	11	6	5
$\left[\frac{P}{1,8T_i+22} \right]^{10/9}$	0.13	0.07	0.01	0.10	2.14	1.06	1.11	0.21	0.5	0.14	0.06	0.05

$V=4,6 \rightarrow (V)^3=97,33$

$Pe=3,16 \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{(1,8T_i+22)} \right]^{10/9} = 3,16 \cdot 5,58 = 17,63$

$C = \frac{100 \cdot (V)^3}{9,2 \cdot (Pe)^2} = \frac{100 \cdot 97,33}{9,2 \cdot 310,82} = \frac{9733}{2859,54} = 3,40$

1997:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$T^{\circ}C$	24.2	18.8	12.7	8.8	9.6	11.9	13.5	16.1	23.2	29	31	29.5
$P(mm)$	40	10	43	20	13	5	3	42	1	10	0	10
$\left[\frac{P}{1,8T_i+22} \right]^{10/9}$	0.58	0.15	0.95	0.58	0.33	0.09	0.05	0.81	0.01	0.11	0	0.11

$V=4,2 \rightarrow (V)^3=74,08$

$Pe=3,16 \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{(1,8T_i+22)} \right]^{10/9} = 3,16 \cdot 3,77 = 11,91$

$$C = \frac{100(V)^3}{9,2(Pe)^2} = \frac{100 \cdot 74,08}{9,2 \cdot 141,84} = \frac{7408}{1305,76} = 5,68$$

1998:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$T^{\circ}C$	26.2	16.9	12.6	7.4	7.9	10.1	12.6	17.2	20.5	28.1	31.4	30.4
$P(mm)$	37	3	5	3	12	12	1	33	28	2	1	3
$\left[\frac{P_i}{1,8T_i+22}\right]^{10/9}$	0.5	0.04	0.09	0.06	0.29	0.26	0.01	0.59	0.47	0.03	0.01	0.03

$$V = 3,5 \rightarrow (V)^3 = 42,87$$

$$Pe = 3,16 \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{1,8T_i+22}\right]^{10/9} = 3,16 \cdot 2,38 = 7,52$$

$$C = \frac{100(V)^3}{9,2(Pe)^2} = \frac{100 \cdot 42,87}{9,2 \cdot 56,55} = \frac{4287}{520,26} = 8,24$$

1999:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$T^{\circ}C$	26.4	20.9	11.9	8.3	8.5	8.2	13.1	18.1	25.7	30.1	30.8	33.1
$P(mm)$	17	31	28	42	55	2	2	14	2	9	1	12
$\left[\frac{P_i}{1,8T_i+22}\right]^{10/9}$	0.21	0.48	0.61	1.15	3.61	0.04	0.03	0.22	0.02	0.12	0.01	0.12

$$V = 4,4 \rightarrow (V)^3 = 85,18$$

$$Pe = 3,16 \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{1,8T_i+22}\right]^{10/9} = 3,16 \cdot 6,62 = 20,92$$

$$C = \frac{100(V)^3}{9,2(Pe)^2} = \frac{100 \cdot 85,18}{9,2 \cdot 437,61} = \frac{8518}{4026,07} = 2,11$$

2000:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$T^{\circ}C$	25.7	18.3	13.2	9.5	5.5	10.4	14.5	18.6	25	27.5	31.4	30.4
$P(mm)$	22	1	10	28	0	0	6	2	47	2	0	34
$\left[\frac{P_i}{1,8T_i+22}\right]^{10/9}$	0.28	0.01	0.18	0.69	0	0	0.10	0.02	0.67	0.02	0	0.40

$$V = 4,2 \rightarrow (V)^3 = 74,08$$

$$Pe = 3,16 \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{1,8T_i+22}\right]^{10/9} = 3,16 \cdot 2,37 = 7,49$$

$$C = \frac{100(V)^3}{9,2(Pe)^2} = \frac{100 \cdot 74,08}{9,2 \cdot 56,10} = \frac{7408}{516,12} = 14,35$$

2001:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$T^{\circ}C$	26.2	23.4	16.5	7.6	8.8	9.7	17	16.7	22.4	29	32.1	31.4
$P(mm)$	23	5	26	21	18	5	1	1	8	0	0	0
$\left[\frac{P_i}{1,8T_i+22}\right]^{10/9}$	0.2	0.06	0.46	0.55	0.44	0.10	0.01	0.01	0.10	0	0	0

$$V = 4,5 \rightarrow (V)^3 = 91,12$$

$$Pe = 3,16 \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{1,8T_i+22}\right]^{10/9} = 3,16 \cdot 1,93 = 6,10$$

$$C = \frac{100(V)^3}{9,2(Pe)^2} = \frac{100 \cdot 91,12}{9,2 \cdot 37,21} = \frac{9112}{342,33} = 26,20$$

2002:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$T^{\circ}C$	21	19.5	13.4	10.1	7	10.3	15.1	18	23	29	31.3	29.4
$P(mm)$	6	25	28	10	3	2	8	12	3	1	1	9
$\left[\frac{P_i}{1,8T_i+22} \right]^{10/9}$	0.08	0.40	0.57	0.21	0.07	0.03	0.13	0.19	0.03	0.01	0.01	0.09

$$V = 5,2 \rightarrow (V)^3 = 140,61$$

$$Pe = 3,16 \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{1,8T_i+22} \right]^{10/9} = 3,16 \cdot 1,82 = 5,75$$

$$C = \frac{100(V)^3}{9,2(Pe)^2} = \frac{100 \cdot 140,61}{9,2 \cdot 33,06} = \frac{14061}{304,15} = 46,23$$

2003:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$T^{\circ}C$	25.4	21.1	13.1	7.8	8.1	8.1	13	17	22.8	29.3	33	31.3
$P(mm)$	28	82	17	37	92	20	7	40	14	2	13	12
$\left[\frac{P_i}{1,8T_i+22} \right]^{10/9}$	0.37	1.41	0.33	1.03	2.79	0.51	0.12	0.74	0.19	0.02	0.13	0.12

$$V = 4,4 \rightarrow (V)^3 = 85,18$$

$$Pe = 3,16 \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{P_i}{1,8T_i+22} \right]^{10/9} = 3,16 \cdot 8,27 = 26,13$$

$$C = \frac{100(V)^3}{9,2(Pe)^2} = \frac{100 \cdot 85,18}{9,2 \cdot 682,78} = \frac{8518}{6281,58} = 26,13$$

Selon la formule de Chepil (FAO 1979 ; Skidmore 1986) : $C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETP_i - P_i}{ETP_i} \right) \right] \cdot d$

1994:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$(V)^3$	93.02	18.05	13.56	14.97	13.56	257.17	13.56	98	98	172.29	37.21	52.14
$T^{\circ}C$	25	18.3	13.3	7.9	8.6	9.7	15.1	14.8	25.3	28.4	31.7	32.5
$P(mm)$	70.4	67.4	2.3	1.8	38.3	14.1	18.1	0	0.2	2.6	0.4	1.2
i	11.43	7.13	4.4	2	2.27	2.73	5.33	5.17	11.64	13.87	16.38	17
ETP_{nc}	110.09	57.35	29.44	9.91	11.84	15.22	38.38	36.8	112.86	143.7	180.82	190.49
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
d	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
ETP	113.4	55.63	25.31	8.42	10.3	12.93	39.53	40.11	136.56	173.88	222.41	220.97
$\left(\frac{ETP - P}{ETP} \right)$	0.38	-0.21	0.91	0.79	-2.72	-0.09	0.54	1	0.99	0.98	0.99	0.99
$\left(\frac{ETP - P}{ETP} \right) d$	11.4	-6.57	27.27	24.37	-84.27	-2.52	16.81	30	30.95	29.55	30.94	30.83
$\left(\frac{ETP - P}{ETP} \right) d \cdot (V)^3$	1060.43	-118.39	369.83	364.86	-1142.73	-647.68	227.9	2940	3033.55	5091.32	1151.43	1607.40

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \rightarrow I = \sum_1^{12} i = 99,35$$

$$a = 0,016 \cdot I + 0,5 = 2,09$$

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10 \cdot T}{I} \right)^a \rightarrow ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10 \cdot T}{99,35} \right)^{2,09}$$

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETP - P}{ETP} \right) \right] \cdot d = \frac{1}{100} \cdot 13937,92 = 139,38$$

1995:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$(V)^3$	34.62	5.35	21.53	14.97	19.74	48.89	59.09	39.93	70.63	79.09	93.02	59.09
$T^{\circ}C$	23.4	19.4	12.9	10.3	7.1	11.5	12	15.4	22.8	26.9	31.2	29.4
$P(mm)$	34	3	7	15	7	4	24	9	1	8	0	3
i	10.34	7.79	4.2	2.99	1.7	3.53	3.76	5.49	9.95	12.78	15.99	14.62
ETP_{nc}	101	69.41	30.69	19.57	9.3	24.39	26.57	43.74	95.87	133.46	179.54	159.42
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
d	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
ETP	104.03	67.33	26.4	16.63	8.09	20.73	27.37	47.68	116	110.3	214.68	184.93
$\left(\frac{ETP - P}{ETP} \right)$	0.67	0.95	0.73	0.10	0.13	0.81	0.12	0.81	0.99	0.93	1	0.98
$\left(\frac{ETP - P}{ETP} \right) d$	20.19	29.62	22.04	3.04	4.18	22.59	3.82	24.37	30.73	27.82	31	30.50
$\left(\frac{ETP - P}{ETP} \right) d \cdot (V)^3$	699.15	158.46	474.64	45.61	82.52	1104.88	225.54	971.79	2170.65	2200.6	2883.62	1802.07

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \rightarrow I = \sum_1^{12} i = 93,14$$

$$a = 0,016 \cdot I + 0,5 = 2$$

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10 \cdot T}{I} \right)^a \rightarrow ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10 \cdot T}{93,14} \right)^2$$

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETP - P}{ETP} \right) \right] \cdot d = \frac{1}{100} \cdot 12819,53 = 128,20$$

1996:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$(V)^3$	70.63	48.9	23.44	42.76	25.44	55.55	27.26	42.76	59.09	70.63	79.16	74.78
$T^{\circ}C$	22.9	17.1	13.4	10.4	9.9	8.3	12	15.3	21	24.6	29.7	30.1
$P(mm)$	10	5	1	5	79	39	48	12	32	11	6	5
i	10.01	6.43	4.45	3.03	2.81	2.15	3.76	5.44	8.78	11.16	14.24	15.15
ETP_{nc}	99.41	56.91	35.72	22.01	20.04	14.31	28.93	46.02	84.25	113.98	163.35	167.58
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
d	30	31	30	31	31	29	31	30	31	30	31	31
ETR	102.39	55.20	30.72	18.71	17.43	12.16	29.80	50.16	109.94	137.92	200.92	194.39
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)$	0.09	0.91	0.97	0.73	-3.53	-2.21	-0.61	0.76	0.71	0.92	0.97	0.97
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)d$	27.07	28.19	29.02	22.72	-109.5	-64.01	-18.93	22.82	21.98	27.61	30.07	30.20
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)d.(V)^3$	1911.95	1378.6	680.31	971.32	-2785.8	-3555.75	-521.79	975.91	1298.62	1949.9	2380.68	2258.55

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \rightarrow I = \sum_1^{12} i = 88,01$$

$$a = 0,016.I + 0,5 = 1,91$$

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{I}\right)^a \rightarrow ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{88,01}\right)^{1,91}$$

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)\right] . d = \frac{1}{100} . 6942,58 = 96,42$$

1997:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$(V)^3$	32.15	23.44	21.53	18.05	27.56	29.8	59.09	27.56	48.91	52.14	79.09	42.79
$T^{\circ}C$	24.2	18.8	12.7	8.8	9.6	11.9	13.5	16.1	23.2	29	31	29.5
$P(mm)$	40	10	43	20	13	5	3	42	1	10	0	10
i	10.34	7.79	4.2	2.99	1.7	3.53	3.76	5.49	9.95	12.78	15.99	14.62
ETP_{nc}	104.59	62.49	28.07	13.28	15.86	24.58	31.80	45.54	95.96	151.29	173.34	156.67
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
d	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
ETR	107.73	60.61	24.14	11.29	13.8	20.9	32.75	49.64	116.11	183.06	213.2	181.72
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)$	0.63	0.83	-0.78	-0.77	0.06	0.54	0.91	0.15	0.99	0.94	1	0.94
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)d$	18.86	25.88	-23.44	-23.91	1.8	15.09	28.16	4.62	30.73	28.36	31	29.29
$\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)d.(V)^3$	606.38	606.75	-504.63	-431.68	49.53	449.73	1663.99	127.25	1503.15	1478.75	245.79	1253.42

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \rightarrow I = \sum_1^{12} i = 96,41$$

$$a = 0,016.I + 0,5 = 2,04$$

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{I}\right)^a \rightarrow ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{96,41}\right)^{2,04}$$

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETR-P}{ETR}\right)\right] . d = \frac{1}{100} . 9254,50 = 92,54$$

1998:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$(V)^3$	23.43	9.89	6.11	13.56	12.25	4.02	34.62	34.62	29.79	55.55	39.93	34.62
$T^{\circ}C$	26.3	16.9	12.6	7.4	7.9	10.1	12.6	17.2	20.5	28.1	31.4	30.4
$P(mm)$	37	3	5	3	12	12	1	33	28	2	1	3
i	12.35	6.32	4.05	1.81	1	2.9	4.05	6.49	8.47	13.65	16.14	15.37
ETP_{nc}	126.4	52.65	29.44	12.26	11.68	19	29.44	54.52	77.18	144.10	179.53	168.39
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
d	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
ETR	130.19	51.08	25.32	8.72	10.16	16.15	30.32	59.43	93.39	174.36	220.83	195.33
$\left(\frac{ETP-R}{ETR}\right)$	0.71	0.94	0.80	0.65	-0.18	0.27	0.97	0.44	0.70	0.99	0.99	0.98
$\left(\frac{ETP-R}{ETR}\right)d$	21.3	29.18	24.07	20.33	-5.61	7.19	29.98	13.34	21.70	29.65	30.86	30.52
$\left(\frac{ETP-R}{ETR}\right)d.(V)^3$	499.06	288.58	147.10	275.74	-68.77	28.92	1037.82	461.81	646.61	1647.38	1232.22	1056.74

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \rightarrow I = \sum_1^{12} i = 92,60$$

$$a = 0,016.I + 0,5 = 1,98$$

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{I}\right)^a \rightarrow ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{92,60}\right)^{1,98}$$

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETP-R}{ETR}\right)\right] . d = \frac{1}{100} . 7253,20 = 72,53$$

1999:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$(V)^3$	48.89	14.96	14.96	19.74	11.02	32.15	62.79	98	108.49	55.55	62.79	48.89
$T^{\circ}C$	26.4	20.9	11.9	8.3	8.5	8.2	13.1	18.1	25.7	30.1	30.8	33.1
$P(mm)$	17	31	28	42	55	2	2	14	2	9	1	12
i	12.41	8.72	3.72	2.15	2.23	2.11	4.30	7.01	11.92	15.15	16.68	17.49
ETP_{nc}	120.89	73.31	21.97	10.16	10.69	9.9	26.98	53.89	114.11	160.03	168.10	196.12
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
d	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
ETR	124.49	71.12	18.89	8.64	9.30	8.41	27.79	58.74	138.08	193.64	206.77	227.49
$\left(\frac{ETP-R}{ETR}\right)$	0.86	0.55	-0.48	-3.86	-4.91	0.76	0.93	0.76	0.98	0.95	0.99	0.95
$\left(\frac{ETP-R}{ETR}\right)d$	25.90	16.96	-14.47	-119.71	-152.33	21.36	28.77	22.85	30.55	28.61	30.85	29.36
$\left(\frac{ETP-R}{ETR}\right)d.(V)^3$	1266.47	253.77	-216.42	-2363.03	-1678.65	686.68	1806.37	2239.34	3314.44	1589.07	1937.07	1435.68

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \rightarrow I = \sum_1^{12} i = 102,62$$

$$a = 0,016.I + 0,5 = 2,14$$

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{I}\right)^a \rightarrow ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{102,62}\right)^{2,14}$$

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETP-R}{ETR}\right)\right] . d = \frac{1}{100} . 10270,79 = 102,70$$

2000:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$(V)^3$	42.87	29.79	19.68	23.43	4.65	32.15	45.77	83.57	59.09	59.09	66.63	37.21
$T^{\circ}C$	25.7	18.3	13.2	9.5	5.5	10.4	14.5	18.6	25	27.5	31.4	30.4
$P(mm)$	22	1	10	28	0	0	6	2	47	2	0	34
i	11.92	7.13	4.35	2.64	1.15	3.03	5.01	7.31	11.43	13.21	16.15	15.37
ETP_{nc}	117.11	57.79	29.29	14.78	4.74	17.84	35.61	59.78	110.57	148.82	177.64	166.08
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
d	30	31	30	31	31	29	31	30	31	30	31	31
ETR	120.62	56.05	25.19	12.56	4.12	15.16	36.68	65.15	133.79	163.13	218.5	192.65
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)$	0.82	0.98	0.60	-1.23	1	1	0.84	0.97	0.65	0.99	1	0.82
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)d$	24.52	30.45	18.09	-38.10	31	29	25.93	29.08	20.11	29.63	31	25.53
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)d.(V)^3$	1051.58	907.09	356.03	-892.82	144.15	932.35	1186.75	2430.14	1188.36	1750.98	2065.53	949.95

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{.514} \rightarrow I = \sum_1^{12} i = 98,70$$

$$a = 0,016.I + 0,5 = 2,08$$

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{I}\right)^a \rightarrow ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{98,70}\right)^{2,08}$$

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)\right] . d = \frac{1}{100} . 12070,08 = 120,70$$

2001:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$(V)^3$	19.74	21.53	29.79	9.89	18.05	48.89	70.63	93.02	62.79	125.6	62.79	48.89
$T^{\circ}C$	26.2	23.4	16.5	7.6	8.8	9.7	17	16.7	22.4	29	32.1	31.4
$P(mm)$	23	5	26	21	18	5	1	1	8	0	0	0
i	12.28	10.34	6.09	1.88	2.35	2.73	6.38	6.21	9.68	14.31	16.69	16.15
ETP_{nc}	117.22	91.62	42.78	7.89	10.87	13.44	45.65	43.92	83.30	146.27	182.51	173.95
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
d	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
ETR	120.74	88.87	36.79	6.71	9.45	11.42	47.02	47.87	100.79	176.98	224.49	201.78
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)$	0.81	0.94	0.29	-2.13	-0.90	0.56	0.98	0.98	0.92	1	1	1
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)d$	24.28	29.26	8.70	-66.02	-28.03	15.74	30.34	29.37	28.54	30	31	31
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)d.(V)^3$	479.39	629.91	259.17	-652.94	-506.03	769.66	2143.21	2732.31	1792.10	3768	1946.49	1515.59

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{.514} \rightarrow I = \sum_1^{12} i = 105,09$$

$$a = 0,016.I + 0,5 = 2,18$$

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{I}\right)^a \rightarrow ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{105,09}\right)^{2,18}$$

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)\right] . d = \frac{1}{100} . 13937,92 = 148,77$$

2002:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$(V)^3$	45.77	39.93	88.21	42.79	8.83	59.09	88.21	119.71	144.41	93.02	179.78	74.78
$T^{\circ}C$	21	19.5	13.4	10.1	7	10.3	15.1	18	23	29	31.3	29.4
$P(mm)$	6	25	28	10	3	2	8	12	3	1	1	9
i	8.73	7.85	4.45	2.90	1.66	2.99	5.33	6.95	10.08	14.32	16.07	14.62
ETP_{nc}	78.46	67.50	32.97	17.75	8.44	18.48	40.17	57.38	94.38	151.09	174.13	155.35
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
d	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
ETP	80.82	65.48	28.35	15.09	7.34	15.70	41.37	62.54	114.20	182.82	214.18	180.21
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)$	0.92	0.62	0.01	0.34	0.59	0.87	0.81	0.81	0.97	0.99	0.99	0.95
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)d$	27.77	19.16	0.37	10.46	18.32	24.44	25.01	24.25	30.18	29.83	30.85	29.45
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)d.(V)^3$	1271.14	765.24	33.02	447.65	161.81	1444.31	2205.99	2902.54	4359.06	2775.32	5547.16	2208.40

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{.514} \rightarrow I = \sum_1^{12} i = 95,95$$

$$a = 0,016.I + 0,5 = 2,03$$

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{I}\right)^a \rightarrow ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{95,95}\right)^{2,03}$$

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)\right] . d = \frac{1}{100} . 24115,65 = 241,15$$

2003:

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
$(V)^3$	62.79	48.89	25.44	39.93	5.35	32.15	32.15	108.49	45.77	62.79	48.89	32.15
$T^{\circ}C$	25.4	21.1	13.1	7.8	8.1	8.1	13	17	22.8	29.3	33	31.3
$P(mm)$	28	82	17	37	92	20	7	40	14	2	13	12
i	11.71	8.84	4.30	1.96	2.07	20.7	4.25	6.38	9.95	14.54	17.41	16.07
ETP_{nc}	113.32	76.91	28.40	9.61	10.40	10.40	27.95	48.96	90.42	152.74	195.84	175.35
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
d	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
ETP	116.72	74.60	24.42	8.17	9.05	8.84	28.79	53.37	109.42	184.82	240.89	203.40
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)$	0.76	-0.10	0.30	-3.53	-9.17	-1.26	0.75	0.25	0.87	0.99	0.95	0.94
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)d$	22.80	-3.1	9.12	-109.40	-284.15	-35.34	23.46	7.51	27.03	29.67	29.33	29.17
$\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)d.(V)^3$	1431.85	-151.56	232	-4368.33	1520.21	1136.45	754.30	815.21	1237.32	1863.32	1433.80	937.85

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{.514} \rightarrow I = \sum_1^{12} i = 99,55$$

$$a = 0,016.I + 0,5 = 2,09$$

$$ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{I}\right)^a \rightarrow ETP_{nc} = 16 \left(\frac{10.T}{99,55}\right)^{2,09}$$

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} (V)^3 \left[\left(\frac{ETP-R}{ETP}\right)\right] . d = \frac{1}{100} . 1529,10 = 15,29$$

Calcul du facteur I

Les sous classes des sols	S% sable grossier
E	33
LR	100
A	100
AN	1.60
EP	18
AS	4.10
AV	3
AL	4.5
BN	6.5
BM	5
CE	10
G	8.2
CK	19
S1	2.5
S2	0.85
S3	6.3
HG	13

Source : ANRH Alger

Les sols minéraux Bruts:

Sous classes	S %	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN	Répartition	Coefficient
E	33	5.88	173	abondante	3
LR	100	00	00	Moyenne	2
A	100	00	00	Faible	1

$$I (\text{minéraux brut}) = \frac{3.I(E) + 2.I(LR) + 1.I(A)}{6}$$

Classe	S%	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN
Minéraux bruts	63.84	0.38	86.50

Les sols peu évolués:

Sous classes	S %	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN	Répartition	Coefficient
AM	1.6	94.50	650.86	abondante	3
EP	18	22.16	259.80	Moyenne	2
AS	4.1	75.76	510.53	Faible	1
AV	3	83.50	544	Faible	1
AL	4.5	73.13	498.35	Moyenne	2

$$I (\text{peu évolués}) = \frac{3.I(AM) + 2.I(EP) + 1.I(AS) + 1.I(AV) + 2.I(AL)}{9}$$

Classe	S%	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN
Peu évolués	4.93	70.37	502.60

Les sols isohumiques :

Sous classes	S %	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN	Répartition	Coefficient
BN	6.5	61.27	437.50	abondante	3
BM	5	69.96	483.14	Moyenne	2

$$I (\text{Isohumiques}) = \frac{3.I(BN) + 2.I(BM)}{5}$$

Classe	S%	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN
Isohumiques	5.87	64.74	455.75

Les sols calcimagnésiques :

Sous classes	S %	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN	Répartition	Coefficient
Ce	10	44.96	331	abondante	3
G	8.2	52.72	385.77	Faible	1
CK	19	20.29	244.67	Moyenne	2

$$I(\text{calcimagnésiques}) = \frac{3.I(CE) + 1.I(G) + 2.I(CK)}{6}$$

Classe	S%	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN
Calcimagnésiques	11.89	38.03	311.35

Les sols halomorphes:

Sous classes	S %	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN	Répartition	Coefficient
S1	2.5	87.27	582.16	Moyenne	2
S2	0.85	100.98	708.11	Moyenne	2
S3	6.3	62.37	443.58	Faible	1

$$I(\text{halomorphes}) = \frac{2.I(S1) + 2.I(S2) + 1.I(S3)}{5}$$

Classe	S%	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN
Halomorphes	2.43	87.77	604.82

Les sols hydromorphes:

Sous classes	S %	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN
HG	13	34.49	304.30

Classe	S %	I (équation de SHIYATYI) T/Ha/AN	I (Tableau de corrélation) T/Ha/AN
Hydromorphes	13	34.49	304.30

Tableau des valeurs et classes d'aléa

N°	TYPE DE SOLS	SUPERFICIE (Km ²)	EROSION (T/ha/an)	CLASSE	CODE
1	Hydromorphes	25.40	34407.20	Moyen	2
2	Isohumiques	296.33	51531.65	Fort	3
3	Calcimagnésiques	25.27	35204.34	Moyen	2
4	Minéraux bruts	101.65	9780.55	Faible	1
5	Isohumiques	231.25	51531.65	Fort	3
6	Minéraux bruts	151.10	9780.55	Faible	1
7	Peu évolués	405.70	56828.98	Très forte	4
8	Minéraux bruts	81	9780.55	Faible	1
9	Calcimagnésiques	38.30	35204.34	Moyen	2
10	Isohumiques	92.66	51531.65	Fort	3
11	Hydromorphes	32.20	34407.20	Moyen	2
12	Peu évolués	40.14	56828.98	Très fort	4
13	Hydromorphes	26.50	34407.20	Moyen	2
14	Calcimagnésiques	25.30	35204.34	Moyen	2
15	Minéraux bruts	147.20	9780.55	Faible	1
16	Isohumiques	54.90	51531.65	Fort	3
17	Calcimagnésiques	37.10	35204.34	Moyen	2
18	Hydromorphes	219.50	34407.20	Moyen	2
19	Halomorphes	247.50	68386.99	Très forte	4
20	Calcimagnésiques	23.70	35204.34	Moyen	2
21	Isohumiques	275.80	51531.65	Fort	3
22	Minéraux bruts	55.90	9780.55	Faible	1
23	Isohumiques	106.80	51531.65	Fort	3
24	Minéraux bruts	53	9780.55	Faible	1
25	Peu évolués	109.20	56828.98	Très fort	4
26	Minéraux bruts	101.45	9780.55	Faible	1
27	Calcimagnésiques	79.15	35204.34	Moyen	2
28	Calcimagnésiques	73.40	35204.34	Moyen	2
29	Minéraux bruts	207.55	9780.55	Faible	1
30	Minéraux bruts	112.35	9780.55	Faible	1
31	Peu évolués	38.10	56828.98	Très fort	4
32	Isohumiques	11.73	51531.65	Fort	3
33	Calcimagnésiques	19.10	35204.34	Moyen	2
34	Isohumiques	25.17	51531.65	Fort	3
35	Peu évolués	159.50	56828.98	Très fort	4
36	Minéraux bruts	151.3	9780.55	Faible	1
37	Peu évolués	50.20	56828.98	Très fort	4
38	Minéraux bruts	81.40	9780.55	Faible	1
39	Calcimagnésiques	161.2	35204.34	Moyen	2
40	Hydromorphes	14.20	34407.20	Moyen	2
41	Peu évolués	14.40	56828.98	Très fort	4
42	Minéraux bruts	13.60	9780.55	Faible	1

Tableau des valeurs des occupations des sols

N°	TYPE	SUPERFICIE (KM ²)	HABITAT (NBRE)	TRANSPORT (KM)	AGRICULTURE (KM ²)
1	Hydromorphes	25.40	18	19.50	00
2	Isohumiques	296.33	70	130.30	80.12
3	Calcimagnésique	25.27	30	19.14	21.40
4	Minéraux bruts	101.65	66	79.4	37.52
5	Isohumiques	231.25	126	102.7	105.51
6	Minéraux bruts	151.10	95	46.4	49.96
7	Peu évolués	405.70	175	202.5	164.97
8	Minéraux bruts	81	07	16.80	05.13
9	Calcimagnésiques	38.30	08	04.10	16.13
10	Isohumiques	92.66	33	25.20	28.38
11	Hydromorphes	32.20	20	17.30	00
12	Peu évolués	40.14	24	17.80	08.86
13	Hydromorphes	26.50	26	13.50	00
14	Calcimagnésiques	25.30	06	04	10.40
15	Minéraux bruts	147.20	30	39.70	76.93
16	Isohumiques	54.90	19	09.80	41
17	Calcimagnésiques	37.10	07	13.40	08.79
18	Hydromorphes	219.50	09	55.30	00
19	Halomorphes	247.50	75	122.40	15.13
20	Calcimagnésique	23.70	20	16	13.10
21	Isohumique	275.80	49	112	66.27
22	Minéraux bruts	55.90	00	09.2	02.04
23	Isohumique	106.80	06	23.30	39.65
24	Minéraux bruts	53	05	10.50	20.39
25	Peu évolués	109.20	48	55.60	41.35
26	Minéraux bruts	101.45	06	07.80	20.14
27	Calcimagnésique	79.15	00	00	00
28	Calcimagnésique	73.40	00	25.36	22.67
29	Minéraux bruts	207.55	09	25.25	10.42
30	Minéraux bruts	112.35	00	00	00
31	Peu évolués	38.10	00	09.87	03.56
32	Isohumiques	11.73	00	01.43	04.71
33	Calcimagnésiques	19.10	00	04.60	01.32
34	Isohumiques	25.17	00	06.40	06.28
35	Peu évolués	159.50	05	103.40	11.38
36	Minéraux bruts	151.3	00	00	00
37	Peu évolués	50.20	00	00	00
38	Minéraux bruts	81.40	00	19.65	05.68
39	Calcimagnésique	161.2	22	60.25	30.11
40	Hydromorphes	14.20	01	02.40	00
41	Peu évolués	14.40	01	00	02.73
42	Minéraux bruts	13.60	00	00	00

Tableau des densités de la vulnérabilité

N°	D _{HABITAT}	D _{TRANSPORT}	D _{AGRICOLE}	D _{TOTALE}	CLASSE	CODE
1	70.86	76.77	00	147.63	Forte	3
2	23.62	43.97	27.04	94.63	Moyenne	2
3	85.05	54.28	60.70	200.03	Très forte	4
4	64.93	78.11	36.91	179.95	Très forte	4
5	54.49	44.41	45.62	144.52	Forte	3
6	62.87	30.71	33.06	126.64	Forte	3
7	43.13	49.91	40.66	133.70	Forte	3
8	08.64	20.74	06.33	35.71	Faible	1
9	20.89	10.70	42.11	73.70	Moyenne	2
10	35.61	27.20	30.63	93.44	Moyenne	2
11	62.11	53.73	00	115.84	Forte	3
12	59.79	44.34	22.07	126.20	Forte	3
13	98.11	50.94	00	149.05	Forte	3
14	23.71	15.81	41.10	80.62	Moyenne	2
15	20.38	26.97	52.26	99.61	Moyenne	2
16	34.61	17.85	74.66	127.12	Forte	3
17	18.86	36.12	23.69	78.67	Moyenne	2
18	04.10	25.19	00	29.29	Faible	1
19	30.30	49.45	06.11	85.86	Moyenne	2
20	84.39	67.47	55.27	207.13	Très forte	4
21	17.76	40.61	24.03	82.4	Moyenne	2
22	00	16.46	03.65	20.11	Faible	1
23	05.62	21.81	37.12	64.55	Faible	1
24	09.43	19.81	38.47	67.71	Moyenne	2
25	43.95	50.91	38.47	133.33	Forte	3
26	05.91	07.69	19.85	33.45	Faible	1
27	00	00	00	00	Nulle	0
28	00	34.55	30.88	65.43	Faible	1
29	04.33	12.16	05.02	21.51	Faible	1
30	00	00	00	00	Nulle	0
31	00	25.90	09.34	35.24	Faible	1
32	00	12.19	40.15	52.34	Faible	1
33	00	24.08	06.91	30.99	Faible	1
34	00	25.42	24.95	50.37	Faible	1
35	03.13	64.83	07.13	75.09	Moyenne	2
36	00	00	00	00	Nulle	0
37	00	00	00	00	Nulle	0
38	00	24.14	06.89	31.03	Faible	1
39	13.64	31.84	18.67	64.15	Faible	1
40	07.04	16.90	00	23.94	Faible	1
41	06.94	00	18.95	25.80	Faible	1
42	00	00	00	00	Nulle	0

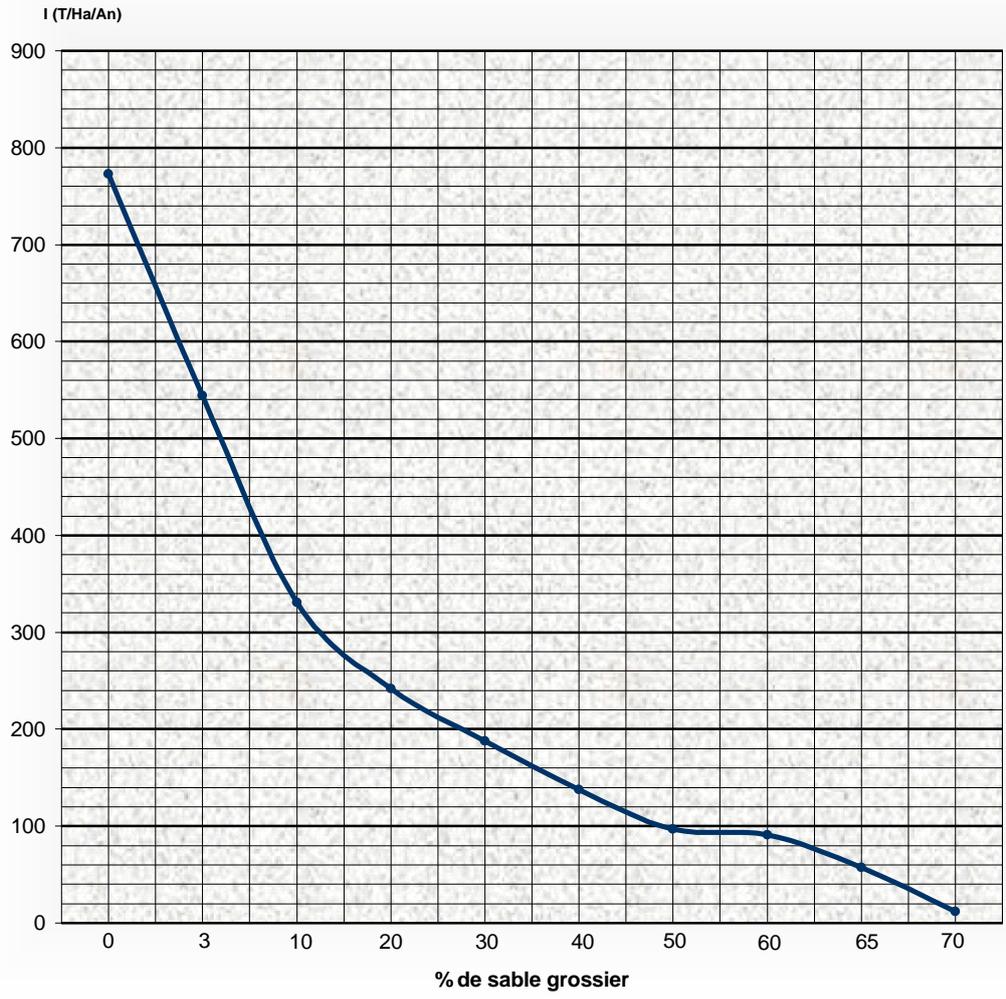
Tableau des classes de risque

N°	TYPE DE SOLS	SUPERFICIE (Km ²)	ALEA		VULNÉRABILITÉ		RISQUE	
			CLASSE	CODE	CLASSE	CODE	CLASSE	CODE
1	Hydromorphes	25.40	Moyen	2	Forte	3	Moyen	2
2	Isohumiques	296.33	Fort	3	Moyenne	2	Moyen	2
3	Calcimagnésiques	25.27	Moyen	2	Très forte	4	Moyen	2
4	Minéraux bruts	101.65	Faible	1	Très forte	4	Faible	1
5	Isohumiques	231.25	Fort	3	Forte	3	Fort	3
6	Minéraux bruts	151.10	Faible	1	Forte	3	Faible	1
7	Peu évolués	405.70	Très fort	4	Forte	3	Fort	3
8	Minéraux bruts	81	Faible	1	Faible	1	Faible	1
9	Calcimagnésiques	38.30	Moyen	2	Moyenne	2	Moyen	2
10	Isohumiques	92.66	Fort	3	Moyenne	2	Moyen	2
11	Hydromorphes	32.20	Moyen	2	Forte	3	Faible	2
12	Peu évolués	40.14	Très fort	4	Forte	3	Fort	3
13	Hydromorphes	26.50	Moyen	2	Forte	3	Moyen	2
14	Calcimagnésiques	25.30	Moyen	2	Moyenne	2	Moyen	2
15	Minéraux bruts	147.20	Faible	1	Moyenne	2	Faible	1
16	Isohumiques	54.90	Fort	3	Forte	3	Fort	3
17	Calcimagnésiques	37.10	Moyen	2	Moyenne	2	Moyen	2
18	Hydromorphes	219.50	Moyen	2	Faible	1	Faible	1
19	Halomorphes	247.50	Très fort	4	Moyenne	2	Moyen	2
20	Calcimagnésiques	23.70	Moyen	2	Très forte	4	Moyen	2
21	Isohumiques	275.80	Fort	3	Moyenne	2	Moyen	2
22	Minéraux bruts	55.90	Faible	1	Faible	1	Faible	1
23	Isohumiques	106.80	Fort	3	Faible	1	Faible	1
24	Minéraux bruts	53	Faible	1	Moyenne	2	Faible	1
25	Peu évolués	109.20	Très fort	4	Forte	3	Fort	3
26	Minéraux bruts	101.45	Faible	1	Faible	1	Faible	1
27	Calcimagnésiques	79.15	Moyen	2	Nulle	0	Tolérable	0
28	Calcimagnésiques	73.40	Moyen	2	Faible	1	Faible	1
29	Minéraux bruts	207.55	Faible	1	Faible	1	Faible	1
30	Minéraux bruts	112.35	Faible	1	Nulle	0	Tolérable	0
31	Peu évolués	38.10	Très fort	4	Faible	1	Faible	1
32	Isohumiques	11.73	Fort	3	Faible	1	Faible	1
33	Calcimagnésiques	19.10	Moyen	2	Faible	1	Faible	1
34	Isohumiques	25.17	Moyen	3	Faible	1	Faible	1
35	Peu évolués	159.50	Très fort	4	Moyenne	2	Moyen	2
36	Minéraux bruts	151.3	Faible	1	Nulle	0	Tolérable	0
37	Peu évolués	50.20	Très fort	4	Nulle	0	Tolérable	0
38	Minéraux bruts	81.40	Faible	1	Faible	1	Faible	1
39	Calcimagnésiques	161.2	Moyen	2	Faible	1	Faible	1
40	Hydromorphes	14.20	Moyen	2	Faible	1	Faible	1
41	Peu évolués	14.40	Très fort	4	Faible	1	Faible	1
42	Minéraux bruts	13.60	Faible	1	Nulle	0	Tolérable	0

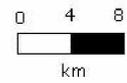
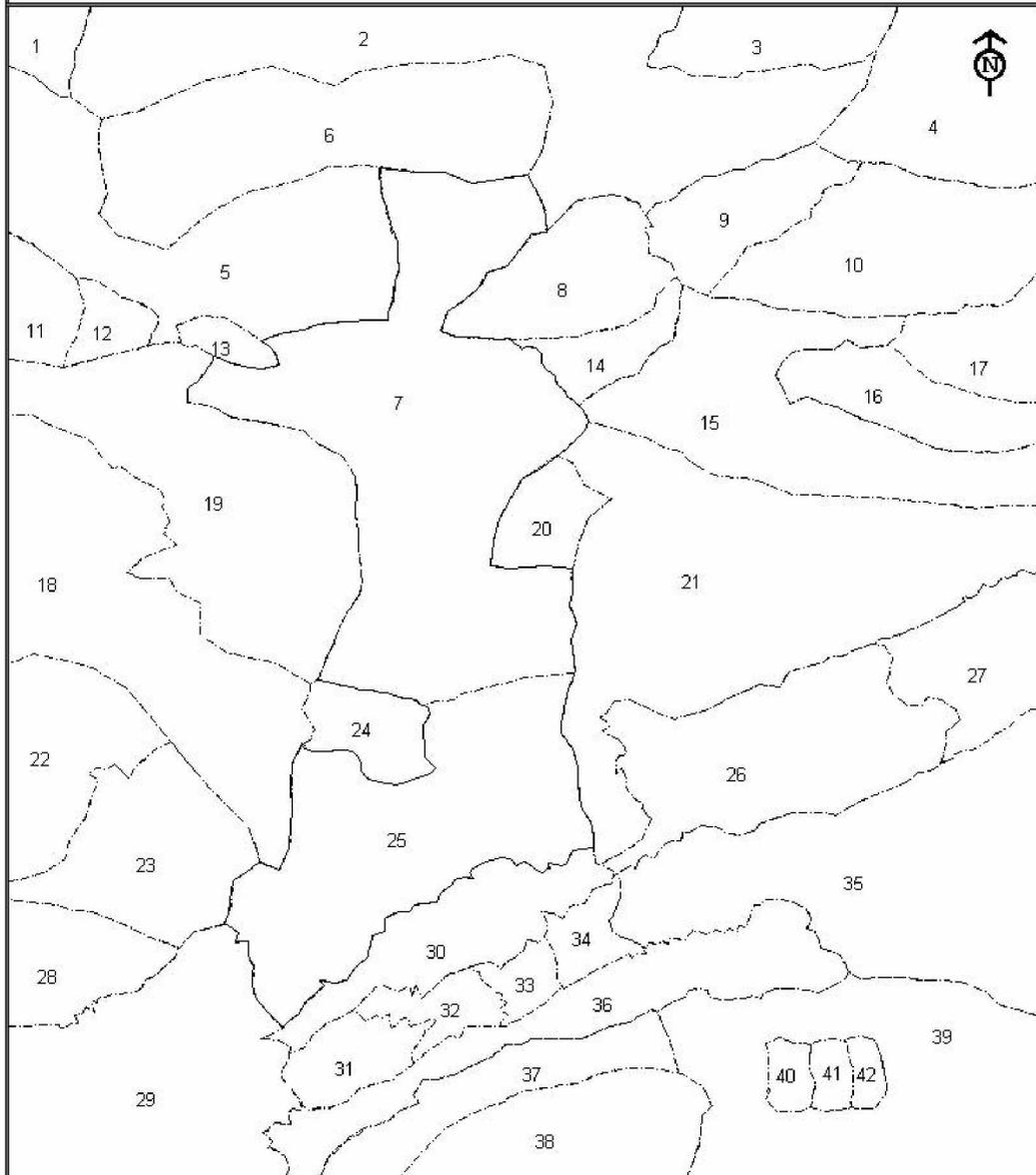
Tableau des valeurs du Facteur **K** selon la latitude pour corriger l'**ETP**

Latitude Nord	Jan	FER	Mars	Avri	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
20°	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
25°	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
26°	0.92	0.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
27°	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	0.99	0.90	0.90
28°	0.91	0.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	0.98	0.90	0.90
29°	0.91	0.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	0.98	0.90	0.89
30°	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
31°	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
32°	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88	0.87
33°	0.88	0.86	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.15	1.03	0.97	0.88	0.86
34°	0.88	0.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	0.97	0.87	0.86
35°	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
36°	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84
37°	0.86	0.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	0.97	0.85	0.83
38°	0.85	0.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83
39°	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82
40°	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
41°	0.83	0.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	0.96	0.82	0.80
42°	0.82	0.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	0.95	0.82	0.79
43°	0.81	0.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	0.95	0.81	0.77
44°	0.81	0.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	0.95	0.80	0.76
45°	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
46°	0.79	0.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	0.94	0.79	0.74
47°	0.77	0.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	0.93	0.78	0.73
48°	0.76	0.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	0.93	0.77	0.72
49°	0.75	0.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	0.93	0.76	0.71
50°	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70

Abaque de corrélation



Carte de Numérotation des sols



Résumé

Le présent travail consiste à mettre en lumière la dynamique éolienne sévissant dans un milieu fragile, comme montre la physionomie steppique de la région de Barika, qui est fortement sensible à l'activité de l'érosion éolienne, ce qui engendre le déclenchement du risque d'ensablement. Dans cette optique, deux étapes ont été suivies:

-Première étape : descriptive et analytique de la région de Barika, vise à localiser le phénomène dangereux à travers les caractéristiques physiques et les facteurs qui contribuent et aident à son intensification.

-Deuxième étape : quantitative et infographique, elle s'appuie sur le calcul de la perte du sol et voir ses répercussions sur l'ensemble des constructions et installations humaines. Cette démarche conduit, dans un Système d'Information Géographique (SIG), à la réalisation de la carte d'exposition au risque d'ensablement.

Les résultats trouvés signalent la gravité du phénomène, notamment dans la plaine de Barika, dont les surfaces agricoles risqueront de perdre leur potentiel biologique. En somme, le cadre écologique de la région de Barika est menacé par le risque d'ensablement, et cette situation préoccupante sollicite l'exigence de prendre des mesures d'une intervention rationnelle capable de lutter contre l'ensablement en particuliers et de se prémunir contre la désertification en générale.

ملخص

العمل المقدم يشتمل على إبراز الديناميكية الريحية التي تحدث في وسط هش، كما تدل السمة السهبية لمنطقة بريكة، التي تعتبر جد حساسة لعمل التعرية الريحية، مما يخلف بدأ تسارع خطر الترميل. من خلال هذه النظرة، نتبع خطوتين :

-الخطوة الأولى: وصفية وتحليلية لمنطقة بريكة، تهدف إلى تحديد توقع الظاهرة الخطيرة من خلال الخصائص الفيزيائية و العوامل التي تساهم و تساعد على تفاقمها.

-الخطوة الثانية: كمية وخرائطية، تستند على حساب تعرية الأراضي و النظر إلى انعكاساتها على مجموع المنشآت و التجهيزات البشرية. هذه العملية تقود، في نظام المعلومات الجغرافية، إلى إنجاز خريطة التعرض لخطر الترميل.

النتائج اخصل عليها تشير إلى حجم الخطر، خاصة في سهل بريكة، حيث أن المساحات الزراعية ستجازف بفقد قدرتها الحيوية. خلاصة القول، المحيط البيئي للمنطقة مهدد بخطر الترميل، وهذه الوضعية المقلقة تلح على ضرورة وضع مقاييس لتدخل عقلائي قادر على مكافحة الترميل بصفة خاصة والتصدي للتصحّر بصفة عامة.