



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

Département des Sciences de la Terre

MEMOIRE

Pour obtenir le diplôme de Magistère en : Géologie
Spécialité : Risques Naturels, Géodynamique des bassins sédimentaires
& Aménagement de territoire.

**LES PHENOMENES D'ENSABLEMENT DES INFRASTRUCTURES
DANS LES MONTS DES KSOUR ;
CAS DE LA ZONE DJENIEN BOUREZG - BENI OUNIF**

Présenté et soutenu par :
Abdallah SALHI
devant le Jury composé de :

M. NADJI Abdelmansour,
M. MANSOUR Hamidi,
M. SAFA Aissa,
M. BELMAHI Mohamed Nadir,

Professeur (Université d'Oran-2)
Professeur (Université d'Oran-2)
Professeur (Université d'Oran-2)
MCA (Université d'Oran-2)

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur

Année 20 / 20

Avant-propos :

Tout au long de ces années écoulées et de l'extraordinaire humaine qu'a été pour moi ce travail, il y a belle lurette, abandonné puis repris, abandonné puis repris à maintes reprises. Comme un naufragé à une épave, je m'accrochais à la science et à l'université autant que je pouvais. Parallèlement à ma préoccupation professionnelle, j'ai été amené à enseigner en vacation bénévolement en tant qu'un expert en Génie minier, département des mines et métallurgie, ...Et pourtant, ma passion était si grande, ainsi que ma nostalgie envers la Géoscience fondamentale de l'école oranaise.

A vrai dire, j'ai eu la chance de rencontrer et de côtoyer tant de personnes qu'il me faudrait presque un mémoire entier pour les nommer et rendre justice à leur apprentissage, non seulement à l'aboutissement de ce manuscrit, qui n'est qu'une simple mouture, mais pour la formation fondamentale. Avant de commencer, donc, à tous ceux que j'ai croisés au cours de cette aventure et qui auraient été oubliés ci-dessous, je vous prie de ne pas douter de ma reconnaissance vis-à-vis de ce que vous m'avez apporté, depuis l'école primaire jusqu'à l'université.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma plus sincère gratitude à l'égard de Monsieur le Professeur MANSOUR Hamidi, Directeur de ce manuscrit, laboratoire de Géoressources, environnement et des risques naturels. Il fut l'un de mes premiers maîtres, Heureusement qu'il était là pour m'aider à me dépatouiller avec l'administration et pour venir me sauver lorsque j'étais perdu au fin fond, m'a donné envie pour redonner et revisiter ce travail oublié. C'est pourquoi je me sens très redevable ; pendant toute cette dernière année, vous avez su encadrer mon travail, en me laissant suffisamment de liberté pour que je développe mes propres idées, tout en étant suffisamment attentif pour que je ne m'égare pas sur des pistes peu prometteuses.

Sans oublier Mme KHADIJA Rémaoun, Professeur et spécialiste dans l'ensablement qui a initié ce sujet en collaboration avec le défunt Monsieur le Professeur LARBI Mekahli. Ce dernier, fondateur de cette discipline des risques naturels et géodynamique des bassins, m'a suggéré de plonger dans le domaine de la géomorphologie et les risques d'ensablement conjointement avec le Professeur Mme KHADIJA Rémaoun. En fait, tout au début j'aurais voulu travailler dans le domaine de la sismologie qui était mon vœux au départ, sur proposition de Monsieur le Professeur MOURAD Bezzeghoud, université d'EVORA, Portugal. Je le remercie vivement ici pour ses cours magistraux de haut niveau dont nous en avons profité au cours de l'année théorique.

Je remercie les membres de jury, qui ont accepté de lire ce manuscrit et d'y apporter leurs remarques et expériences ; M. le Professeur NADJI Benmansour, qui m'a beaucoup appris sur la sismotectonique durant l'année théorique de poste-graduation, et qui me fait l'honneur de présider ma soutenance. Je me souviens aussi de votre séjour chez moi, pour une mission de terrain aux confins de l'Atlas saharien, purement d'ordre sismotectonique.

M. SAFA Aissa, qui fut mon Professeur en Géologie fondamentale et qui a bien voulu accepter d'examiner ce travail. Je me souviens aussi des cours d'hydrogéologie, et de gîtologie, cette dernière me passionne énormément dans mon monde professionnel actuel.

En particulier, toute ma reconnaissance va à M. le Professeur BELMAHI Mohamed Nadir, Géographe physicien, qui a bien voulu en acceptant de jurer ce travail. Il fut mon accompagnateur de terrain où nous avons partagé des souvenirs ; en voulant ancrer les premiers piquets d'observation du projet EGEAT (Espace Géographique Et Aménagement de Territoire), sous l'égide de Mme le Professeur KHADIJA Rémaoun. Là, j'en profite de rappeler de notre échapper belle d'une mine antipersonnel enseveli dans le lit d'Oued Moghrar ! Qu'il trouve ici, une photo

mémoire ! Je suis heureux que nous soyons toujours parvenus à nous pardonner mutuellement le fait d'être humains. J'y pense, un souvenir impérissable.

Je remercie tous mes formateurs M. FOUKRACH, MM. les Professeurs Ouali MEHADJI Abdelkader, Benhamou MILOUD, SEBBANE Abbas,...je souhaite un prompt rétablissement à M. Zeroual... un soutien moral dont ils ne m'ont jamais privé dans ces moments où j'en ai eu le plus besoin.

Mes remerciements iront aussi à mes amis, camarades de l'université d'Oran, en particulier M. SIDI YAKOUB Abdelouaheb. Je remercie également le Pr. KASITANI Nacerddine, Président du laboratoire Géoressource à Pau (France), ainsi que tous mes connaissances des universités de Tlemcen, USTO, IAP-Boumèrdes, Aannaba, Béchar...

J'aimerais remercier aussi le Professeur CALLOT Yann, université lumière, Lyon 2 et M.DELAITRE Eric, IRD (Institut de Recherche pour le Développement) de Montpellier, que lors d'un travail de terrain, consulting pour le compte de la compagnie ferroviaire ARC « Algerian Railways Company », depuis Moghrar à Bechar, j'ai apprécié beaucoup avec eux les discussions scientifiques au tour du phénomène l'ensablement.

Enfin, j'adresse le plus grand merci à mes proches et à ma famille, Un grand merci à ma femme, merci d'avoir accepté tant de sacrifices. Merci à mon unique fils Mouad AHMED pour les ratures sur mes livres... merci à mes deux sœurs, à mon frère Abdeldjebar...à tous et toutes...

En Hommage au Professeur MEKAHLI Larbi.

Abdallah SALHI

A la mémoire de mes parents,

A mon frère,

A mes sœurs,

A mon épouse

A mon fils Mouad Ahmed

A mes formateurs...

« Ce qui est incompréhensible, c'est que le monde soit compréhensible »

[Albert Einstein]



J'avais à peine 12 ans quand mon inspiration de dessin était si fascinante, je connaissais très tôt les bases de l'électronique pratique mais sans connaître le nom d'un caillou !

Résumé

Dans le sud de l'Algérie, les infrastructures sont menacées par le phénomène d'ensablement qui ne cesse de prendre une ampleur inquiétante. Depuis les temps les plus lointains, la mobilité des sables était rare même si les accumulations sableuses existaient. Cependant, durant les dernières décennies on observe une extension spatiale du phénomène d'ensablement qui se traduit par des accumulations sableuses instables ; très mobiles qui constituent un risque sérieux pour les infrastructures et donc risque d'accident, des cultures, de l'habitat, des réservoirs...etc. Son étude ne peut être que d'un grand rapport pour un aménagement intégré, durable et pour la prévention des risques de ce type.

A travers cette étude, nous avons essayé de montrer dans une première approche, l'ampleur du phénomène d'ensablement des infrastructures dans les monts des ksour et en particulier l'étude de cas de la voie ferrée, tronçon de Djenien-Bourez jusqu'à Béni Ounif. Nous avons pu mettre en évidence les zones de la voie ferrée à risque d'ensablement à partir des relevés de terrain dans l'espace et dans le temps. Pour ce, une méthodologie toute particulière a été adoptée ; choix des parcelles témoins matérialisées sur terrain par des piquets ancrés dans le sol et géoréférenciés. Ce qui a permis la délimitation des accumulations sableuses avec les diverses formes, le relevé de la direction, des rides, barkhanes, barkhanoïdes, dépôts sableux et autres accumulations sableuses selon leur morphologie, avec chaque fois des points géoréférenciés (GPS) et repérage des oueds proches de la voie ferrée ayant déposé des sédiments riches en sable dont les terrasses ont une matrice de ce type.

Dans une deuxième approche, d'exploiter, d'analyser et de comparer les résultats ainsi obtenus avec d'autres travaux régionaux réalisés dans des régions proches qui s'inscrivent dans les monts des Ksour, en utilisons les données aérologiques et anémométriques ; vitesses et directions des vents, déplacements potentiels des sable « DPS », lithostratigraphie, orographie, géologie structurale, geomorphologie, hydrologie ... Le résultat ainsi obtenu a montré que les transects d'études : Oued Lakhdar, Djenien.-Bourezg, Béni-Ounif et même Moghrar sont sous l'influence de l'anticyclone des Acores, alors que la zone de Hassi Houari par les alizés.

Pratiquement, sur 178 km de voie ferrée, nous avons mis en exergue trois zones à risque d'ensablement, à savoir ; à 10 km au Sud de Djenien Bourez au lieu-dit El Oglat, à 30km au Nord de Béni Ounif au lieu-dit Oued Lakhdar et à 70km au Sud de Béni Ounif au lieu-dit Hassi Houari. Dans Le premier et le deuxième, il s'agissait de cordons dunaires, alors que le troisième est un champ de barkhanes ou barkhanoïdes. Les résultats ainsi obtenus effectués sur la base des travaux de terrains et relevés quotidiens s'étalant sur une période de mai 2006 au juillet 2006, montrent que la zone de Hassi Houari est à forte énergie éolienne d'où le déplacement rapide des barkhanes. Les zones de Oued Lakhdar, El Oglat et celle de Djenien Bourezg viennent en seconde ordre en terme de morphodynamisme des accumulations sableuses, donc moins de risque d'ensablement de la voie ferrée comparant avec Hassi Houari dont le risque notamment du déraillement des trains est sérieux.

Mots clés : Risque d'ensablement, Monts des Ksour, Infrastructures, Voie ferrée, DPS, relevés

Abstract

In the south of Algeria, infrastructure is threatened by the phenomenon of silting, which continues to take on a worrying scale. Since ancient times, the mobility of sand was rare even if sandy accumulations existed. However, in recent decades we observe a spatial extension of the phenomenon of silting which results in unstable sandy accumulations; very mobile which constitute a serious risk for infrastructures and therefore risk of accident, crops, habitat, reservoirs ... etc. Its study can only be of great relation for an integrated, sustainable development and for the prevention of risks of this type

Through this study, we have tried to show in a first approach, the extent of the phenomenon of silting up of infrastructures in the ksour mountains and in particular the case study of the railway, sections from Djenien-Bourez to Beni Ounif. We were able to highlight the areas of the railway at risk of silting from the field surveys in space and time. For this, a very particular methodology has been adopted: choice of control plots materialized on the ground by stakes anchored in the ground and georeferenced. This allowed the delimitation of sandy accumulations with the various forms, the survey of the direction, wrinkles (*Ripple marks*), "*barkhanes or barkhanoïds*" and sandy deposits and other sandy accumulations according to their morphology. With each time georeferenced points, (GPS) and identification of wadis near the railway line that have deposited sediments rich in sand whose terraces have a matrix of this type.

In a second approach, to exploit, analyze and compare the results thus obtained with other regional work carried out in nearby regions that are part of the Ksour Mountains, use aerological databases from anemometric data; wind speeds and directions, potential displacement of sand "DPS", lithostratigraphy, orography, structural geology, geomorphology, hydrology... The result thus obtained showed that transects of Oued Lakhdar, Djenien.-Bourezg, Beni-Ounif and even Moghrar are under the influence of the Azores high (Acores), while the Hassi Houari area is under the influence of the trade winds (Alizés).

Practically, on 178 km of railway, we have highlighted three areas at risk, namely; 10 km to the south of Djenien Bourez at a place called El Oglat, 30 km to the North of Béni Ounif at a place called Oued Lakhdar and 70km south of Beni Ounif at a place called Hassi Hourai. In The first and second, it was dune slacks, while the third is a field of barkhanes. The results thus obtained on the basis of daily field work and surveys covering a period from May 2006 to July 2006 show that the Hassi Houari area is highly wind-powered, hence the rapid displacement of barkhanes. The areas of Oued Lakhdar, El Oglat and Djenien Bourezg come second in terms of the morphodynamics of sandy accumulations, so less risk of silting up of the railway compared with Hassi Houari whose risk in particular of the derailment of trains is serious.

Keywords: Risk of silting, Ksour Mounts, Infrastructure, Railway, DPS, surveys, lithostratigraphy.

TABLE DES MATIERES

Avant-propos	1
Résumé.....	4
Abstract.....	5
Table des matières.....	6
Liste des figures et tableaux.....	11

INTRODUCTION GENERALE

1. Présentation et Problématique.....	1
2. Objectif.....	2
3. Méthodologie.....	3
4. Plan de travail	4
5. Recherche cartographique	4

PREMIER CHAPITRE : CADRE PHYSIQUE GENERALE**CHAPITRE I**

Introduction.....	11
1. Contexte topographique.....	11
1.1. Les chainons	11
1.2. Les dépressions.....	12
1.3. Récapitulation et localisation.....	13
2. Contexte géologique.....	14
2.1. A l'échelle de l'Atlas saharien.....	14
2.2. A l'échelle des Monts des Ksour	15
2.3. A l'échelle de la région d'étude.....	16
2.3.1. Lithostratigraphie et rapport avec les sources potentielles de sable.....	18
2.3.1.1. Le Permo Trias.....	18
2.3.1.2. Le Lias.....	18
2.3.1.3. Le Dogger	18
2.3.1.4. Le Jurassique supérieur-Crétacé inférieur	18
2.3.1.5. Le Barremo-Albo-Aptien	19
2.3.1.6. Le Cénomano Turonien	19
2.3.1.7. Formations continentales post Turoniennes	19
2.3.1.8. Le Quaternaire	19
2.3.2. Quelques structures gréseuses (synclinaux).....	19
2.3.2.1. Synclinal de Moghrar - Sidi Brahim	19
2.3.2.2. Gouttières synclinales de Djenien Bou Rezk.....	21
2.3.2.3. Synclinal de Hadjerat Meguil	22
2.3.2.4. Synclinal de Djenien El Oglat	22
2.3.2.5. Synclinal de Béni Ounif	22
2.3.3. Bassin de Ben Zireg – Béchar.....	25
Conclusion et discussions.....	26

DEUXIEME CHAPITRE : ENSABLEMENT DE LA VOIE FERREE ENTRE DJENIEN BOUREZG ET BENI OUNIF**CHAPITRE II**

1. Préambule.....	27
1.1 Approche et état des lieux	27
1.2. Approche et méthodologie	27
2. Les différentes types d'accumulations sableuses mobiles.....	30
2.1. Les accumulations sableuses mobiles.....	30
2.1.1. Les barkhanes.....	30
2.1.2. Les boucliers.....	32
2.1.3. Les cordons dunaires.....	32
2.2. Les accumulations sableuses fixées.....	33
2.3. Les voiles sableux.....	33
2.4. Nappages sableux.....	33
3. Pollution du ballast ferroviaire par le sable.....	35
4. Le Bilan d'ensablement.....	36
4.1. Du Pk 62 km (Moghrar) au Pk 144 (Béni Ounif).....	36
4.1.1. Les points à pollution de Ballast.....	38
4.1.2. Les zones à ensablement sans dunes.....	38
4.1.3. Les zones à ensablement par dunes.....	39
4.2. De Béni-Ounif à Béchar (111km).....	42
5. Directions et mobilités des accumulations sableuses.....	44
5.1. Parcelle témoin n°1.....	44
5.2. Parcelle témoin n°2.....	45
5.3. Parcelle témoin n°3 (Hassi Houari).....	46
5.4. Parcelle témoin n°4 (Hassi Houari).....	47
5.5. Enregistrement du piège à sable à Hassi Houari.....	48
6. Vitesse de mobilité calculée à partir des relevés des parcelles témoins	49
6.1. Parcelle n°1, situé à 2Km au sud de Djenien Bourezg (Pk 87).....	49
6.2. Parcelle n°2 situé à proximité de l'Oued Lakhdar (Pk 104).....	50
6.3. Parcelles n°3 située au lieu-dit Hassi Houari (Pk 94).....	51
6.4. Parcelle n°4 située au Pk 95 (Hassi Houari).....	52
7. Distribution granulométrique	55
Discutions et conclusion.....	57

TROISIEME CHAPITRE : ELEMENTS D'EXPLICATION DU PHENOMENE D'ENSABLEMENT**CHAPITRE III**

Introduction.....	58
1. Le réseau hydrographique.....	58
1.1. Les grands Bassins versants et pouvoir érosif	58
1.1.1. Bassin de l'Oued Zouzfana.....	58
1.1.2. Bassin de l'Oued Béchar.....	59
1.2. Bassins versants et apports.....	59

1.2.1.	L'apport de l'Oued Béchar.....	59
1.2.2.	L'apport de l'Oued Zouzfana.....	59
1.3.	Morphométrie des bassins.....	60
1.3.1.	Un réseau hydrographique dense.....	60
1.3.2.	Délimitation des sous-Bassins versants en relation avec la voie ferrée.....	61
1.4.	Bassin versant de Béni Ounif.....	65
1.4.1.	Caractéristiques du relief.....	65
1.4.2.	Caractéristiques du réseau hydrographique.....	66
1.5.	Le sous Bassin de l'Oued Safsaf.....	67
1.5.1.	Le réseau hydrographique.....	67
1.5.2.	Caractéristique de forme.....	67
1.5.3.	Le relief.....	67
1.6.	Le sous Bassin de l'Oued Mrires.....	67
1.6.1.	Le réseau hydrographique.....	68
1.6.2.	Caractéristique de forme.....	68
1.6.3.	Le relief.....	68
2.	Traits climatiques.....	68
2.1.	Régime des pluies.....	68
2.2.	Les précipitations.....	69
2.3.	Présentation des stations météorologiques.....	69
2.4.	Variation annuelle des précipitations.....	70
2.5.	Répartition mensuelle des précipitations.....	71
2.6.	Irrégularité des précipitations.....	72
3.	Autres considération pluviométriques.....	74
3.1.	Précipitations mensuelles.....	74
3.2.	Précipitations journalières.....	75
3.3.	Intensité de précipitations.....	75
4.	Analyse des températures.....	77
5.	Evapotranspiration (ETP).....	78
6.	Les apports de crues.....	78
6.1.	Temps de concentration et vitesse de ruissellement.....	80
6.2.	Débits de crues.....	80
6.3.	Estimations empiriques des débits de pointe et hydrogrammes de crue.....	80
6.4.	Hydrogramme de crue.....	81
6.5.	Modélisation hydrologique.....	82
7.	Bassin versant de l'oued Béchar.....	83
7.1.	Caractéristiques morphométriques.....	83
7.2.	Les débits extrêmes.....	84
7.3.	Etude des débits.....	84
8.	Classification du climat.....	85
8.1.	Méthode de visualisation graphique.....	85
8.1.1.	Courbes pluviométriques.....	85
8.1.2.	Courbe ombro-thermique.....	87
8.2.	Méthode des indices climatiques.....	87
8.2.1.	Indice d'aridité annuel de Emanule de Martone.....	87

8.2.2. Indice d'aridité mensuelle de de Martonne.....	88
8.2.3. Indice de continentalité de Kerner.....	89
8.2.4. Indice de Moral.....	90
8.2.5. Climagramme d'Emberger.....	90
8.2.6. Conclusion sur les calculs des indices.....	91
Discutions et conclusion.....	92

QUATRIEME CHAPITRE : DYNAMIQUE EOLIENNE ET DEPLACEMENT DU SABLE

CHAPITRE IV

Introduction.....	93
1. Déplacement du sable.....	94
2. L'agent principal.....	94
2.1. Complexité de la dynamique éolienne.....	95
2.1.1. Dynamique de flux.....	95
2.1.2. Contexte géomorphologique.....	95
2.2. Traitement des données anémométriques.....	95
2.3. L'approche classique : Traitement fréquentiel des vents.....	96
2.3.1. Régime des vents calmes (inefficaces).....	96
2.3.2. Régime des vents efficaces.....	98
2.3.3. Vents efficaces à Aïn Sefra.....	99
2.3.3.1. Analyse mensuelle de la répartition et fréquence des vents efficaces.....	100
2.3.3.2. Les vents efficaces en mai 2006, station d'Aïn Sefra.....	101
2.3.4. Régime des vents efficaces à Béchar.....	102
2.3.4.1. Analyse mensuelle de la répartition et fréquence des vents efficaces.....	102
2.3.4.2. Régime saisonnier.....	109
2.3.4.3. Régime journalier.....	111
2.4. Deuxième approche : évaluation théorique des déplacements potentiels de sable et quantification du matériel potentiellement déplacé.....	112
2.4.1. Notion de vitesse seuil d'arrachement du sable.....	113
2.4.2. Méthodologie de l'évaluation théorique.....	113
2.4.3. Le module de la résultante, ou MR, RDP (Resultant Drift Potential).....	117
2.4.4. L'angle d'orientation, RDD (Resultant Drift Dircetion).....	117
2.4.5. Le coefficient de migration des sables.....	117
2.4.6. Rose de migration des sables.....	118
2.5. Application de la méthode de Fryberger et détermination des paramètres d'énergie potentielle de déplacement de sable (DPS).....	120
2.5.1. Les DPS à Aïn Séfra.....	120
2.5.1.1. Les DPS et coefficients moyens de transport éolien étudié sur 10 ans.....	120
2.5.1.2. DPS et coefficients de déplacement : variabilité inter-annuelle de 1988 à 1996 à Aïn Sefra.....	121

2.5.1.3.Régime saisonnier des DPS.....	121
2.5.2. Les DPS à Béchar.....	122
2.5.2.1.Les DPS annuels de Béchar	123
2.5.2.2. Le coefficient de migration (MR/CT).....	123
2.5.2.3. Variations de la capacité de transport mensuelle moyenne des sables.....	124
2.5.2.4.Variations mensuelles du coefficient de migration des Mr/CT.....	125
2.6. La direction de la résultante de DPS mensuel moyen.....	125
2.7. Roses mensuelles de migration des sables.....	125
Synthèse et discussions.....	127
CONCLUSION GENERALE	
CONCLUSION GENERALE.....	133
BIBLIOGRAPHIE.....	138

LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET PHOTOS

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Esquisse montrant les tronçons ferroviaires, objet de la zone d'étude	5
Figure 2 : Esquisse montrant le couloir orographique Sud-Ouest Nord-Est.....	6
Figure 3 : Carte de situation géographique du secteur d'étude	10
Figure 4 : Carte hypsométrique de la région d'étude	12
Figure 5 : Réseau de fracturation et continuité des accidents cassants	16
Figure 6 : Extrait de la carte géologique 2100000 ^e , encadrant le contexte général de la région étudiée ; stocks de sables privilégiés par le quaternaire et le grès du crétacé	17
Figure 7 : Extrait de jeu de cartes géologiques 1200 000 ^e	18
Figure 8 : Couloir orographique essentiellement jurassique-Crétacé, carte 200.000 ^e	20
Figure 9 : Synclinal de Moghrar – Sidi brahim.....	20
Figure 10 : Carte géologique ; synclinales de Djenien Bou Rezk.....	21
Figure 11 : Synclinal de Hadjeret Meguil	22
Figure 12 : Synclinal de Béni Ounif	23
Figure 13 : Extrait de la carte géologique (Béni Ounif) 200.000 ^e	23
Figure 14 : Extrait de la carte du Maroc, montrant l'immense formation jurassique crétacé, et le passage de la flexure sud-atlasique	24
Figure 15 : Géologie de la région de Béchar	25
Figure 16 : Coupe géologique de la région de Béchar	26
Figure 17 : Système de piège à sable installé (Hassi Houari)	29
Figure 18 : Situation géographique des parcelles témoins choisies	30
Figure 19 : Champs de barkhanes à Hassi Houari, image Hybird 2006	31
Figure 20 : Evolution du Bouclier à la barkhane vraie (CALLOT Y., 1987)	32
Figure 21 : Voie ferrée ballastée (schéma d'après A. Shaer, sans date)	36
Figure 22 : Identification des points d'ensablement le long de la voie ferrée	40
Figure 23 : Répartition des accumulations sableuses au niveau du couloir orographique.....	41
Figure 24 : Identification des points d'ensablement le long de la voie ferrée	43
Figure 25 : Classification d'image avant la VT (Vérité de Terrain)	44
Figure 26 : Fréquences des directions des mobilités de sable d'après les relevés de terrain, parcelle N°1 de (Djenien Bourezg) (mai, juin et juillet 2006)	45
Figure 27 : Fréquences des directions des mobilités de sable d'après les relevés de terrain, parcelle de l'Oued Lakhdar (mai, juin et juillet 2006).....	46

Figure 28 : Fréquences des directions des mobilités de sable d'après les relevés de terrain, parcelle N° 3, Hassi Houari (période ; mai, juin et juillet 2006).....	47
Figure 29 : Fréquences des directions des mobilités de sable d'après les relevés de terrain, Hassi Houari, parcelle, N° 4 (mai, juin et juillet 2006).....	48
Figure 30 : Fréquences des directions des vents de sable d'après les relevés du piège à sable, parcelle témoin n°3, de Hassi Houari, (mai, juin et juillet 2006).....	49
Figure 31 : Vitesses de mobilité du sable et taux de fréquences, parcelle de Djenien Bourezg.....	50
Figure 32 : Vitesses de mobilité du sable et taux de fréquences, parcelle de l'Oued Lakhdar.....	51
Figure 33 : Vitesses de mobilité du sable et taux de fréquences, parcelle de Hassi Houari, parcelle N°3.....	52
Figure 34 : Vitesses de mobilité du sable et taux de fréquences, parcelle N°4 (de Hassi Houari).....	54
Figure 35 : Courbe granulométrique et distribution des fréquences simples (Fs) et fréquences cumulées (Fc), (compagne juin 2006).....	56
Figure 36 : Réseau hydrographique très dense et hypsométrie abrupte.....	60
Figure 37 : Situation générale des sous Bassins-versants de D. Bourezg - Béni Ounif.....	61
Figure 38 : Délimitation des sous Bassins versants, par apport à a voie ferrée ; partie Nord-Est.....	62
Figure 39 : Délimitation des sous Bassins versants, par apport à a voie ferrée ; partie Sud-Ouest.....	64
Figure 40 : Courbe hypsométrique de l'oued Sidi Aïssa (d'après Mansour, 1992).....	66
Figure 41 : Courbe hypsométrique de l'oued Mélias (d'après Mansour, 1992).....	66
Figure 42 : Courbe hypsométrique de l'oued Total (d'après Mansour, 1992).....	66
Figure 43 : Profil en long de l'oued principal (d'après Mansour, 1992).....	67
Figure 44 : Variation des précipitations interannuelles, station de Béchar (1987-1999).....	70
Figure 45 : Précipitations mensuelles, station de Béni Ounif, (1904-1973).....	71
Figure 46 : Précipitations saisonnières, station de Béni Ounif et de Béchar (1987-1999)....	72
Figure 47 : Précipitations mensuelles, station de Béni Ounif (1904-1973) et Béchar (1988-1906).....	72
Figure 48 : Pluviométrie moyenne annuelle à Aïn Sefra (série de 105 ans), (Triki, 2009)....	73

Figure 49 : Evolution des pluies annuelles à Aïn Sefra (série de 105 ans), (Triki, 2009).....	73
Figure 50 : Pluviométries mensuelles à Béchar, Djenien Bourez et Aïn séfra.....	75
Figure 51 : Variabilité chronologique de pluies maximales journalières.....	75
Figure 52 : Graphiques des pluies torrentielles (2008-2009), données NOAA /USA (2008).....	76
Figure 53 : Hydrogramme de crue fréquentielle (Bassin versant total).....	82
Figure 54 : Hydrogramme de crue centennale (d'après SETOR, 2008).....	82
Figure 55 : Hydrogramme de crue total à l'exutoire (d'après SETOR, 2008).....	83
Figure 56 : Courbe pluviothermique, station de Béchr (1978-1989).....	86
Figure 57 : Courbe pluviothermique, station Aïn Sefra(1969-2001).....	86
Figure 58 : Courbes ombrothermiques ; stations ; Béchar (1978-1989) et Aïn Sefra (1969-2001).....	87
Figure 59 : Indice d'aridité annuel de De Martonne.....	89
Figure 60 : Climagramme pluviométrique d'Emberger.....	91
Figure 61 : Comparaison des fréquences des vents calmes mensuelles calculés pour la période de 1977 à 2006 par ce travail avec celles étalées du 1985 à 1996 pour les deux stations ; Béchar et Aïn Sefra, (d'après les données de Beloufa, 2001 et Stambouli, 1998).....	98
Figure 62 : Comparaison des fréquences des vents efficaces mensuelles calculés pour la période de 1977 à 2006 par ce travail avec celles étalées du 1985 à 1996 pour les deux stations ; Béchar et Aïn Sefra, (d'après les données de Beloufa, 2001 et Stambouli, 1998).....	98
Figure 63 : Rose des fréquences des vents efficaces annuels, station d'Aïn Sefra (1985-1996).....	100
Figure 64 : Rose des fréquences des vents efficaces du moi mai 2006, station d'Aïn Sefra.....	102
Figure 65 à 67 : Vitesses en fonction des directions des vents (mensuelles).....	103
Figure 68 à 70 : Vitesses en fonction des directions des vents (mensuelles).....	104
Figure 71 à 73 : Vitesses en fonction des directions des vents (mensuelles).....	105
Figure 74 à 76 : Vitesses en fonction des directions des vents (mensuelles).....	106
Figure 77 : Rose des fréquences des vents efficaces mensuels, du (1977 à 2006).....	107
Figure 78 : Rose des fréquences des vents efficaces annuels, station de Béchar (1985-1996) (recalculées d'après les données de Beloufa, 2001).....	108
Figure 79 : Rose des fréquences des vents efficaces de mai à octobre, station de Béchar (1985-1996).....	109
Figure 80 : Rose des fréquences des vents efficaces de novembre à avril, station de Béchar (1985-1996)	110
Figure 81 : Répartition saisonnière moyenne des vents efficaces par direction et vitesse, station de Béchar (1985 à 1996), (d'après les données de Beloufa, 2001).....	111
Figure 82 : Régime journalier des vents efficaces,	

station de Béchar (1985 à 1996), (Beloufa, 2001).....	112
Figure 83 : Principaux types de roses de déplacement potentiel des sables et régimes des vents selon Fryberger et Dean (1979).....	118
Figure 84 : DPS saisonnier à BECHAR, période 78-82 (Y. Callot, 1985).....	126
Figure 85 : DPS saisonnier à Béchar 85/96 (Beloufa, 2001).....	127
Figure 86 : DPS saisonnier à Béchar (Beloufa, 2001), et Ain Sefra 85/96 (Stambouli, 1998).....	127
Figure 87 : Synthèse caractérisant l'influence des <i>alizés</i> (migration d'Est vers l'Ouest)..	132
Figure 88 : Synthèse caractérisant l'influence des <i>Acores</i> (migration d'Ouest vers le l'Est).....	132

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : Caractéristiques de la parcelle n°1.....	28
Tableau 2 : Caractéristiques de la parcelle n°2.....	29
Tableau 3 : Caractéristiques des parcelles n°3 et 4.....	29
Tableau 4 : Identification des points à risque d'ensablement, d'el Oglat, au sud de Moghrar à Béni Ounif sur 83km de long, (PK62 au PK144).....	36
Tableau 5 : Identification des points à risque de pollution du ballast et ensablement, depuis Béni-Ounif (Pk 0 du tronçon sud) à Béchar (PK 111 du tronçon sud) ; <u>soit sur 111 Km de longueur</u>	42
Tableau 6 : Différents types d'accumulations sableuses dans la zone d'étude.....	43
Tableau 7 : Fréquence des directions de déplacement de sable, parcelle n°1, (Dejnien Bourezg)....	44
Tableau 8 : Fréquence des directions de déplacement de sable, parcelle N° 2 (OuedLakhdar).....	45
Tableau 9 : Fréquence des directions de déplacement de sable, parcelle N°3 (Hassi Houari).....	46
Tableau 10 : Fréquence des directions de déplacement de sable, parcelle N°4 (Hassi Houari).....	47
Tableau 11 : Fréquence des directions des vents de sable, à proximité de la parcelle témoin de Hassi Houari, (mai 2006 à juillet 2006).....	48
Tableau 12 : Vitesses de mobilité calculées à partir de la parcelle témoin de Djenien Bourezg, (mai 2006 à juillet 2006).....	49
Tableau 13 : Vitesses de mobilité calculées à partir de la parcelle expérimentale de Oued Lakhdar, (mai 2006 à juillet 2006).....	50

Tableau 14 : Vitesses de mobilité calculées à partir de la parcelle témoin N°3 de Hassi Houari, de la voie ferrée, (mai 2006 à juillet 2006).....	52
Tableau 15 : Vitesses de mobilité calculées à partir de la parcelle témoin N° de Hassi Houari, de la voie ferrée, (mai 2006 à juillet 2006).....	53
Tableau 16 : résultats du traitement automatique par SIG des sous bassins versants sélectionnés dans la partie nord-est.....	62
Tableau 17 : résultats du traitement automatique par SIG des sous bassins versants sélectionnés dans la partie sud-ouest.....	64
Tableau 18 : différentes stations sélectionnées (Béchar, Béni Ounif et Ain Sefra).....	69
Tableau 19 : Pluviométrie et nombre de jours de pluies, station Aïn Sefra (1989-1996), d'après (Stambouli, 1998).....	74
Tableau 20 : Températures mensuelles, station de Béchar (1951-1988).....	77
Tableau 21 : Température mensuelles, station d'Aïn Sefra (1969-2001).....	77
Tableau 22 : Valeurs des Evapotranspiration potentielles (ETP).....	78
Tableau 23 : Estimation du volume de crue (d'après SETOR, 2008).....	81
Tableau 24 : Précipitations et Températures, station de Béchar, (1978-1989).....	86
Tableau 25 : Précipitations et Températures, station d'Aïn Sefra, (1969-2001).....	86
Tableau 26 : Rapport P/T et indice d'aridité de (de Martonne).....	89
Tableau 27 : Comparaison des vents calmes pour les deux stations (Béchar et Aïn Sefra)...	97
Tableau 28 : Répartition annuelle moyenne des vents efficaces, station d'Aïn Sefra (1985-1996), d'après (Stambouli, 1998).....	99
Tableau 29 : Exemple des fréquences et de dynamisme des vents en mai 2006.....	101
Tableau 30 : Répartition annuelle moyenne des vents efficaces, station de Béchar (1985-1996). (Beloufa, 2001).....	108
Tableau 31 : Répartition moyenne des vents efficaces de Mai à Octobre.....	109
Tableau 32 : Régime moyen des vents efficaces de novembre à avril.....	110
Tableau 33 : Classification de l'énergie éolienne et régime du vent en fonction du déplacement potentiel et la variabilité directionnelle du vent, selon Fryberger et Dean (1979) et Lancaster (1995).....	118
Tableau 34 : Coefficients moyens de DPS à Aïn Séfra, (Stambouli, 1998).....	121
Tableau 35 : Les coefficients moyens de DPS à Béchar (1985- 1996).....	122
Tableau 37 : Coefficients de transport de sable mensuels moyens à Béchar de 1985 à 1996.....	124
Tableau 38 : Comparaison avec les travaux antérieurs.....	129

LISTE DES PHOTOS :

Les photos sont regroupées ; la numérotation ne concerne pas uniquement la photo, mais un bouquet de photos (pluriel).

Photos 1 :	4 photos sur les désensablement et le déraillement du train.....	7
Photos 2 :	8 photos de quelques différentes accumulations sableuses	8
Photos 3 :	2 photos sur la sortie sur terrain avec Callot YANN et Eric Delaitre (IRD).....	9
Photos 4 :	2 photos montrant le mariage du sable avec la neige	9
Photos 5 :	Parcelle témoins du Pk 60 (mines antipersonnel).....	28
Photo 6 :	Cordon dunaire, Djenien Bourezg (PK87).....	33
Photo 7 :	Ensablement de la V.F à Hassi Houari.....	33
Photo 8 :	Accumulation sableuse, près de l'Oued Lakhdar.....	34
Photo 9 :	Placage sableux, près de l'Oued Lakhdar.....	34
Photo 10 :	Rides symétriques (opposition de deux vents).....	34
Photo 11 :	Nappage sableux, au sud de Moghrar.....	34
Photo 12 :	Barkhanes de Hassi El Hourai.....	34
Photo 13 :	Champs de barkhanes de Hassi El Hourai.....	34
Photo 14 :	Cordon dunaire au sud de Djenien Bourezg.....	35
Photo 15 :	Passage du sable à Hassi El Hourai.....	35
Photo 16 :	Cordon dunaire, au sud de Djenien Bourezg.....	35
Photo 17 :	Flèches de sables et nappage sableux, au sud Djenien Bourezg.....	35
Photos 18 :	Ampleur du phénomène hydrologique (crue de 2008) ; Oued Zouzfana.....	77
Photos 19 :	Important apport solide charrié par l'Oued Zouzfana.....	79
Photos 20 :	Important apport de sable décanté après une crue (Affluent O. Zouzfana).....	80

INTRODUCTION GENERALE :

1. Présentation et problématique :

L'ensablement fait partie des risques naturels fréquents dans les régions semi-arides et arides telles celles qui est abordée dans ce travail, à savoir depuis le couloir orographique situé dans les Monts des Ksour occidentaux, entre le Djebel Mzi et Djebel Bou-Amoud et son prolongement Djebel Kerdacha jusqu'à l'extrémité Sud-Ouest du Djebel Grouz. Nous nous proposons d'en voir les effets sur la voie ferroviaire entre Djenien Bourezg et Béni Ounif, jusqu'au prolongement de celle-ci à Hassi Houari (Cf. figure N°01).

La région d'étude, Djenien Bourezg – Béni-Ounif, s'intercale dans une zone présaharienne qui forme l'extrémité méridio-occidentale des Monts des Ksour. Celle-ci épouse la frontière algéro-marocaine et est rattachée administrativement au Sud par la Wilaya de Béchar, et au nord par la Wilaya de Naâma, limitée à l'est par la Wilaya d'El Bayadh et à l'Ouest par le Maroc. D'Ouest en Est, elle couvre l'espace compris entre les reliefs qui dessinent la frontière algéro-marocaine et la limite occidentale de la Wilaya d'El Bayadh.

Le phénomène d'ensablement dans les Monts des ksour est lié à la mobilité du sable et à une échelle locale, a un impact sur le bon fonctionnement des infrastructures dont celles ferroviaires ainsi que sur les risques que ceci entraîne. En effet, la voie ferroviaire Mécheria- Béchar, réalisée est mise en service en remplaçant l'ancienne voie étroite emblématique. Mais les trains ne peuvent y circuler à la vitesse prévue (160 km/h) et doivent s'arrêter fréquemment aux points envahis par les sables (Cf. Photos N°01).

La zone d'étude Djenien Bourezg - Béni Ounif est bordée par des chaînes de montagnes appartenant aux Monts des Ksour occidentaux de direction prédominante Sud-Ouest Nord-Est, formant une barrière qui se dresse au droit vers la Hamada de Bet teoudjine, dont les principaux Djebels sont ; Dj. Mzi (2187m) et Mir El Djebel (2059m), Dj. Bou Amoud (1692m), Dj. Kerdacha (1325m), Dj. Djermane Tahtani (1132m), Dj. Djermane Foukani (1192m) et Dj. Grouz (1709m)... (Cf. fig. N°02). Ces chaînes de montagnes représentent un espace parcouru par un réseau hydrographique assez important formant de grands bassins hydrologiques, à savoir Oued Zoubia (O. Lakhdar), Oued Er Rmel, Oued Duis, Oued Zouzfana,... Ils empruntent le couloir orographique pour aller se jeter ensuite dans le sud vers l'erg occidental, d'où la quantité d'alluvions charriée qui sera par la suite reprise par les vents, ce d'autant plus facilement que c'est un domaine aride (absence ou rareté de la végétation naturelle qui se cantonne sur les berges des oueds).

Dans ce manuscrit nous avons suivi le découpage par tronçon de la voie ferroviaire Mécheria Béchar (de 360 km de long). Elle comporte techniquement trois tronçons : un de Mécheria à Aïn Sefra (tronçon nord de 105km), le deuxième (tronçon centre de 144 km) d'Aïn Sefra à Béni Ounif et le troisième (tronçon sud de 111km) de Béni Ounif à Béchar. Chaque tronçon est matérialisé par des points kilométriques dites Pk, qui débutent par des points matérialisés au niveau des gares des trois tronçons ferroviaires Mécheria, Béni

Ounif et Béchar, à savoir ; Tronçon nord ; (Pk 0, Mécheria au Pk 105, Aïn Sefra), Tronçon centre (Pk 0, Aïn Sefra au Pk 144, Béni-Ounif) et le Tronçon sud (Pk 0, Béni Ounif au Pk 111, Béchar).

En fait, notre choix a été porté sur une partie du tronçon centre et une partie du tronçon sud, à savoir depuis le nord de la localité de Djenien Bourezg jusqu'au Sud de Béni Ounif vers la localité de Hassi Houari, soit sur une longueur d'environ 178 km.

2. Objectif :

L'érosion éolienne est par excellence la cause principale de tout ensablement où le vent joue le triple rôle d'agent érosif, de transport et de dépôt de formation des dunes. A l'évidence, il ne s'agit pas de traiter les problèmes liés à la sécheresse ou la désertification à une échelle globale, car la région d'étude est déjà déserte depuis des milliers d'années ; végétations très rares ou inexistante, les sols sont squelettiques et sont généralement constitués de roche mère friable et vulnérable à l'érosion... Il ne s'agit pas non plus de traiter les problèmes climatiques spécifiques caractérisant les zones arides. Il s'agit, en fait, de tenter de comprendre les effets et dynamiques du matériau éolien qui menace les infrastructures, et comme étude de cas, La caractérisation du tronçon de la voie ferrée Djenien Bourezg vers Béchar (Béni Ounif).

Il est bien entendu, qu'il s'agit là d'une ébauche qui s'inscrit dans l'initiation à la recherche, émaillée de quelques insuffisances, dont le seul mérite est de montrer l'ampleur et le risque d'ensablement qui menace sans cesse les trains en provoquant souvent son déraillement qui déstabilise le confort des passagers, voire d'exposer leur vie au danger.

En se basant sur nos relevés quotidiens et observations de train sur une durée de trois mois, au niveau des parcelles témoins, et terrains avoisinants la voie ferrée, nous tenterons à :

-Calculer la vitesse de mobilité et fréquences des directions des accumulations sableuses proches de la voie ferrée ainsi que leur identification,

-Le contexte lithostratigraphique va nous amener à avoir une idée sur les faciès géologiques, notamment les affleurements des formations détritiques, typiques de la région, et qui par sa vulnérabilité à l'érosion, facilite le travail de l'eau et du vent.

-Par l'étude des paramètres climatiques, nous essayerons de caractériser le climat de la région, et de mettre le point sur les extrêmes pluviométriques, qui provoquent des crues exceptionnelles supposées responsables de l'apport important de sable, ainsi de l'amplitude thermique, que par thermoclastie agit comme étant un générateur de sable.

-De même une caractérisation hydrologique, nous permettra de mettre en exergue les sous bassins versant et d'identifier les oueds traversant la voie ferrée, accumulant considérablement le stock de sable qui en est la source nourricière des vents efficaces.

-La synthèse de la dynamique des vents et déplacement potentiel du sable à partir des données anémométriques, va nous permettre de corréliser entre nos résultats obtenus et les travaux antérieurs régionaux, en mettant l'accent sur la quantification de sable supposées arrachées par le maître de l'érosion éolien qui est le vent.

3. Méthodologie :

Nous proposons une approche à travers laquelle nous avons choisi la démarche suivante :

-Reconnaissance de terrain ; des itinéraires de terrain le long de la voie ferrée ont permis de sélectionner segments de tronçons où apparaissent l'ensablement, et installer les parcelles expérimentales (témoins).

-Relevés le long de la voie ferrée des points ensablés ou susceptibles de l'être (présence de dunes à proximité). Ces relevés ont été géoréférencés grâce à un GPS de terrain : coordonnées géographiques et altitude (x,y,z) et la distance des dunes par rapport à la plateforme ferroviaire mesurée. Ceci a permis d'établir une première cartographique établissant un état des lieux par rapport au risque « ensablement ».

-Dans les parcelles expérimentales (parcelles témoins) installées à proximité de la voie ferrée qui traverse les localités ; Djenien Bourezg, Béni Ounif et Hassi Houari. Nous avons effectué des mesures de déplacements des sables, notamment les distances parcourues et la direction suivie, et ce, durant 3 mois (du mai au juillet 2006). Les parcelles étaient géoréférencées, délimitées par des piquets. Dans certains, ont été placés des pièges à sable de 2 m de haut environ.... (Cf. Ph. N°02)

-Parallèlement, nous avons mesuré les espaces inter dunaires, les directions de mobilité des dunes ainsi que leur forme (morphologie) et leurs dimensions (L, la, H, etc...). Des prélèvements de sable ont été faits aussi, selon la morphologie des accumulations sableuses proches de la voie ferrée et sur celle-ci.

Les parcelles prises en compte sont : La première parcelle se trouve à peine à 2 km sud de Djenien Bourezg, à l'Ouest de la voie ferrée (Pk 87), la deuxième à Oued Lakhdar (PK111-112) à une vingtaine de mètres à l'ouest de la voie ferrée et à l'aplomb de la rive gauche de l'Oued Zoubia (O. Lakhdar) et la troisième composée de deux parcelles expérimentales à Hassi Houari (PK, 94,45 et PK 94,76), ce dernier se trouve à plus de 70Km, au sud de Béni-Ounif. : La première se trouve sur la rive droite de l'Oued Béchar, en direction N-S par rapport à la voie ferrée et la deuxième dotée d'un piège à sable en direction NNW-SSE de la voie ferrée. Une parcelle se trouvant au lieu-dit El Oglat, à 10 km au sud de la localité de Moghrar et à quelques mètres en direction d'Est de la voie ferrée (PK 62), a été abandonnée à peine après un mois de relevé, suite à la découverte des mines anti-personnelles masquées par le sable, devant cette contrainte, il nous a été impossible donc de poursuivre les mesures et les relevés de terrain dans cette parcelle.

Pour trouver des éléments d'explication, nous avons analysé :

- Le contexte lithostratigraphique : repérage des affleurements et couches géologiques pouvant libérer les éléments (clasts) pouvant être remobilisé ensuite par le vent.
- Le contexte hydrologique sachant que les oueds étant la source directe des apports en sable (sable qui se trouve généralement dans les alluvions).
- Le contexte climatique, en mettant l'accent sur les extrêmes pluviométriques (responsables potentielles des crues ou des écoulements des cours d'eau vu que

nous sommes en zone aride), ainsi, les extrêmes thermiques, qui provoquent l'éclatement des roches et libèrent du matériel (thermoclastie).

- Enfin, l'analyse des données anémométrique, sachant que le vent étant l'agent principale de l'érosion éolienne.

4. Plan de travail :

Un plan de travail a été arrêté dont quatre chapitres sont regroupés ;

Chap.1. Cadre physique générale de la zone étudiée.

Chap. II. Ensablement de la voie ferrée entre Djenien Bourezg et Béni Ounif :

-points à ensablement

-types d'accumulations sableuse,

-et directions de leur mobilité,

-vitesse de mobilité calculée à partir des relevés des parcelles expérimentales

Chap. III. Eléments d'explication du phénomène ensablement :

-un réseau hydro dense et important,

-importantes crues ; Bassin versant de Béni Ounif et Bassin de Béchar,

-présence de grès dans les séries lithostratigraphique,

-facteurs climatiques : Précipitation et Températures.

Chap. IV. Dynamique éolienne et déplacement des sables.

-agent principal : le régime des vents d'après les données disponibles des stations anémométriques ; Béchar et Aïn Sefra.

-Traitement fréquentiels des vents.

-Déplacement potentiel des sables « DPS ».

-Synthèse et discussion.

Conclusion générale.

5. Recherche cartographique :

En référence aux jeux de cartes topographiques au 1/50.000°, 1/100.000°, 1/200.000°, 1/500.000° et aux cartes géologiques au 1/50.000°, 1/100.000° et 1/500.000°, nous résumons ci-après les différentes cartes revues suivant leurs échelles et références ;

- Carte topographique de Béchar au 1/500.000° (sahara), feuille NH-30-NE.
- Carte topographique de Bechar au 1/100.000°, feuille NH-30-XXII-4 et P^{le}. NI-30-IV-2.
- Carte topographique de Benzireg au 1/100.000°, feuille NH-30-XIII-3 et P^{le}. NI-30-V-1.
- Carte topographique de Djenien-Bourezg au 1/100.000°, feuille E-14.
- Carte topographique du Révoil Béni-Ounif au 1/100.000°, feuille E-15.
- Carte topographique du Révoil Béni-Ounif au 1/50.000°, feuille n°725.
- Carte géologique de Béchar au 1/500.000° (feuille Hamada de Guir).
- Carte géologique des massifs carbonifères des confins algéro-marocains du sud, au 1/200.000°, par Claude Pareyn.
- Carte géologique de Benzireg (Anticlinale de Benzireg), au 1/50.000°.
- Carte géologique de Djenien Bourezg au 1/100.000°, feuille E-14.
- Carte géologique au 1/100.000° de Béni-Ounif, feuille E-15.

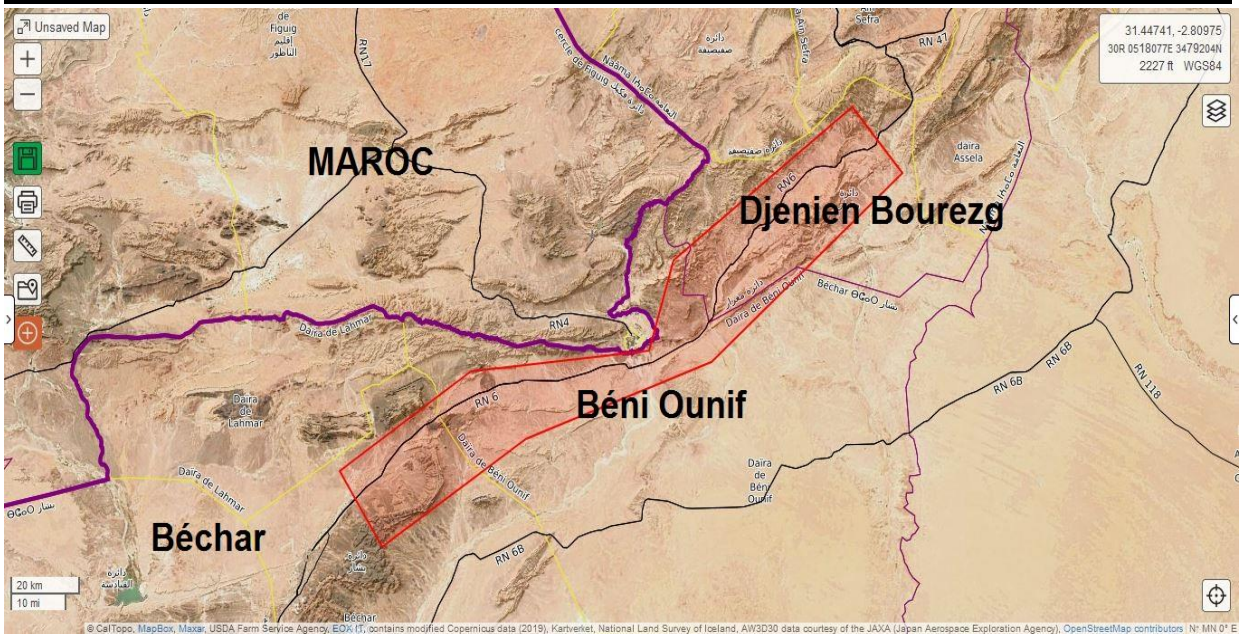
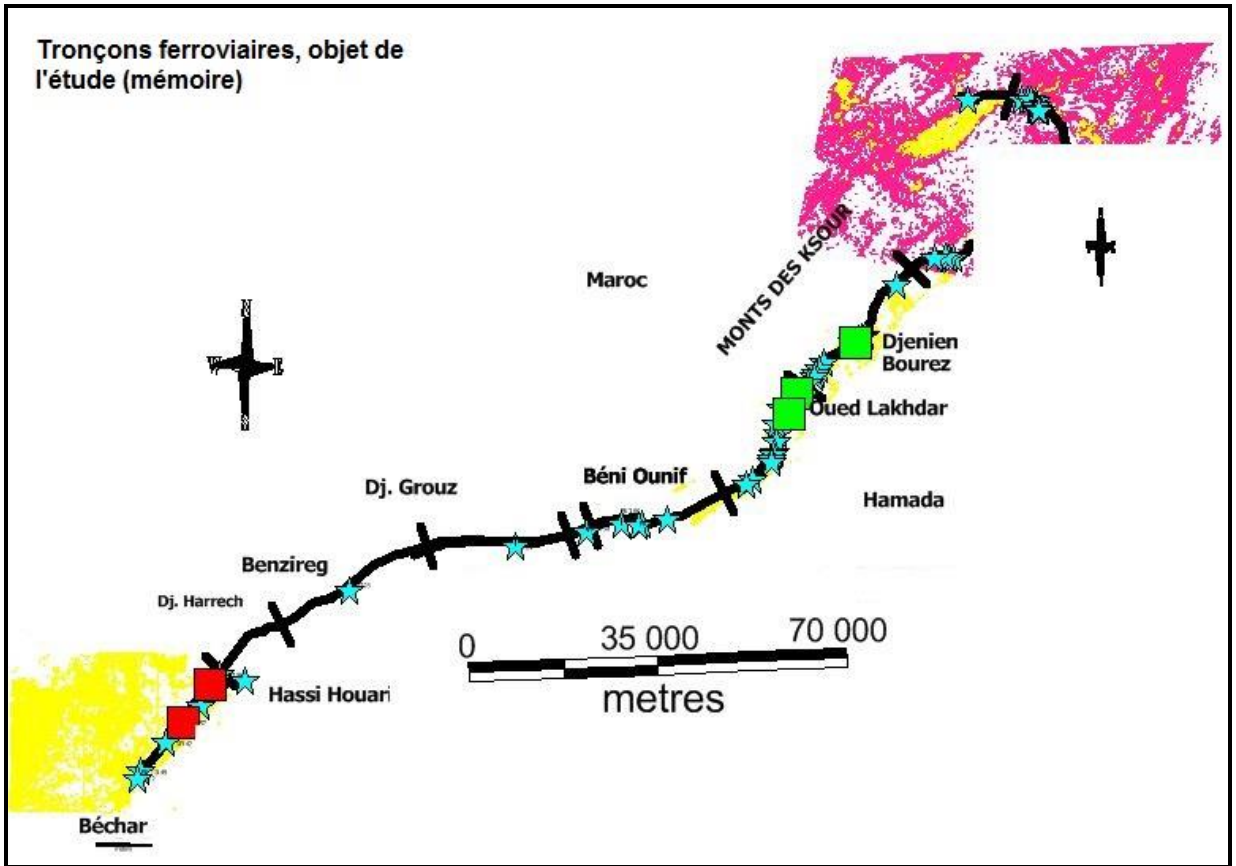


Fig.1 : Esquisse montrant les tronçons ferroviaires, objet de la zone d'étude.

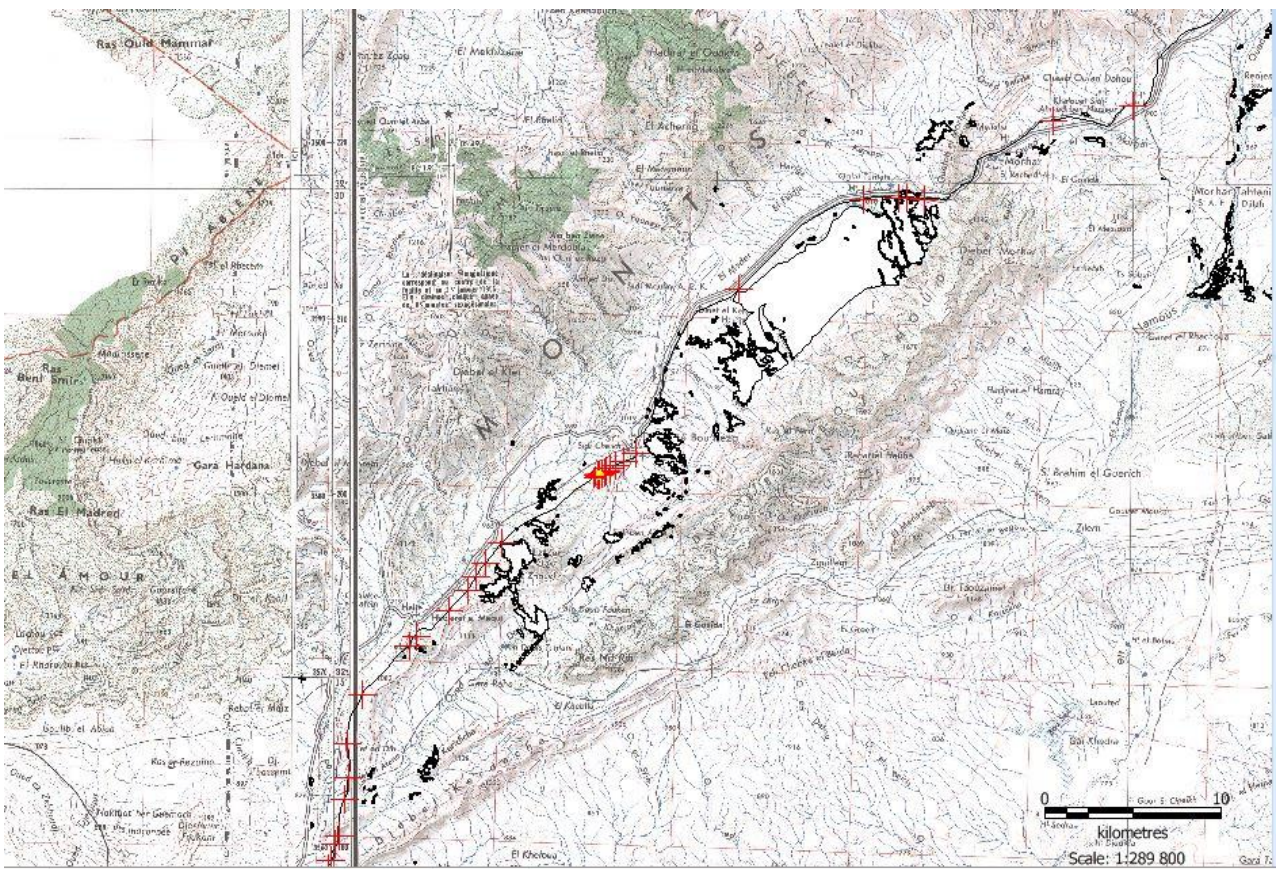
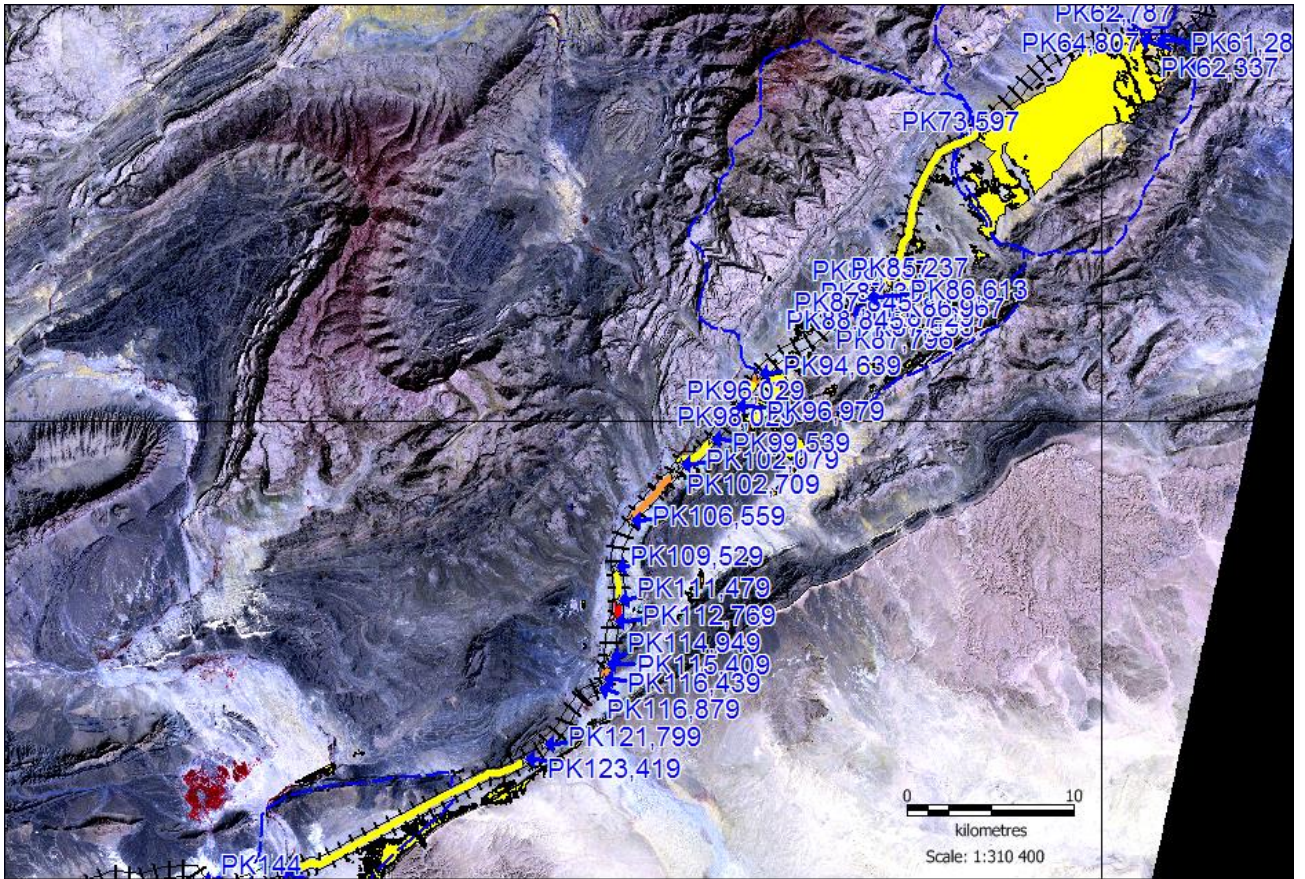


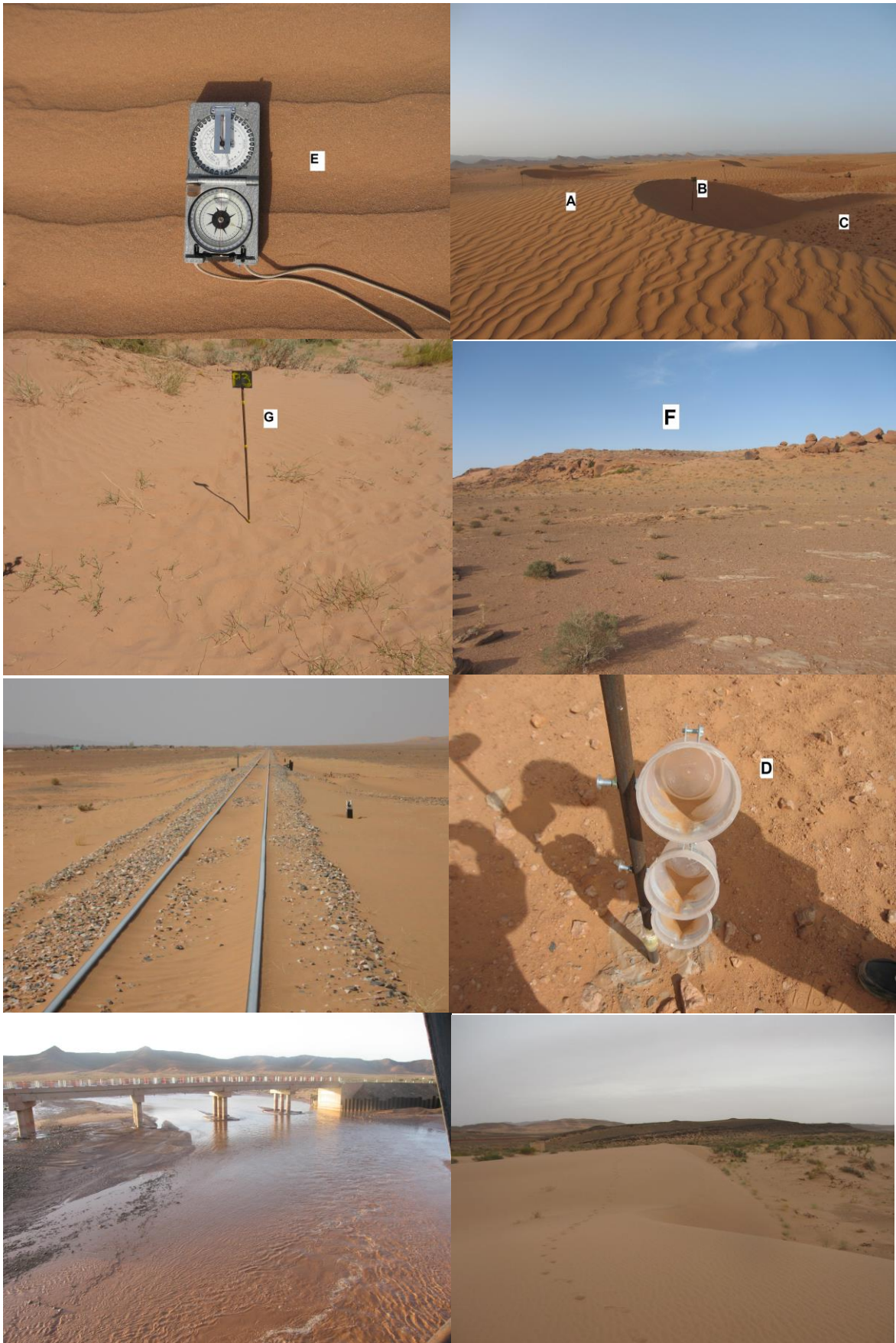
Fig.2 : Esquisse montrant le couloir orographique Sud-Ouest Nord-Est. (Image Land SAT traitée).



Photos. 1 :

Désensablement de la VF (voie ferrée), par les moyens mécaniques et pelles rudimentaires,

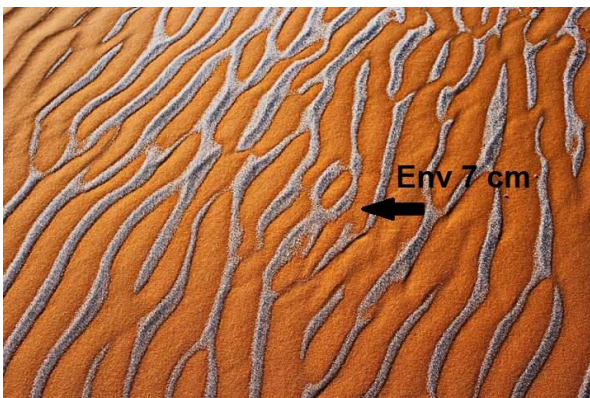
Déraillement du train CORADIA causé par l'ensablement des rails...à imaginer le risque d'un accident mortel dont les conséquences sont incalculables et déplorables.



Photos 2 : (A, B, C) Barkhanes de Hassi Houari, (D) piège à sable, (E) rides de sables, (F) Grès (G) Piquet géoréférencé, le reste ; voie ferrée ensablée, décrue d'Oued Lakhdar, Cordon dunaire.



Ph. 3 : A gauche avec Callot YANN, de l'université Lyon II, à droite Y. callot et Eric Delaitre, IRD, Terrain parcouru à Hassi Houari, le banc calcaire photographié par les deux personnes est du Sénonien qui est discordant sur le Cénomano-Turonien ; ici l'attention est attirée sur un phénomène ; une sorte de cannelures, ou griffes, ou stries marquées par la corrosion du sable.



Ph. 4 :

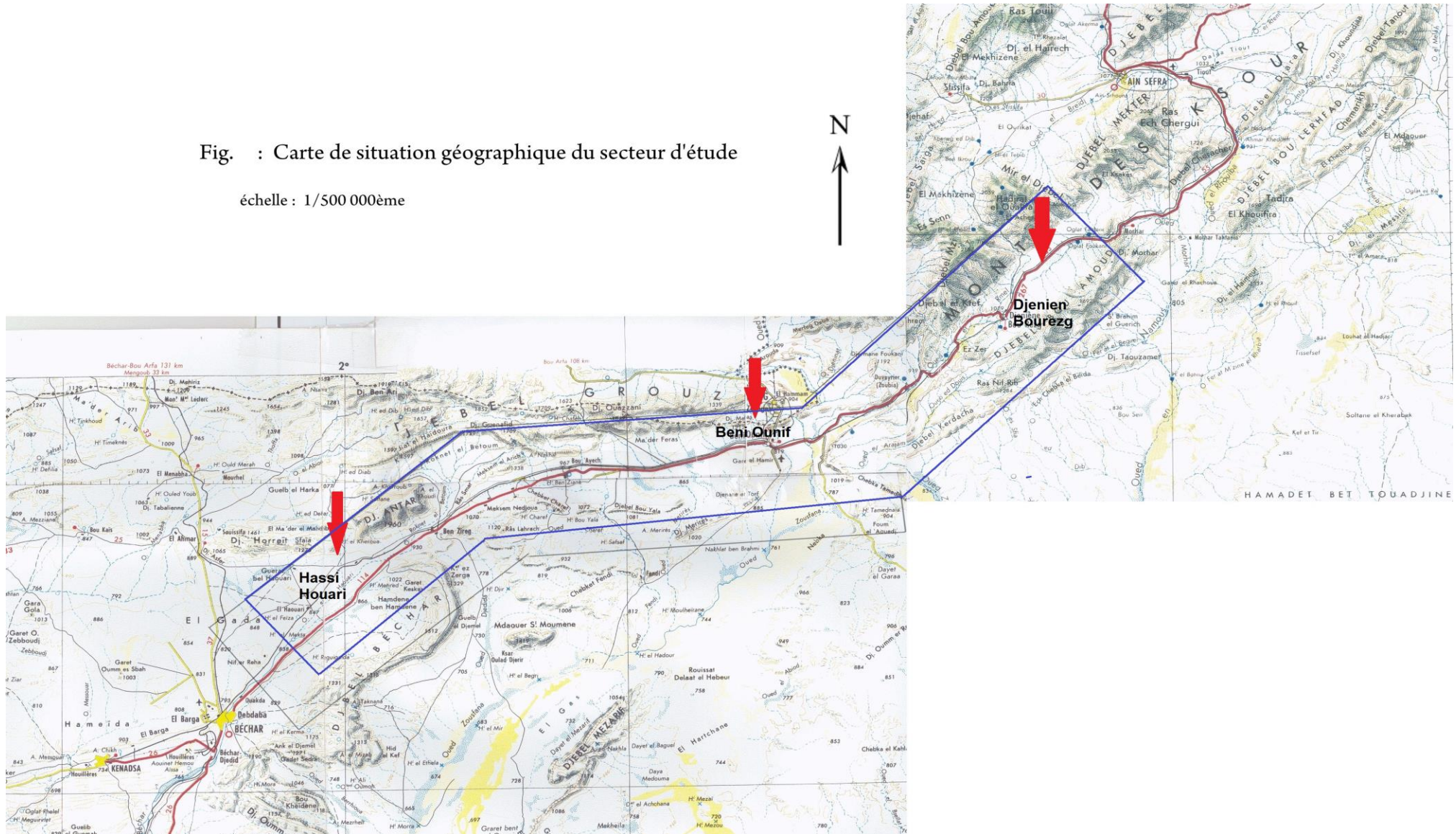
A gauche : paysage rarissime à Béchar, mariage des rides de sable, ou *ripple marks* avec la neige...les rides longitudinales asymétriques sculptées par le vent sont nettement redessinées par la neige.

A droite, de même, les Barkhanes sont fixées et recouvertes en chapeau de neige.



Fig. : Carte de situation géographique du secteur d'étude

échelle : 1/500 000ème



*Chapitre I :***CADRE PHYSIQUE GENERALE DE LA REGION ETUDIEE :****INTRODUCTION :**

Après avoir situé géographiquement notre région d'étude dans l'introduction générale, en précisant les tronçons linéaires de la voie ferrée à risque d'ensablement, partant de Djenien- Bourezg jusqu'à Hassi Houari, passant par Béni Ounif. Ce premier chapitre est consacré d'une part à la description du contexte topographique de la région d'étude à partir des différents jeux de cartes callées dans un système d'information géographique, SIG, (Cf. **méthodologie, introduction générale**), ainsi qu'une description sommaire de la géologie de la région étudiée, sa position dans le contexte des monts des Ksour et l'Atlas saharien en général. En Outre, une mise au point sera consacrée sur la lithostratigraphie qui a, en fait, un rapport direct avec ce que nous appellerons les sources potentielles de sable, ou stocks de sable, d'autant plus l'aspect relief qui agit comme canalisateur des vents. (Cf. **Fig. 3 et Fig. 4**). Ce dernier sera abordé en détail dans le chapitre IV, il en est de même pour l'agent de l'eau ; contexte hydrographique et hydrologique.

1. Contexte topographique :**1.1. Les chaînons :**

Nous avons pu sélectionner les chaînons les plus rapprochés de la région d'étude, à savoir ; Le Djebel Maiz dont le sommet est à 1915 m à l'ouest de Teniet Menassa, et qui s'élève à 1802 mètres à l'est de celui-ci, constitue la terminaison orientale d'un puissant ensemble situé dans le Maroc oriental, le long de 75 kilomètres, formé du Djebel Ghals (Djebel El Touatf, 1840m), Djebel Tastert (1717m), Djebel Araitha (1971m).

La terminaison orientale du Djebel Grouz constitue un ensemble qui se développe d'ouest en est sur près de 100 Kilomètres au Djebel Ben Aris, à 1710 m à Djarfi, à 1834 m au Djebel Ouazzani, à 1633 m à El Oukaz. Le Djebel El Hameur constitue le dernier chaînon oriental.

De ce puissant ensemble, se détache vers l'est de petits chaînons bien individualisés : Djebel Melies (1212 m), Zenaga nord-ouest (958m), Zenaga (1052 m), Tarhla (1101 m) au Maroc oriental, Djebel Sidi Youcef (1067 m), Djebel El haimer (998), Djermane Tahtani (1134 m), qui se raccordent plus à l'est avec la masse principale des monts des ksour. **La voie ferrée, à l'est, jalonnent ce relai de chaînons dont la plupart des cours d'eau se jettent vers le sud en traversant les dalots de voie ferrée. (Fig. 3).**

Au sud de Djebel Grouz avec des altitudes de 900-1419m d'orientation ENE-WSW, sont tracés les reliefs de Benzireg, Chbket Fendi, Dj. Mézarif et Mdaouer Sidi Moumen. Au sud-ouest s'élève une chaîne carbonifère formée du Djebel Antar (1960 m) et du Djebel Horreit (1461 m). Au sud du Djebel Antar s'élève le Djebel Béchar (1500 m), et une autre montagne carbonifère de direction N-S. (Fig. 3, Fig.4 et Fig. 5).

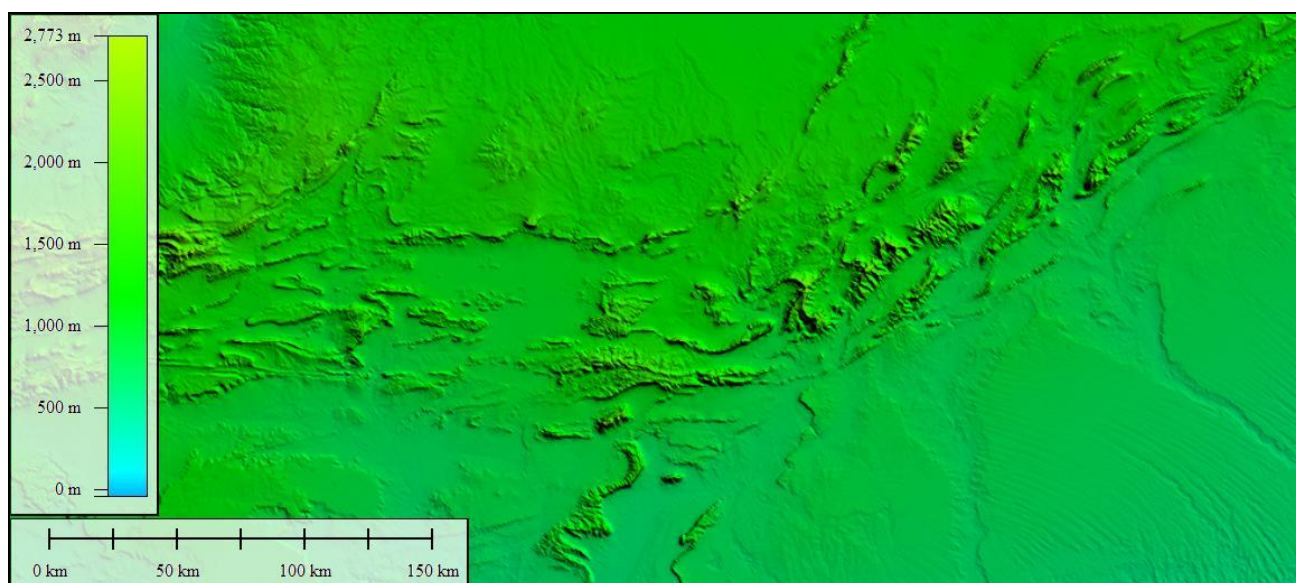


Fig. 4 Carte hypsométrique de la région d'étude.

1.2. Les dépressions :

La plupart des chaînons sont entourés par des dépressions creusés dans les marnes, les calcaires marneux et argiles, on y distingue ;

La double dépression de Djenieen Bourezg, séparant l'ensemble montagneux Djebel Mzi-Mir au nord-ouest du Djebel Amoud au sud -est, s'allonge depuis la halte de Hadjeret El Meguil au sud-ouest jusqu'au pied d'El Keskes au nord. **La voie ferrée débouche dans cette cuvette à la sorties Ouest de la gorge de Moghrar (Cf. Fig.3).** Cette dépression se subdivise en deux parties ;

- Entre Hadjer el Meguil et Djenien Bourez, une petite cuvette longue 13 kilomètres et large de 3km ou plus, dont l'altitude est inférieure à 1000 m.

- De Djenien à El Ksakes, avec une pente au sud-ouest entre Ez Zer et Sidi Ben Aissa, une cuvette plus importante de 32 kilomètres de long sur 7 de large au plus, située entièrement à plus de 1000 m, sauf dans l'Oued El Kerkour vers l'entrée de la gorge de Moghrar (plaine de la Feidja).

Entre les deux cuvettes, se situe le chaînon d'Ez Zer, qui s'abaisse de 1347 m à 1000 m, relayé par le chaînon de l'Aïn Zouaye (1050 m) prolongé vers le nord par le secteur volcanique du Zerga de Djenien Bourezg, **entre ces deux chaînons la voie ferrée franchisse un seuil étroit avec rupture locale de pente.**

- La vallée de l'Oued El Halouf ceinturant à l'est le Djbel Maiz, puis la terminaison du Djebel Grouz.

- La vallée de l'Oued Es Serdj, affluent de l'Oued El Halouf, au nord-est du Djebel Maiz, et ces environs : El Soltana (1261m), Rokna El Kahla (1233m).

- La dépression relative située au sud du Djebel Beni Smir : El Arouda, Oued Zeboudj, Oued Djeninat, Tbasement.
- La grande dépression de l'Oued Ich au Maroc oriental, très complexe dans le détail, qui sépare le Djebel Amour (Djebel Soffah, Djebel Abiene, Djebel Beni Smir), du Djebel Mzi. Cette dépression se développe entre 1020 et 1200 m, puis poursuit jusqu'au pied des grands massifs. Le Djebel El Mahrem (1400m) forme un seuil le séparant de la précédente.
- les Monts des Ksour qui présentent une vaste dépression légèrement inclinée, d'altitude se rabaisant du nord au sud de 900 à 700m. Au sud, la vallée d'Oued Namous et la hamada de Betouadjine qui s'étend vers le sud -est.

1.3. Récapitulation et localisation :

La zone d'étude Djenien Bourezg - Béni Ounif est une zone montagneuse fermée au nord-est (Djenien Bou Rezg) et plus ouverts au sud et au sud-ouest (Béni Ounif). Sorte d'un grand col dans lequel s'effectue une confluence d'oueds se rattachant à la Zouzfana. En fait, c'est la zone amont de son bassin versant. Elle est bordée par des chaînes de montagnes appartenant aux Monts des Ksour occidentaux de direction prédominante sud-ouest nord-est, formant une barrière qui se dresse au droit vers la Hamada de Bet-Touadjine, dont les principaux Djebels sont ; Djebel Mzi (2187m) et Mir El Djebel (2059m), Dj. Bou Amoud (1692m), Dj. Kerdacha (1325m), Dj. Djermane Tahtani (1132m), Dj. Djermane Foukani (1192m) et Dj. Grouz (1709m)..., (Cf. fig. 03).

Djenien Bourezg est une vallée entre deux chaînes montagneuses : au nord, Djebel M'Zi (2187m) de direction NNE-SSW et au sud vers l'extrémité ouest du Djebel Bou Amoud (1692m) de direction WSW-ENE qui se continue vers l'ouest par Djebel Kerdacha (1325m) de direction WSW-ENE. Ces chaînes de montagnes représentent un espace parcouru par un réseau hydrographique assez important formant de grands bassins hydrologiques, à savoir Oued Zoubia, Oued Er Rmel, Oued Duis, Oued Zouzfana,...

Ils empruntent le couloir orographique pour aller se jeter ensuite dans le sud vers l'erg occidental, d'où la quantité d'alluvions charriée qui sera par la suite reprise par les vents, ce d'autant plus facilement que c'est un domaine aride (absence ou rareté de la végétation naturelle qui se cantonne sur les berges des oueds).

La plaine de Béni Ounif est une large vallée (dépression) ouverte vers le sud, de 825-860 m d'altitude et largement drainée. Au nord, elle est bordée par Dj el Hainem (moins massif que les djebels de Djenien Bourezg de 1405 m d'altitude), orienté presque ouest-est. C'est une zone de confluence de plusieurs oueds qui se réunissent pour former le grand oued Zouzfana qui coule vers le sud, vers le Grand Erg occidental. (Cf. fig. 03).

2. Contexte géologique :

2.1. A l'échelle de l'Atlas saharien :

L'Atlas saharien constitue un édifice plissé atlasique représenté par un grand alignement structural (Mekahli, 1998). Il correspond à une chaîne intracratonique plissée, affectée par une tectonique superposée (Douihassni, 1976). Caractérisé par des plis coffrés de style « jurassien » qui s'alignent en chenilles processionnaires (Flamand, 1911). Il s'étend sur plus de 1000 kilomètres depuis la terminaison orientale du haut Atlas marocain jusqu'à la bordure occidentale des Aurès (Mekahli, 1998), leur limite méridionale est marquée par un ensemble juxtaposé d'accidents qui constituent « la flexure sud-atlasique » (Laffitte, 1939). L'Atlas saharien est subdivisé en trois faisceaux de plis : les Monts des Oulad Naïl (Atlas saharien oriental), le Djebel Amour (Atlas saharien central) et les Monts des Ksour (Atlas saharien occidental) d'après (Ritter, 1901). C'est dans ce dernier faisceau que porte notre étude.

Kazi-Tani (1986) proposa deux subdivisions : l'une longitudinale (NE-SW) et l'autre transversale (N-S) :

-Dans la première subdivision longitudinale, deux zones sont distinguées : une zone préatlasique formée de chaînons bordiers au Nord (Antar-Guttaï, les Monts de Nador de

Tiaret et les Monts de Chellala), et au Sud par (Djebel Aïssa, Suiga-Mellah, région d'Aïn Sefra jusqu'au Djebel Chebeibita de Zahrez). L'autre zone est comprise entre l'alignement Aïssa-Chebeibita et celui de Bou Amoud-Zerga d'Aïn Rich.

-Transversalement, il donne deux compartiments, l'un méridional (SW) où dominent les affleurements jurassiques et l'autre septentrional (NE) à terrains crétacés.

Sur le plan lithostratigraphique les Monts des Ksour comportent d'une manière générale d'après les travaux de (Bassoulet, 1973 ; Delfaud, 1973 ; Kazi-Tani, 1986 ; Delfaud et *all.*, 1987 ; Aït Ouali, 1991) :

-Le trias n'affleure qu'à la faveur des diapirs.

-Le Lias est carbonaté puis marneux de 400m en moyenne à l'affleurement.

- Le Jurassique moyen et supérieur est dominé par l'installation progressive du complexe deltaïque des Ksour (Delfaud, 1973).

-Des épisodes carbonatés, à tendance récifale ou oolithique, situés respectivement au Bajocien supérieur, au passage Oxfordien-Kimméridgien, et au Porthlandien supérieur-Berriasien.

-Le Crétacé inférieur correspond à environ 600m de grès grossiers fluviaux.

-Le Crétacé supérieur est représenté par 300 à 500m de marnes plus au moins gypseuses et calcaires cénomano-turonien.

-Les dépôts post-Turonien (Sénonien à Quaternaire) sont mal datés et représentés par des séries continentales conglomératiques (molasses) localisées sur les flancs des structures et en bordure sud-atlasique où elles peuvent atteindre 500 à 1000m (Ziouit, 2012).

2.2. A l'échelle des Monts des Ksour :

Les caractéristiques du relief des Monts des Ksour, **son orientation et sa rugosité jouent un rôle primordial dans la distribution des vents et par conséquent influent directement au phénomène de migration du sable**. Ces Monts sont limités au sud par la flexure atlasique orientée NE – SW, l'ensemble dessine une légère inflexion dont le centre se trouve dans la région de Béni Ounif (Salhi, 2002). Dans les Monts des Ksour les affleurements essentiellement jurassiques, forment des structures anticlinales longues et étroites, séparés par de larges synclinaux où **les affleurements gréseux du Crétacé constituent des sources potentielles de matériau éolien (sable)**. Ces alignements morpho-tectoniques sont l'expression en surface d'accidents profonds de la chaîne, et traduisent également des failles inverses et de chevauchements (Chaouche *et al.*, 2001).

On peut même avancer l'hypothèse sur le fait que, la flexure sud-atlasique qui dessine un ensemble juxtaposé, en relai de failles, laisse apparaître des zones fragiles telles que les satellites de failles, zones d'arrachements et de cisaillements, glyptogéniques, brèches de failles ...le tout favorise le travail de l'érosion hydrique et éolienne, et par conséquent rapporte un important stock de sable, après altération mécanique, désagrégation et transport. (Fig. 5).

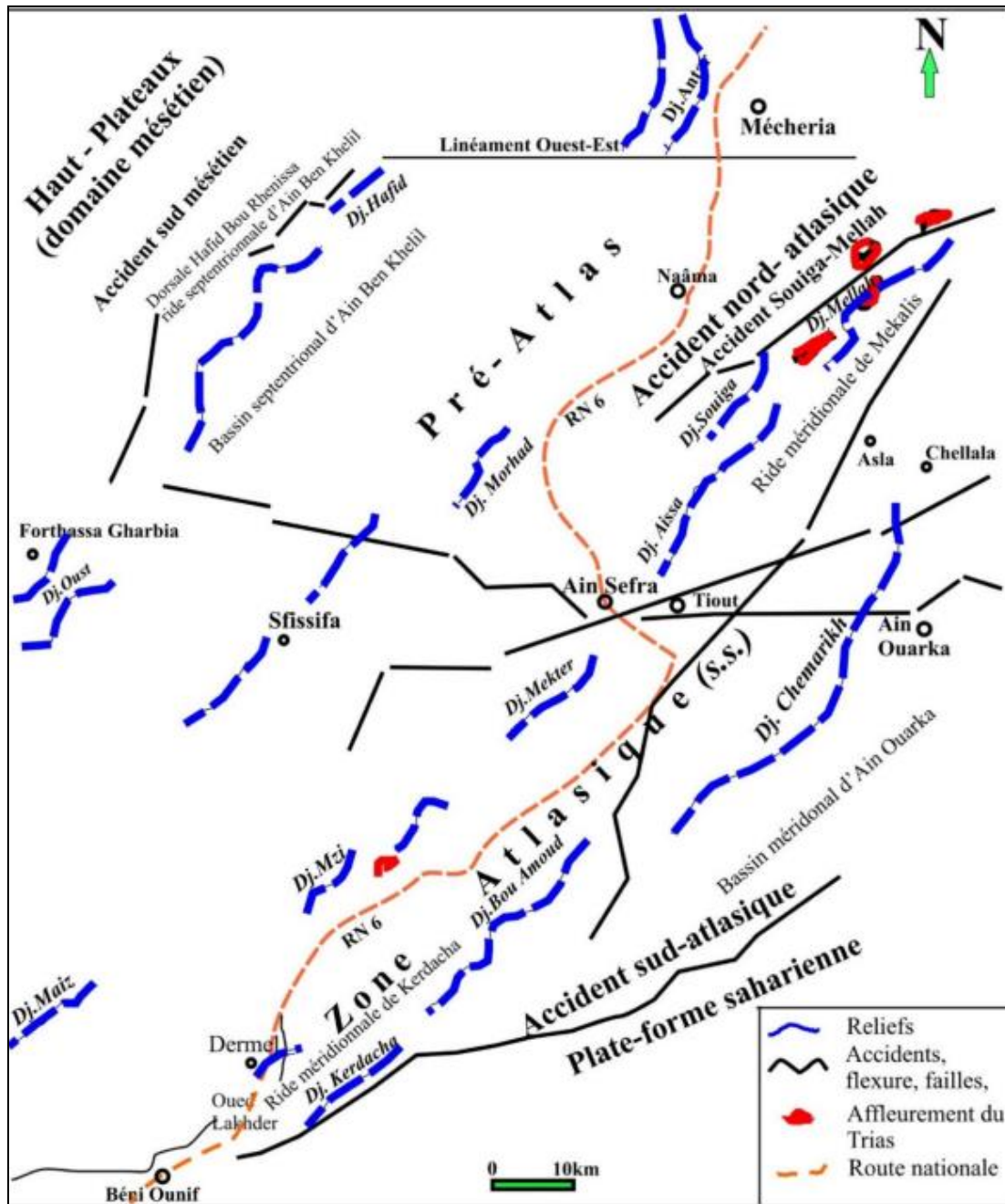


Fig. 5 Réseau de fracturation et continuité des accidents cassants (Yelles-Chaouche et al., 1985).

2.3. A l'échelle de la région d'étude :

Pour plonger au vif du sujet et éviter toute redondance possible, nous tenterons dès l'ore, à travers la lithostratigraphie, non celle de l'Atlas ou les monts des Ksour tout entier, mais d'une manière plus restreinte, **au niveau des affleurements susceptibles de produire le sable et le mettre à la disposition des facteurs de la géodynamique externe**. Les Monts des Ksour se distinguent du reste de l'Atlas Saharien par les termes de la série stratigraphique qui y sont plus anciens et de caractère plus continental et lagunaire. (Mansour et all., 2001). Elle comprend de bas en haut (Fig.6 et 7) :

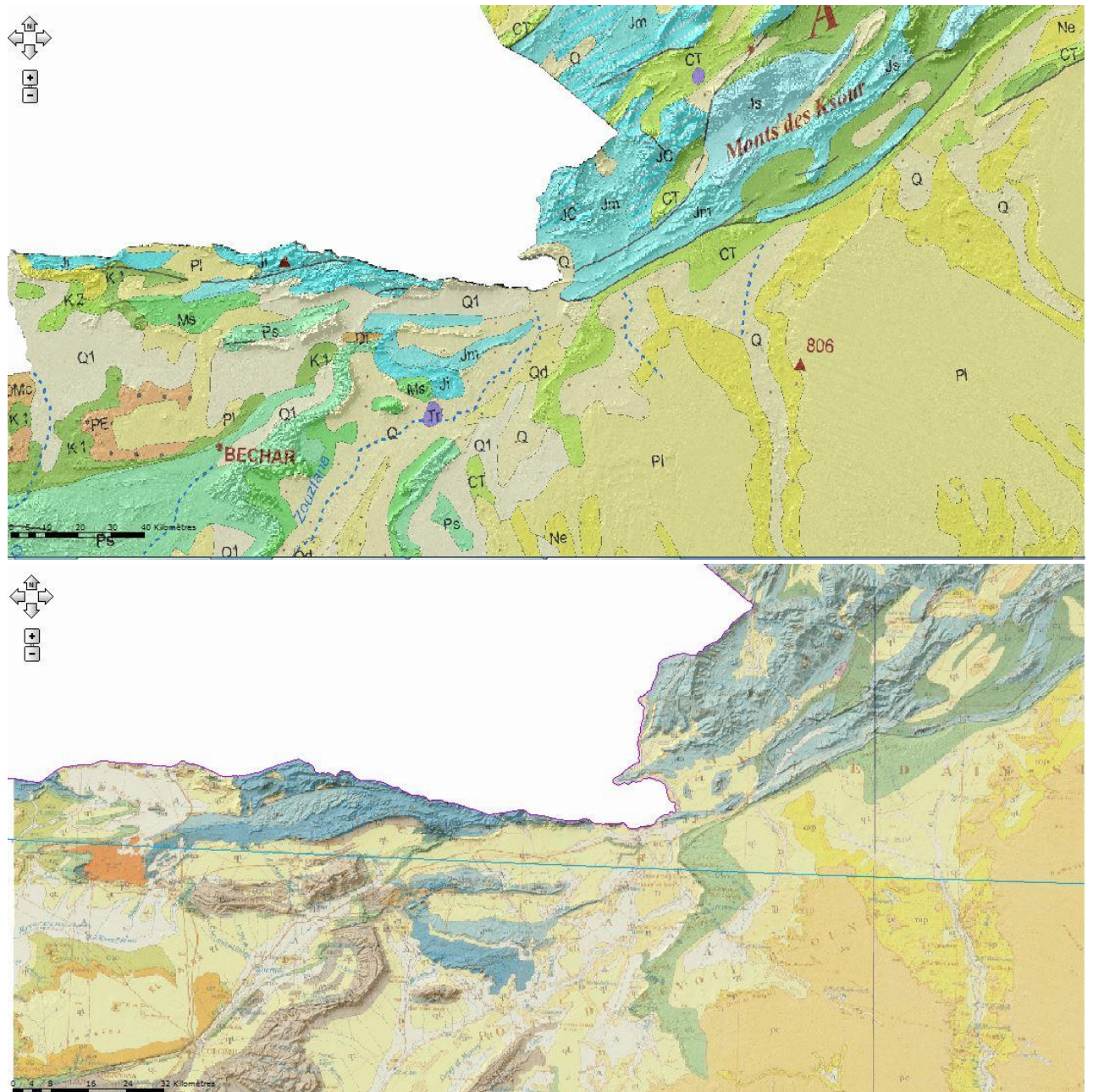


Fig. 6 extrait de la carte géologique 2100000^e, encadrant le contexte général de la région étudiée ; stocks de sables privilégiés par le quaternaire et le grès du crétaé.

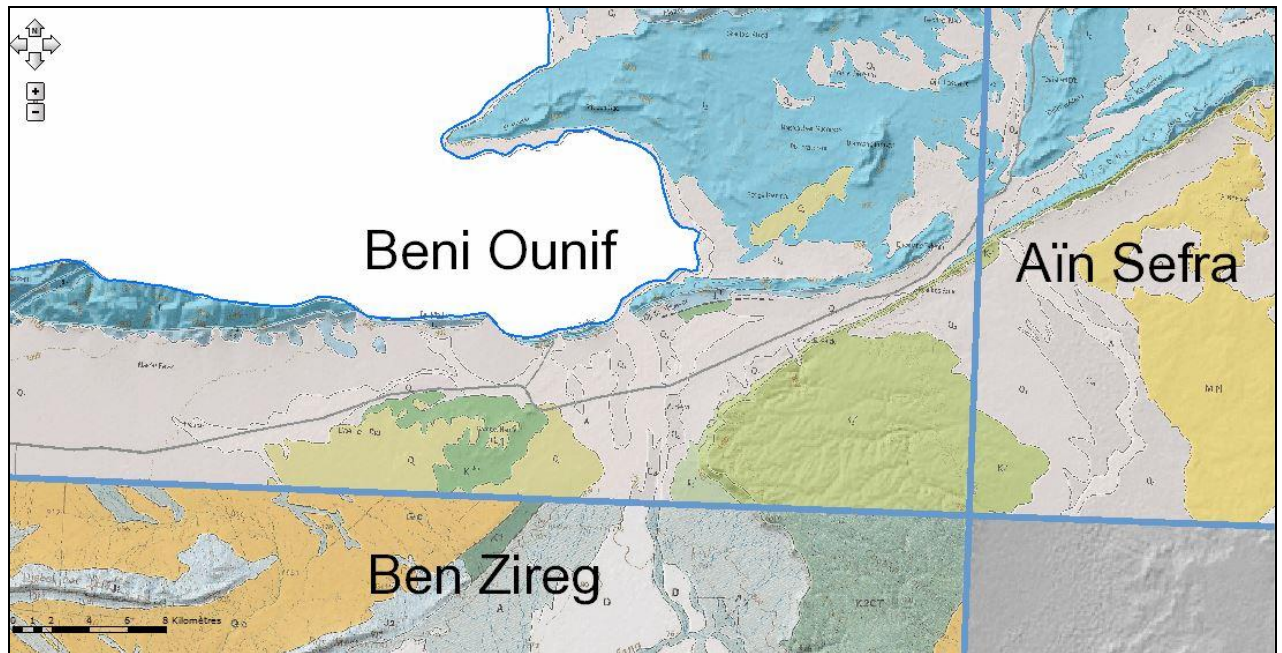


Fig. 7 Extrait de jeu de cartes géologiques 1/1200 000

2.3.1. Lithostratigraphie et rapport avec les sources potentielles de sable :

2.3.1.1. Le Permo Trias :

Il s'agit essentiellement de l'affleurement de Djenien Bourezg, qui borde la voie ferrée. Discordant sur les terrains Primaires, il est représenté essentiellement par des arkoses, des conglomérats ou des marnes à gypses, des argiles versicolores avec présence de sel gemme et d'autres produits d'épanchement dites roches vertes, **Il n'a pas été démontré dans le monde selon la bibliographie concertée, que ce faciès permo-triasique est source de sable.**

2.3.1.2. Le Lias :

Principalement carbonaté, la série sédimentaire du Lias présente selon [J.P. Bassoulet \(1973\)](#), en raison des caractères lithologiques 03 faciès fondamentaux (série calcaire et calcaire-marneuse, série des calcaires dolomitiques et série de transition). **Le Lias peut fournir un stock sableux, notamment en faveur des phénomènes de décarbonations, de gélifraction, de thermoclastie, désagrégation mécanique...**

2.3.1.3. Le Dogger :

Alternance de calcaire dolomitique, de gré à stratifications entrecroisés, attribués au Bajocien supérieur – Bathonien inférieur. **Il y a possibilité de donner des stocks de sable.**

2.3.1.4. Le Jurassique supérieur-Crétacé inférieur :

Il s'agit d'un Complexe Continental en grande partie gréseux, dont les limites stratigraphiques varient d'une région à l'autre et qui correspond au Continental Intercalaire. Ces grés disparaissent en biseau à l'ouest et au sud-ouest de Béni Ounif. Vers l'est, ils s'enfoncent sous le Crétacé moyen (Cénomano-Turonien) qui affleure à 10 km sur

la rive gauche de la large vallée de la Zouzfana et se prolonge sur la Hamada puis sous le grand erg occidental (Mansour et al., 2001). **La susceptibilité des formations gréseuses notamment, à fournir des sources potentielles de sable n'est pas à écarter.**

2.3.1.5. Le Barremo-Albo-Aptien :

Grès à dragées de quartz du crétacé inférieur, (Douihasni, 1976) ; **on peut supposer un stock important de sable qui pourrait être véhiculé soit par l'eau, pratiquement par le biais des oueds locaux et ceux venant du Maroc, soit par érosion éolienne, ou encore les deux couplés. Cette synoptique est constatée, le fait que des chainons gréseux d'envergure très considérable ; à titre d'exemple Djebel Maiz (Maroc), qui constitue la source d'Oued Zouzfana, Garet El Hamir de Béni Ounif, les gorges de Moghrar qui se prolongent vers Djebel Founassa Nord-Ouest, et au-delà au Maroc, l'ensemble de cette immense série gréseuse est entaillé par des oueds, d'où la susceptibilité d'un tel stock de sable.**

2.3.1.6. Le Cénomano Turonien :

Ces formations de Crétacé supérieur constituent une bande presque continue qui s'étend depuis El Labiodh Sidi Cheikh jusqu'aux confins de Béni Ounif. Ils présentent la particularité de former les affleurements des synclinaux perchés de la partie centrale des monts des Ksour. **Ne donne pas des stocks de sable.**

Cet ensemble bien dégagé par l'érosion est souvent recouvert de colluvions et d'éboulis plus au moins encroutés, notamment à la proximité de Béni-Ounif ; Chebket Tamadnaya.

Cette dernière présente un plaquage sableux bien marqué sur le flanc Ouest de cette barre, ce qui peut être expliqué par l'immigration du sable qui s'effectue essentiellement de l'ouest vers l'est, car nous n'avons distingué sur le terrain aucun placage sableux sur les flancs est et ce, ni dans cette barre Cénomano-Turonienne, ni dans d'autres reliefs voisins.

2.3.1.7. Formations continentales post Turoniennes :

Elles sont constituées par les dépôts continentaux, détritiques ou lagunaires attribués au Cénozoïque et au Quaternaire, comblant généralement les dépressions, **pourrait libérer des stocks de sable.**

2.3.1.8. Le Quaternaire :

Représenté essentiellement par des alluvions épousant les lits des oueds **et y sont constitués d'important stock de sables** (Oued Mélias, Oued Zoubia, O. R'mel, O. Halouf, O. Sidi Aissad...). (Cf. fig. 5).

2.3.2. Quelques structures gréseuses (synclinaux) :

2.3.2.1. Synclinal de Moghrar - Sidi Brahim :

La région de Moghrar – Sidi Brahim se rapporte à un synclinal elliptique fermé typique un peu allongé de direction sud-ouest nord-est à fond plat, affectant le crétacé inférieur et l'Albien. (Fig. 8 et 9) Le centre de la cuvette est traversé par l'Oued Namous, bordé par

des rides jurassiques qui sont des anticlinaux gréseux allongés d'une orientation sud-ouest - nord est. (Mansour, 2001).

Il s'agit, en fait, d'un véritable couloir orographique qui pourrait favoriser le passage des vents, là, les formations gréseuses une fois ventilées, notamment les niveaux friables sont exposés à l'air libre et vulnérable à l'érosion éolienne. Ce dernier cède la place au travail de l'eau qui prend le relais et transporte les stocks de sable par le biais des crues.

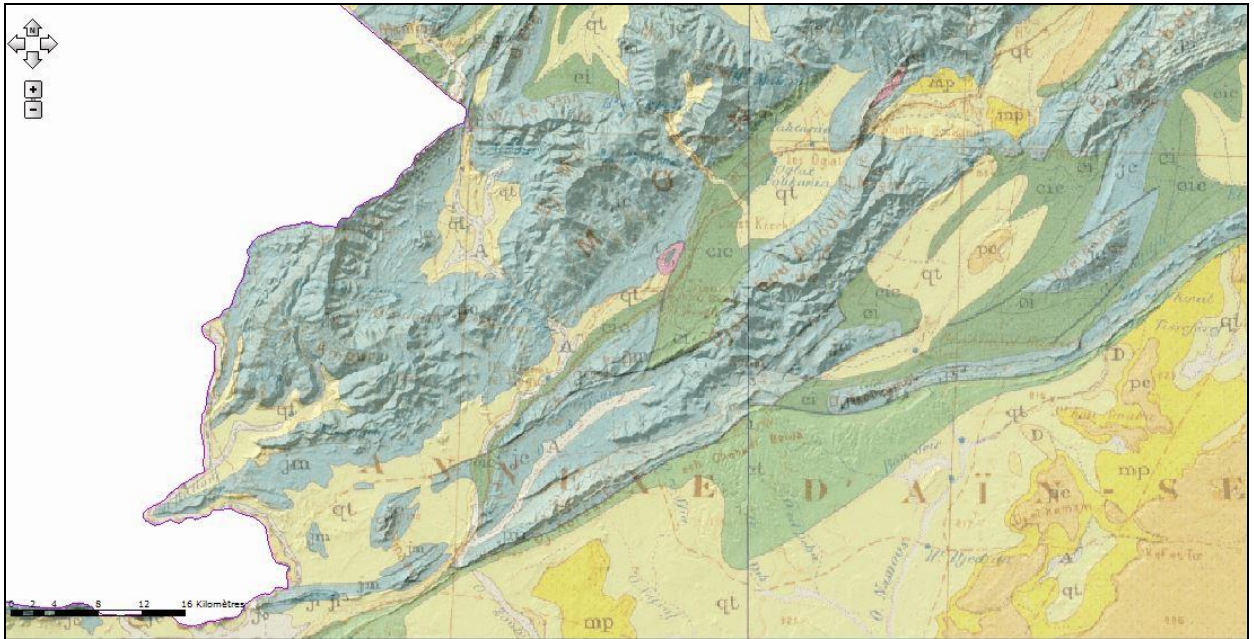


Fig. 8 Couloir orographique essentiellement jurassique-Crétacé, carte 200.000^e.

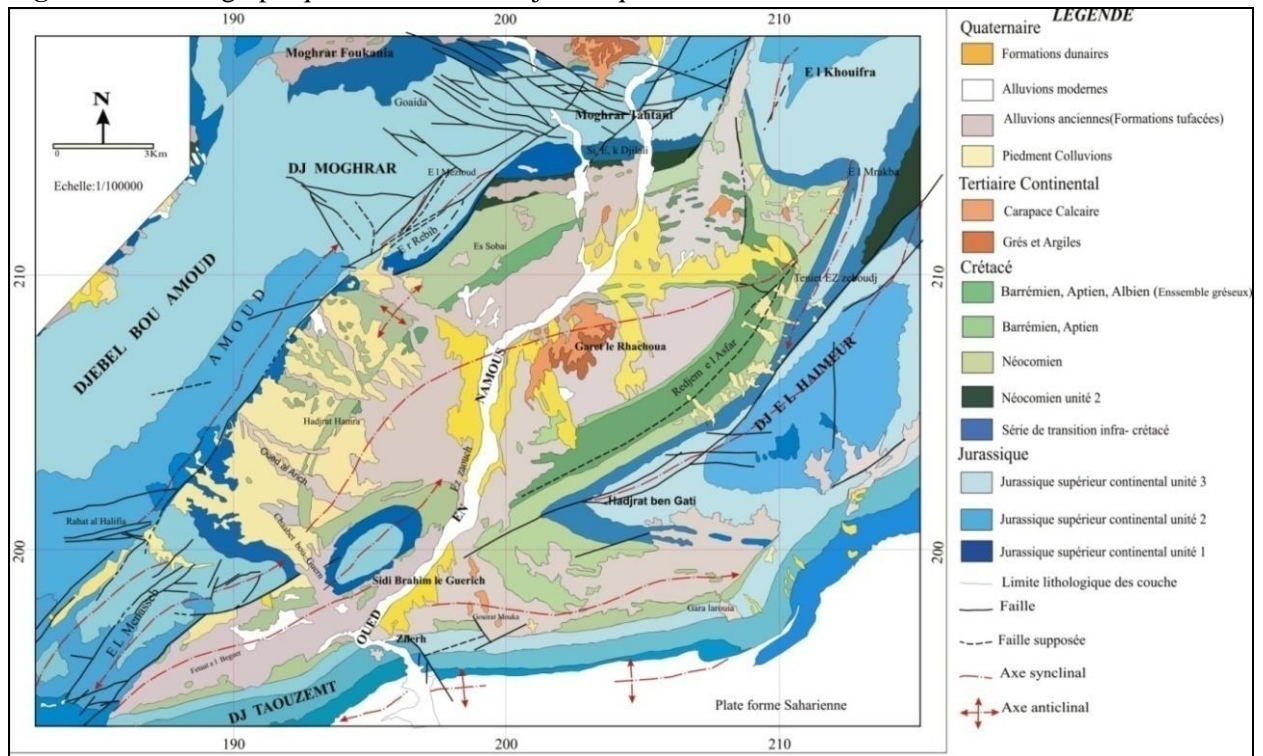


Fig. 9 - Synclinal de Moghrar – Sidi brahim (GALMIER, 1970).

2.3.2.2. Gouttières synclinales de Djenien Bou Rezk : (fig. 6)

La Trias affleure, essentiellement constitué d'une sédimentation silico-clastique associée à des volcanites basiques, apparaissant en boutonnière au sein de la dépression de Djenien Bou Rezk. (Cf. Fig. 10).

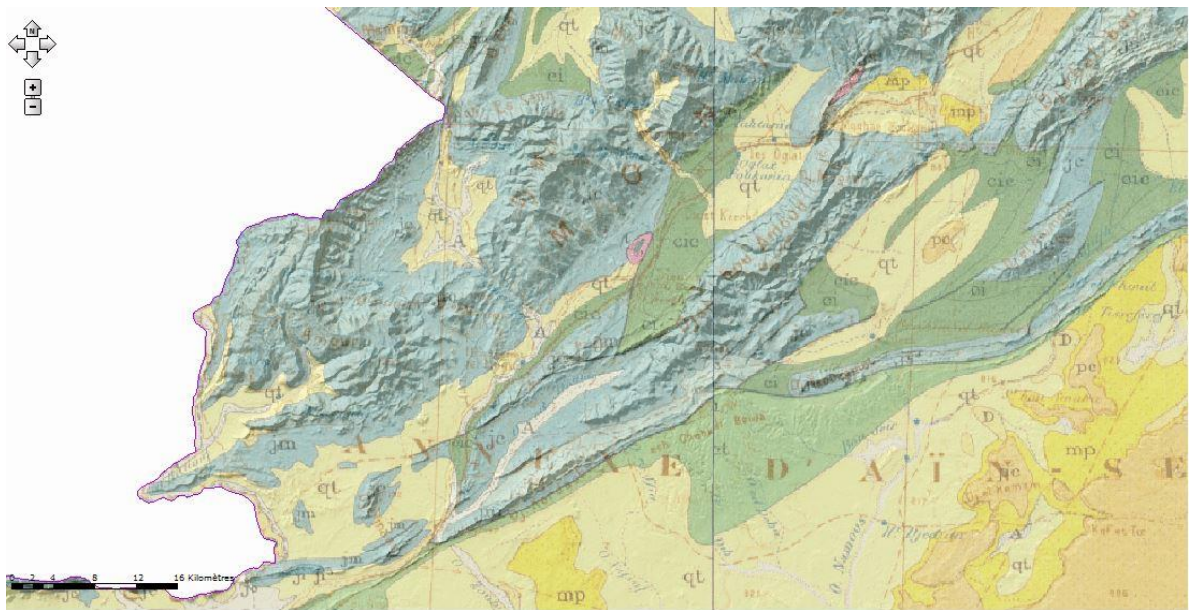
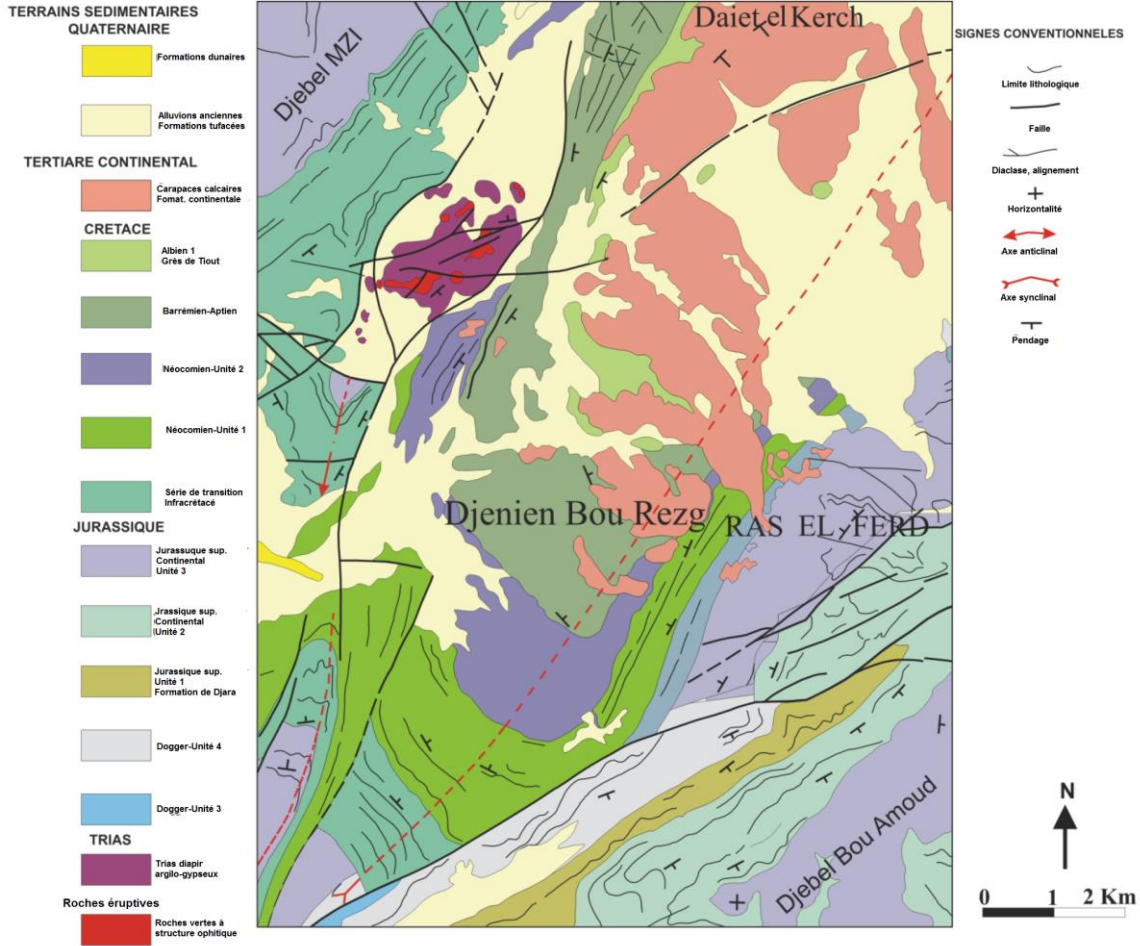


Fig. 10 Carte géologique ; synclinales de Djenien Bou Rezk (GALMIER, 1970).

2.3.2.3. Synclinal de Hadjerat Meguil :

Occupe tout le haut bassin versant de l'oued Dermel et constitue un synclinal tranquille affectant le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur. Il est bordé sur son revers sud par la grande faille du Djebel Bou Amoud et à l'Est par la faille injectée du Trias du Djebej Zerga, qui le sépare de la cuvette synclinale de Djenien El Oglat. (Mansour, 2001). **Les affleurements gréseux prédominent le paysage, sillonnées par des oueds qui traversent la voie ferrée, tous les ingrédients sont là pour fabriquer du sable. (Cf. Fig. 11).**



Fig. 11 Synclinal de Hadjeret Meguil.

2.3.2.4. Synclinal de Djenien El Oglat :

Constitue une structure synclinale typique des monts des Ksour, à fond plat, affectant le crétacé inférieur et l'Albien et bordé par des rides Jurassiques. Vers le sud-ouest, il se termine en coin entre les failles du Djebel Bou Amoud et du Djebel Zerga. Vers le nord-est, il subit une dichotomie par suite de l'avancée du brachi-anticlinal de Guetob El Moghrar. (Mansour, 2001). **Les grès sont considérés comme stock de sable.**

2.3.2.5. Synclinal de Béni Ounif :

A l'échelle des monts des Ksour, les reliefs dessinent une légère inflexion dont le centre se trouve dans la région de Béni Ounif où les formations gréseuses d'âge Crétacé inférieur constituent les principaux affleurements du synclinal. Plus au nord, les affleurements essentiellement Jurassique (Cf. Fig. 12, 13), formant des structures anticlinales longues et étroites. Le synclinal est formé par les grés de Tiout, qui se développent en un large synclinal à grandes ondulations formant ainsi la plaine de Béni Ounif, comblée par des remplissages récents. La limite de ces terrains au nord se matérialise par un renversement total de la série gréseuse sous les assises calcaréo-dolomitiques du Jurassique moyen le long du profond accident qui borde la limite sud du Djebel Grouz et les chaînons de Figuig

(Maroc). (Fig.12). Les affleurements gréseux comme celui de Garet El Hamir, la série renversée de Djebel Sidi Youcef (Fig.13).et d'autres barres rocheuses gréseuses sculptées par les cours d'eau peuvent constituées une importante source potentielle de sable. (Fig.14).

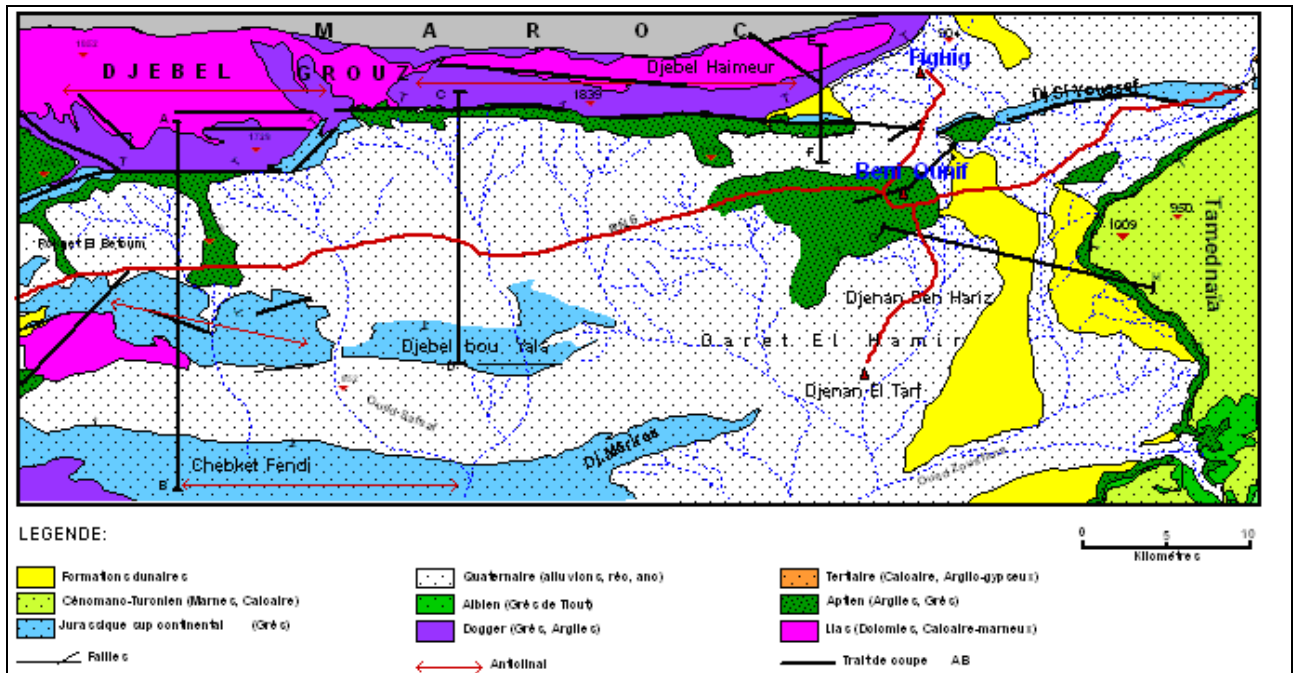


Fig. 12 Synclinal de Béni ounif

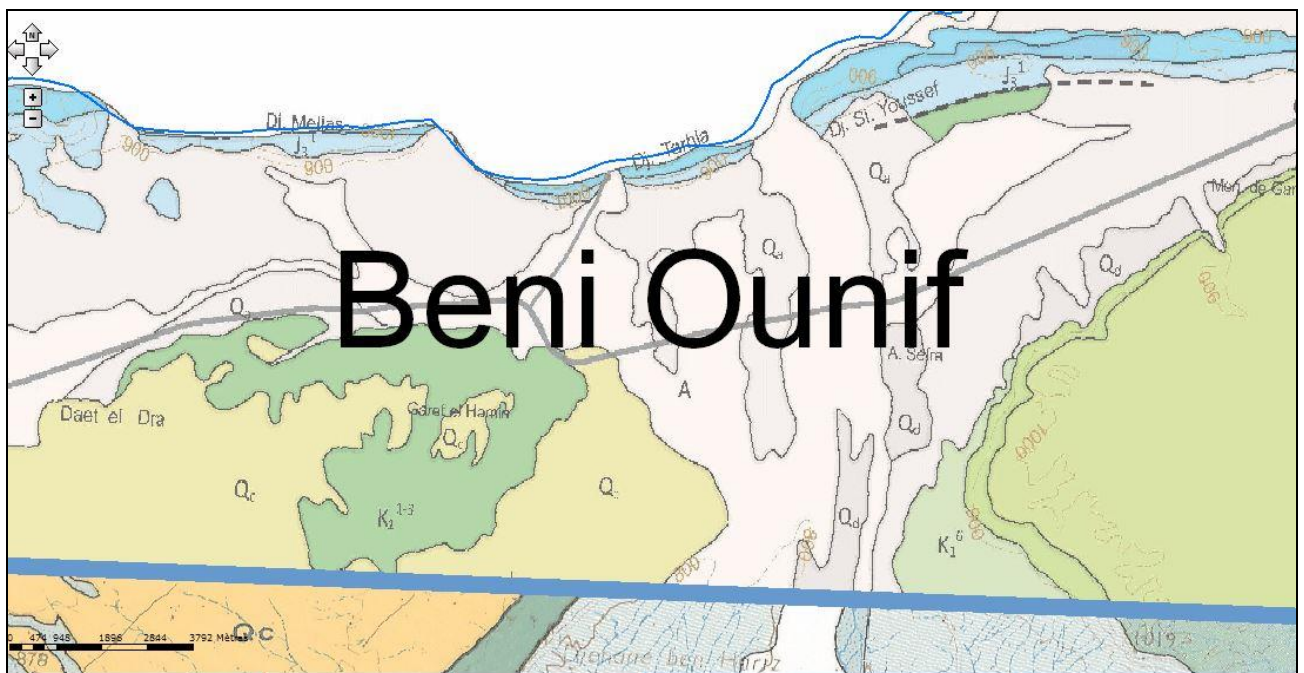


Fig. 13 Extrait de la carte géologique 200.000e, en vert le grès du crétacé ; Garet el Hamir et la série renversée Dj. Sidi Youcef, prédominance des grès du Crétacé à Garet el hamir.

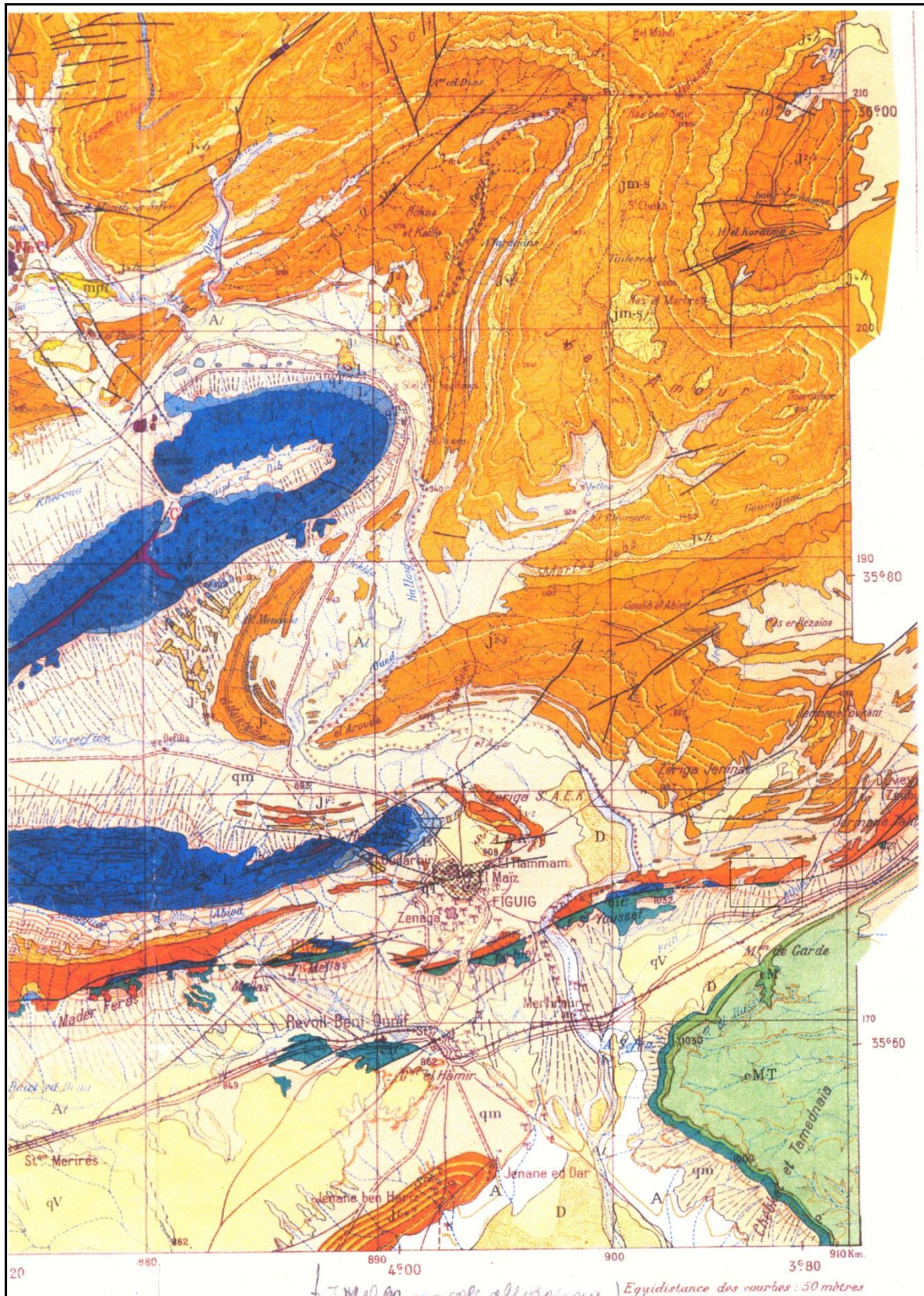


Fig. 14 extrait de la carte du Maroc, montrant l'immense formation jurassique crétacé, et le passage de la flexure sud-atlasique, d'où la vulnérabilité à l'érosion éolienne est majeure.

2.3.3. Bassin de Ben Zireg – Béchar :

La région de Béchar enregistre toute l'histoire géologique depuis le précambrien au quaternaire. Bien qu'elle soit hors monts des Ksour, néanmoins, avec le prolongement de Djebel Grouz qui se rattache avec les formations paléozoïques. On distingue une partie méridionale, appartenant plate-forme saharienne et partie septentrionale, faisant partie du domaine atlasique. (Fig.15).

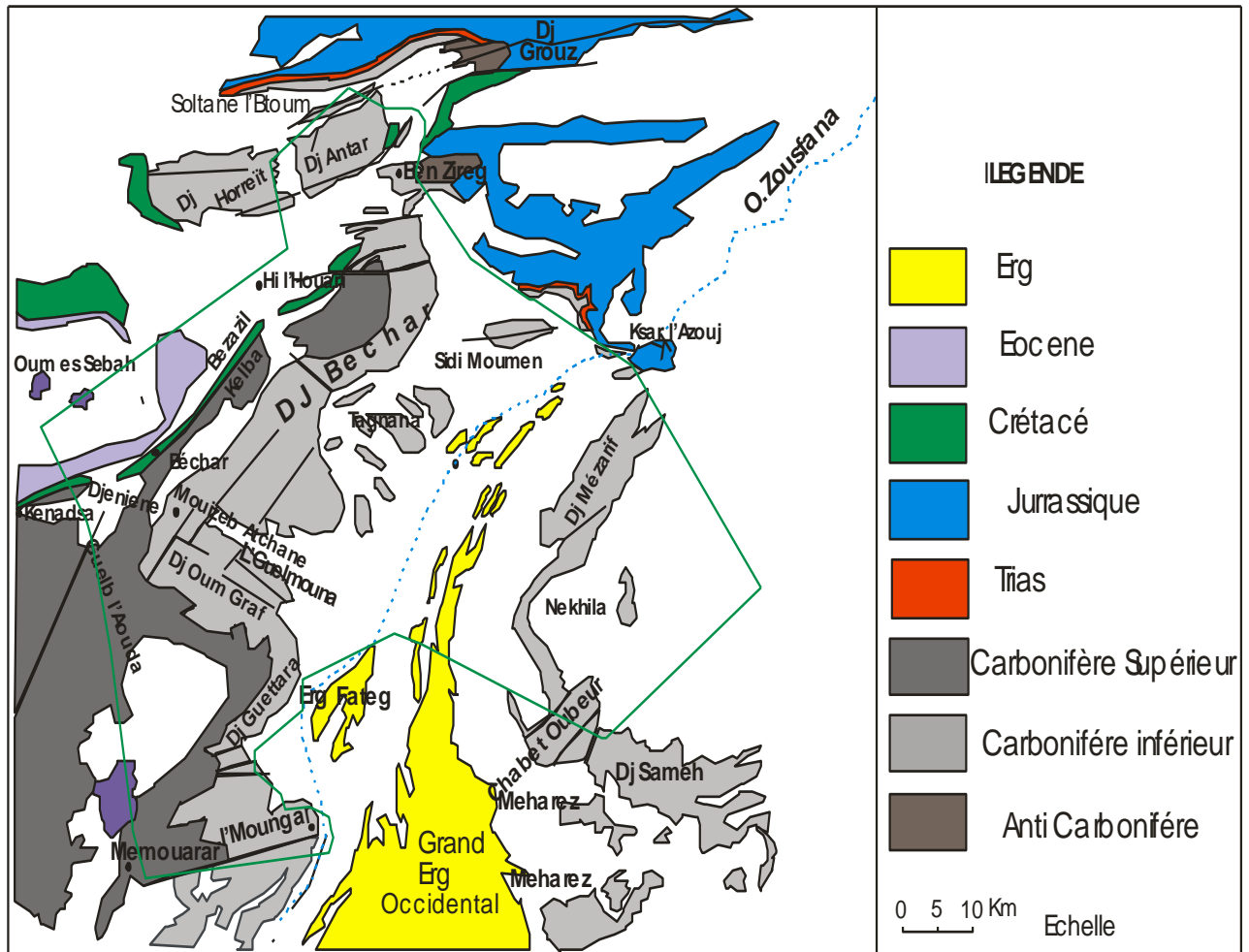


Fig. 15 Géologie de la région de Béchar (d'après Deleau, 1952)

Cette formation disparaît sous la cuesta transgressive Cénomano - Turonienne. Au-dessus de ses horizons vient une série argilo-gypseuse attribuée au Sénonien et à l'Eocène inférieur. La série se termine par une formation tabulaire comprenant un niveau de grés bruns de 5 à 6 mètres et la dalle calcaire représentant l'Eocène supérieur. Enfin le quaternaire est représenté essentiellement par des dépôts alluviaux, des terrasses alluviales des dépôts lacustres calcaire ou marneux et parfois conglomératique et des éboulis de piedmont (Fig.16). Par les terrasses qui voisinent le tracé de la voie ferrée, ainsi que les formations gréseuses ; Djebel Antar et Dj. Horeit notamment qui en forment l'amont du bassin d'Oued Béchar, par lequel le sable est charrié avec des quantités considérables, on y note l'existence de plusieurs sablières et stations de concassages qui produisent les agrégats excessivement à partir des matériaux alluvionnaires.

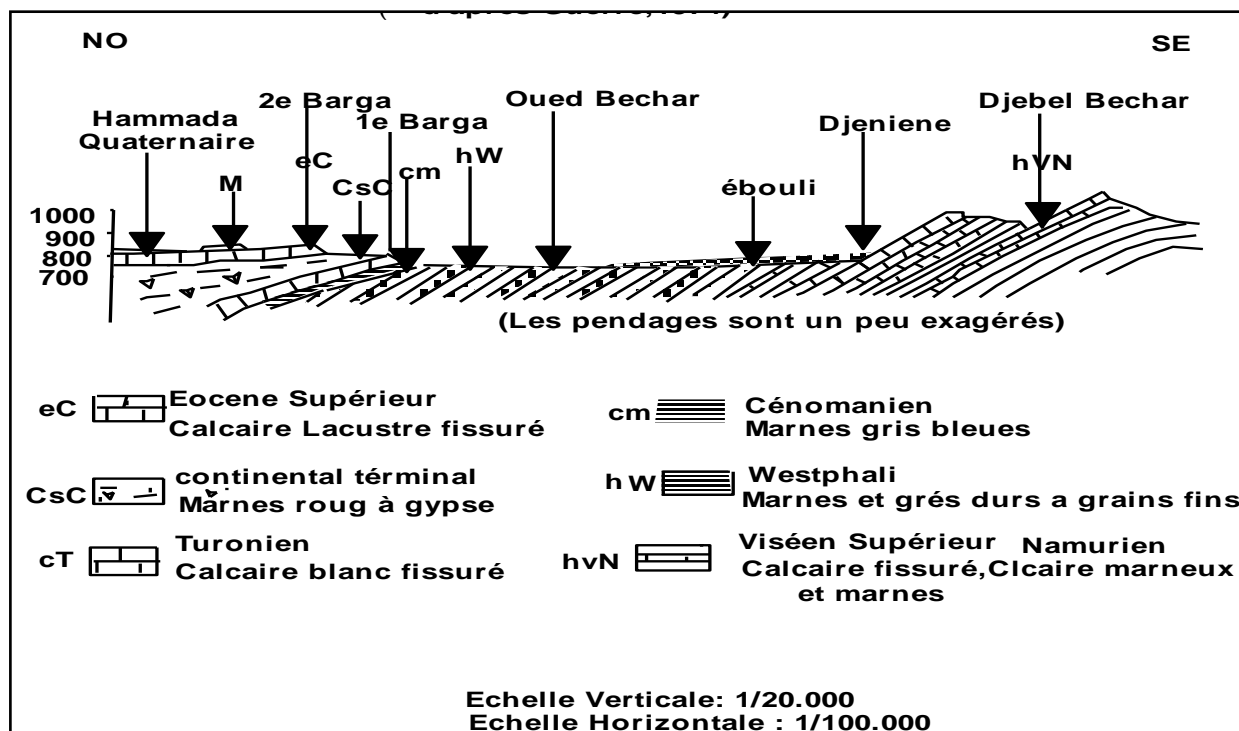


Fig. 16 Coupe géologique de la région de Béchar (Guerre, 1974)

Conclusion et discussions :

D'où vient le sable ?

« Concernant les migrations de matériel éolien dans l'Atlas saharien, elles influées par la portion considérable de grès dans les couches affleurant dans la chaîne, car ils ont fourni un matériel fin au cours d'eau.

Dès le Néogène, ces grès ont été repris dans le continental terminal du piémont qui a servi d'encassement, au Quaternaire et à l'Holocène, il continue à fournir aux oueds le même matériel fin ; il a été transporté vers l'aval en grandes quantités et le vent l'a ramené et accumulé dans les lits jusqu'à l'obstruction des oueds. » (Y. Callot, 1987).

A travers cette expression, nous pouvons conclure et avancer l'hypothèse dans la région étudiée, par le fait, que l'aspect relief avec sa complexité qui présente des couloirs, cols, fous ainsi que sa juxtaposition avec l'accident sud-atlasique, qui a engendrée des zones fragiles (failles et satellites) et ...l'interaction entre le relief, la lithologie essentiellement jurassienne et crétacée. (Cf. Fig. 14). D'autant le climat type aride, le tout favorise le processus de la désagrégation mécanique, et par conséquent l'éclatement de la roche. Les amplitudes nocturnes et diurnes, la gélifraction, l'intensité des pluies, la pente en outre fournissent le matériau fin primaire à la disposition des vents, des cours d'eau...

Chapitre 2 :**ENSABLEMENT DE LA VOIE FERREE ENTRE DJENIEN BOUREZG, BENI OUNIF ET HASSI HOUARI.****1. Préambule :****1.2. Approche et état des lieux :**

Afin de simplifier notre tâche d'étude sur le terrain et pour nous permettre de faire une meilleure mise au point en ce qui est de l'état des lieux, nous avons suivi le découpage technique du projet ferroviaire Mécheria-Béchar. Ce dernier est subdivisé en trois grands tronçons ; un tronçon nord (TN), qui prend son départ depuis la gare ferroviaire de Mécheria jusqu'à celle d'Aïn Sefra (105 km), un tronçon centre (TC) de la gare ferroviaire d'Aïn Sefra vers la gare de Béni-Ounif (144 km) et en dernier un tronçon sud (TS) de la gare de Béni-Ounif à la gare ferroviaire de Béchar (111 km), soit sur un ensemble de 360 km de long.

Chaque tronçon est matérialisé par des points kilométriques dites Pk qui débutent par des points matérialisés au niveau des gares des trois tronçons ferroviaires Mécheria, Béni Ounif et Béchar, à savoir ; TN (Pk 0, Mécheria au Pk 105, Aïn Sefra), TC (Pk 0, Aïn Sefra au Pk 144, Béni-Ounif) et le TS (Pk 0, Béni Ounif au Pk 111, Béchar). Ainsi nous utiliserons dans notre vocabulaire les points kilométriques (Pk) du projet et ce, pour y faciliter l'identification des points et/ou zones à risque d'ensablement.

Le tronçon étudié a une longueur de 178 km, et comporte seulement une partie du tronçon centre (du Pk 62, situé au sud de Moghrar) au (Pk 144 situé à Béni-Ounif), et un autre tronçon sud, (du Pk 0 à Pk 96, nord de Béchar, lieu-dit Hassi Houari).

1.2. Approche et méthodologie :

La prospection détaillée de la voie ferrée, point par point, nous a permis, en effet, de choisir, de faire un diagnostic sur les points ferroviaires à risque d'ensablement, ces derniers ont été matérialisés par des parcelles témoins que nous aborderons dans ce chapitre.

Sur le terrain plusieurs critères ont été mis en place pour essayer de déterminer le sens et la vitesse de migration des sables par rapport à la voie ferrée tels que ; les mesures sur les accumulations sableuses, sur les rides des dunes (*ripple marks*), à l'aide d'un dispositif que nous appellerons piège à sable, ainsi l'échantillonnage systématique du sable afin d'en connaître sa granulométrie. Ces mesures ont été effectuées chaque jour sur une période allant du mois de mai 2006 à la fin de juillet 2006.

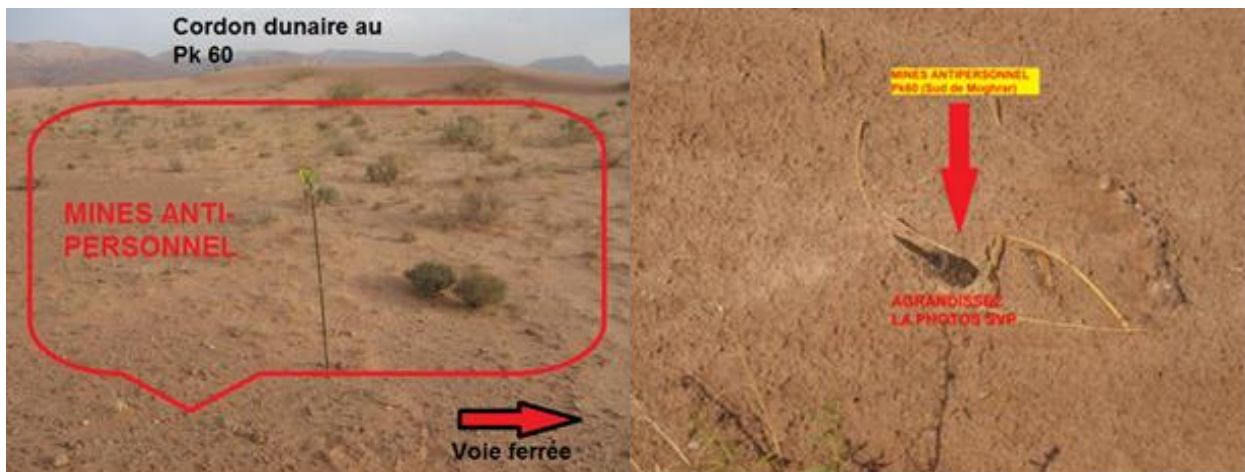
Dans ce chapitre, il sera fait un état des lieux des points à risque d'ensablement. Ces points ont été géoréférencés par GPS puis des relevés de détails concernant :

- Le type d'accumulations sableuses existantes à proximité de la voie ferrée.
- Mesure des directions de leur mobilité notamment au niveau des parcelles témoins choisies et géoréférencées par GPS au préalable. Cela a consisté en des mesures à l'aide d'une boussole de l'orientation des accumulations sableuses selon leur morphologie ainsi que celles des rides sur les flancs des dunes.

- Mesures quotidiennes de mai à juillet 2006 des distances parcourues par les sables dans les parcelles témoins. Ce qui a permis une Estimation des vitesses de mobilité des accumulations sableuses.
- Echantillonnage pour effectuer les analyses granulométriques.

Notre choix a été porté sur quatre (4) parcelles témoins de dimensions variables. Elles y sont matérialisées sur le terrain par des piquets de 2m, espacés généralement de 5m pour chacun et délimitant ainsi les limites des accumulations sableuses ;

- Parcelle témoin se trouvant au lieu-dit El Oglat, à 10 km au sud de la localité de Moghrar et à quelques mètres en direction d’Est de la voie ferrée (Pk 62). Il s’agissait d’un cordon dunaire d’une hauteur atteignant les 4m allongé NW-SE et en position transversale par rapport à la voie ferrée N-S. En raison de l’existence des mines anti-personnel, cette parcelle a été abandonnée juste après quelques jours de terrain (**Photo 5**) elle ne sera pas donc abordée dans ce qui suit.



Ph.5 : Parcelle témoins du Pk 60 ; El Oglat, abandonnée (mines antipersonnel)

- Parcelle témoin se trouvant à proximité du lieu-dit Djenien Bourezg (parcelle n°1), à peine à deux kilomètres au sud, au Pk 87, du côté ouest de la voie ferrée. Dix piquets ont été ancrés dans le sol limitant la bordure NW et SE du cordon dunaire. (**Fig.18, Tableau 1**).

Tableau 1 : Caractéristiques de la parcelle n°1 :

Cordonnées Géographiques	Lieu-dit	Pk	Orientation	Dimension	Remarques
32°21'25.6" 00°49'02.2"	A 2 Km sud de Djenien-Bourezg. Pk 87	87.391	NNW-SSE	(400x200) m	Sub-perpendiculaire / VF. Cordon dunaire.
32°21'21.2" 00°49'58.8"		au 87.555			

- Parcelle témoin se trouvant à proximité du lieu-dit Oued Lakhdar, Pk 104 (parcelle n°2), et à quelques dizaines de mètres à l'Ouest de la voie ferrée, cette parcelle se situe sur la rive gauche de l'Oued R'mel . (Cf. Fig. 18, Tableau 2).

▪ **Tableau 2 : Caractéristiques de la parcelle n°2 :**

Cordonnées géographiques	Lieu-dit	Pk	Orientation	Dimension	Remarque
32°16'10.4" 00°56'11.5"	Oued Lakhdar. PK 104	102.709	NW-SE	(200x200) m	perpendiculaire / VF. Placage sableux, rive gauche de l'Oued Zoubia
32°14'39.6" 00°57'49.3"		au 106.559			

- Deux parcelles témoins à proximité immédiate de la voie ferrée, Pk 94 et 95 (parcelles n°3 et 4) au lieu-dit Hassi Houari. ; la première se trouve sur la rive droite de l'Oued Béchar dotée d'un piège à sable, en direction N-S par apport à la voie ferrée, la seconde est en direction NNW-SSE de la voie ferrée, (Cf. Fig. 18, Tableau 3).

▪ **Tableau 3 : Caractéristiques des parcelles n°3 et 4 :**

Cordonnées géographiques	Lieu-dit	Pk	Orientation	Dimension	Remarque
31°46' 45.1" 02° 05' 06.5"	Hassi El Hourri, aval de la VF. amant de la V.F. Piège à sable. Pk 94 et 95	89,9	N-S	(200x100) m	perpendiculaire / VF. Champs de Barkhanes. Oued Béchar.
31°42' 59.9" 02° 08' 14.2"		au 98,57	NNW-SSE	(100x100) m	

Le dispositif qu'on l'appel *piège à sable* de type *Wilson et Hook*, (Fig. 18, Tableau 3) est installé à proximité immédiate de la parcelle N°3, sert à la fois ; à la collecte du sable à des hauteurs variables, (10, 30 cm, 50 cm, 75 cm, 1,5 m et 2 m) et à faciliter l'observation et l'enregistrement des directions des vents de sables instantanés. (Conception par N. Belmahi)

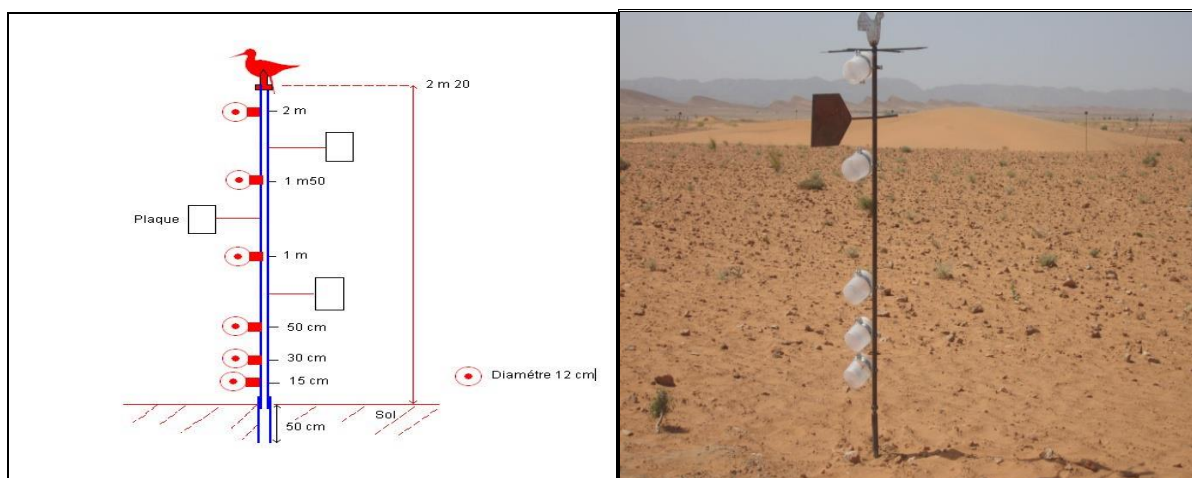


Fig.17 : Système de piège à sable installé au niveau de la parcelle n°03 (Hassi Houari).

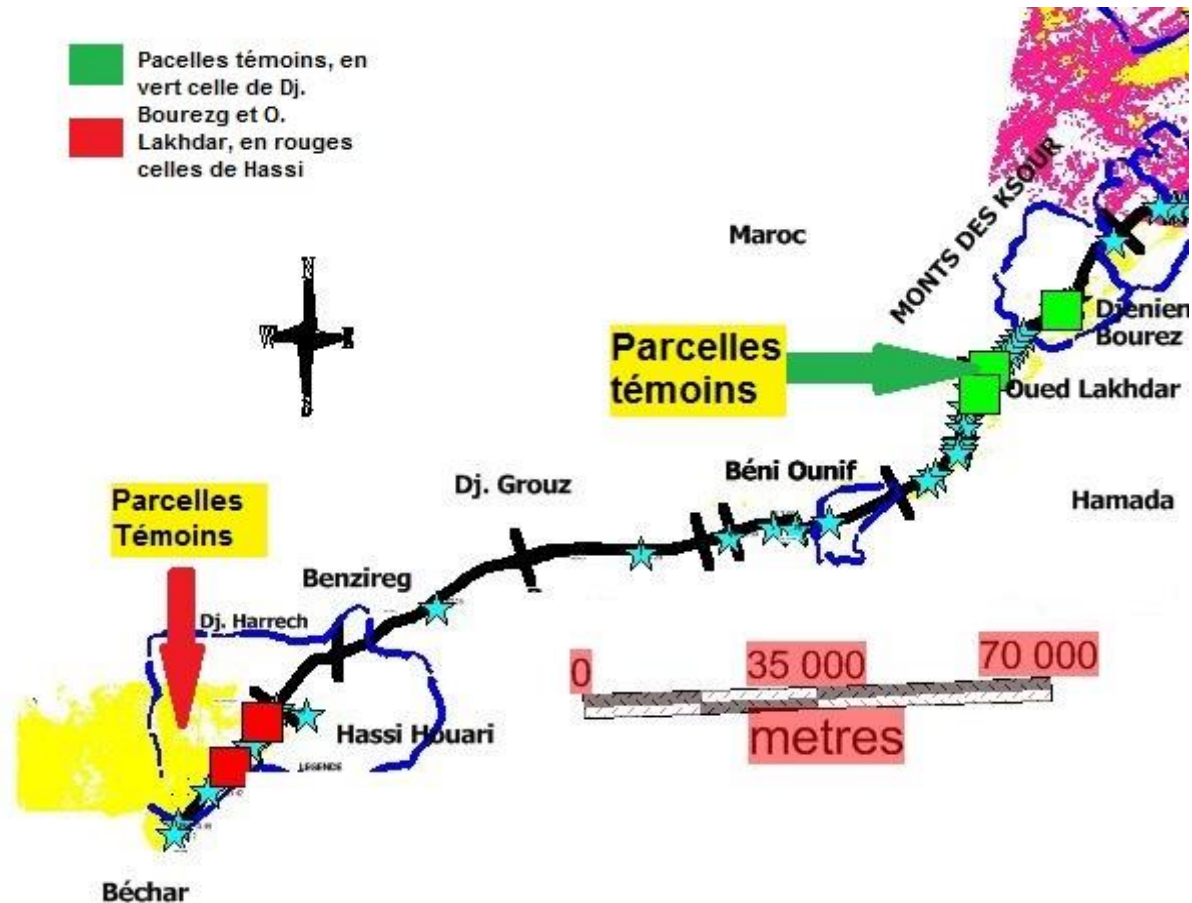


Fig.18 : situation géographique des parcelles témoins choisies.

2. Les différents types d'accumulations sableuses :

Les dunes peuvent être mobiles, ou à quelques détails près, fixes, comme le sont celles des grands ergs. Les dunes mobiles les plus caractéristiques sont les barkhanes : on a appelé fleuve de sable des accumulations de barkhanes. (Derruau M., 1974).

Une dune est donc une accumulation sableuse ou « tas de sable » façonné par le vent. Il ne s'agit pas là d'aborder toutes les formes d'accumulations sableuses et les mégastructures, il s'agit plus étroitement de déterminer les accumulations sableuses constituant un risque d'ensablement sur la voie ferrée.

Toutefois, le long de la voie ferrée, coulent plusieurs oueds à alluvions riches en sable qui peuvent être remobilisés par le vent lors des étiages.

2.1. Les accumulations sableuses mobiles :

2.1.1. Les barkhanes :

Barkhane vient du mot turc « dune mobile » ; dune en forme de croissant se déplaçant dans le sens du vent. C'est la forme la plus menaçante pour la voie ferrée. La barkhane se forme

uniquement à partir d'un sable en mouvement et qui s'accumule uniquement en forme de barkhane (CALLOT., 1987). C'est pratiquement le cas de Hassi El Houari où on y rencontre un champ de barkhanes de par et d'autre de la voie ferrée dont nous résumons les caractéristiques dans le tableau (Cf. Tab. 4).

Pour fixer les idées, les barkhanes dans la zone d'étude ont des tailles comprises entre 0,5m à 3m de hauteur au maximum, pour des dimensions très variables, mais en générale se sont des dunes de petites tailles formant une largeur de 2 à 6m et une longueur de 3 à 30m. D'un point de vue morphologique, elles ont une forme en croissant dont les cornes pointent dans la direction du vent. (Cf. Fig. 20). La face abritée est ce que l'on appelle la face derrière le vent ; une sorte de petite avalanche, pour la simple raison que des micro-avalanches s'y déclenchent régulièrement. C'est grâce à ces avalanches que la barkhane se déplace. Nous verrons dans la fin de ce chapitre, que ces barkhanes ont des vitesses considérables. Les petites barkhanes se déplacent plus rapidement que les grandes par ce qu'il y a moins de grains de sable à déplacer. Un ensemble de barkhanes coalescentes forme un cordon barkhanoïde ou même peuvent donner naissance à des véritables cordons dunaires.

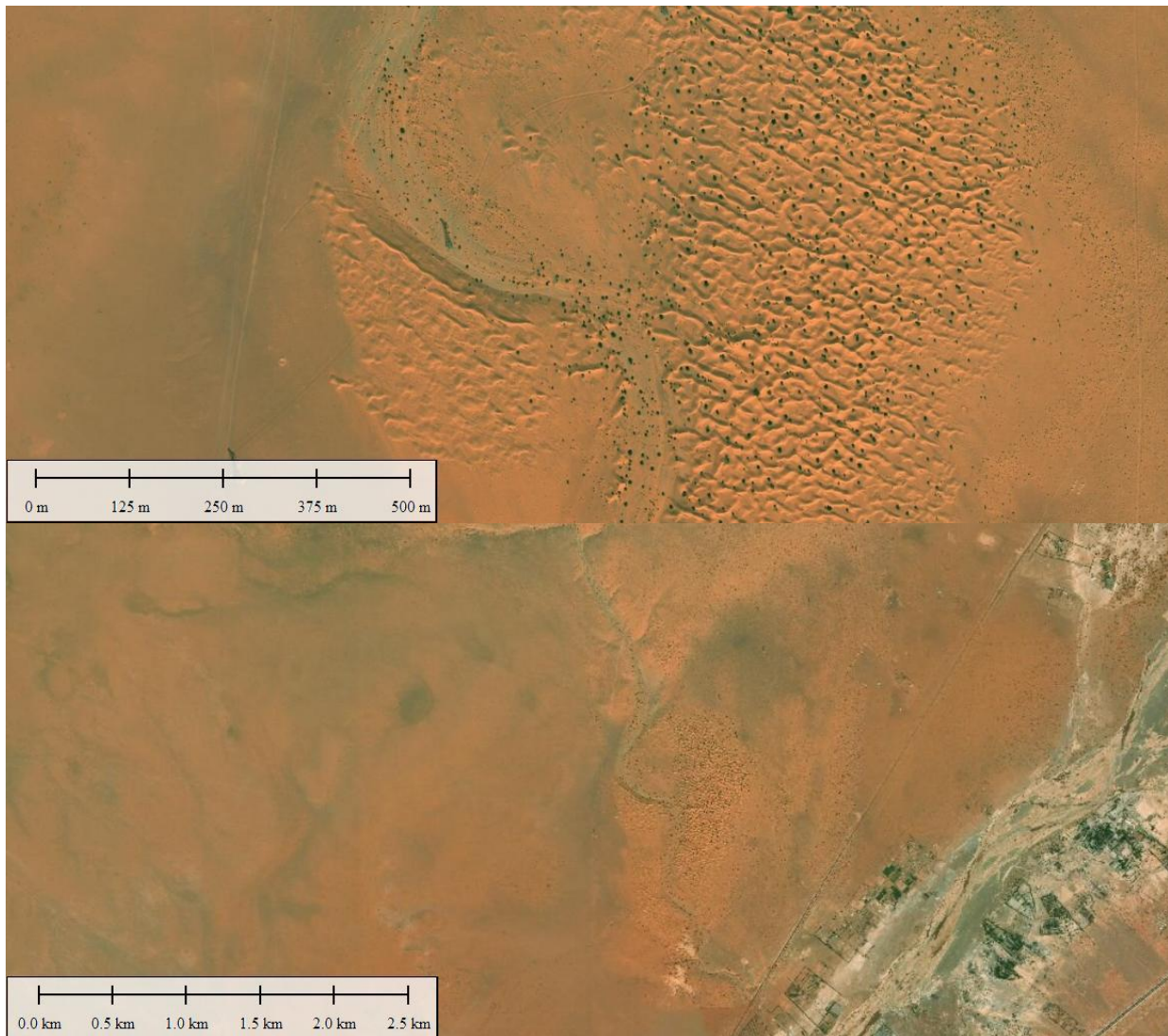


Fig.19 : Champs de barkhanes à Hassi Houari, (image Hybird 2006).

2.1.2. Les boucliers :

Les barkhanes naissent sous la forme d'une accumulation ovoïde, la dune en bouclier, prennent leurs caractères dès que le bouclier est assez élevé (1m suffit) pour que le remous sous le vent se produise (Derruau M., 1974).

Se sont des formes embryonnaires de taille variable (Cf. Fig. 20), nous avons rencontré dans la zone d'étude à Hassi Houari, de part et d'autre de la voie ferrée plusieurs accumulations sableuses en forme de bouclier. Ces derniers traduisent la forte activité éolienne favorisant ainsi la formation de nouvelles barkhanes.

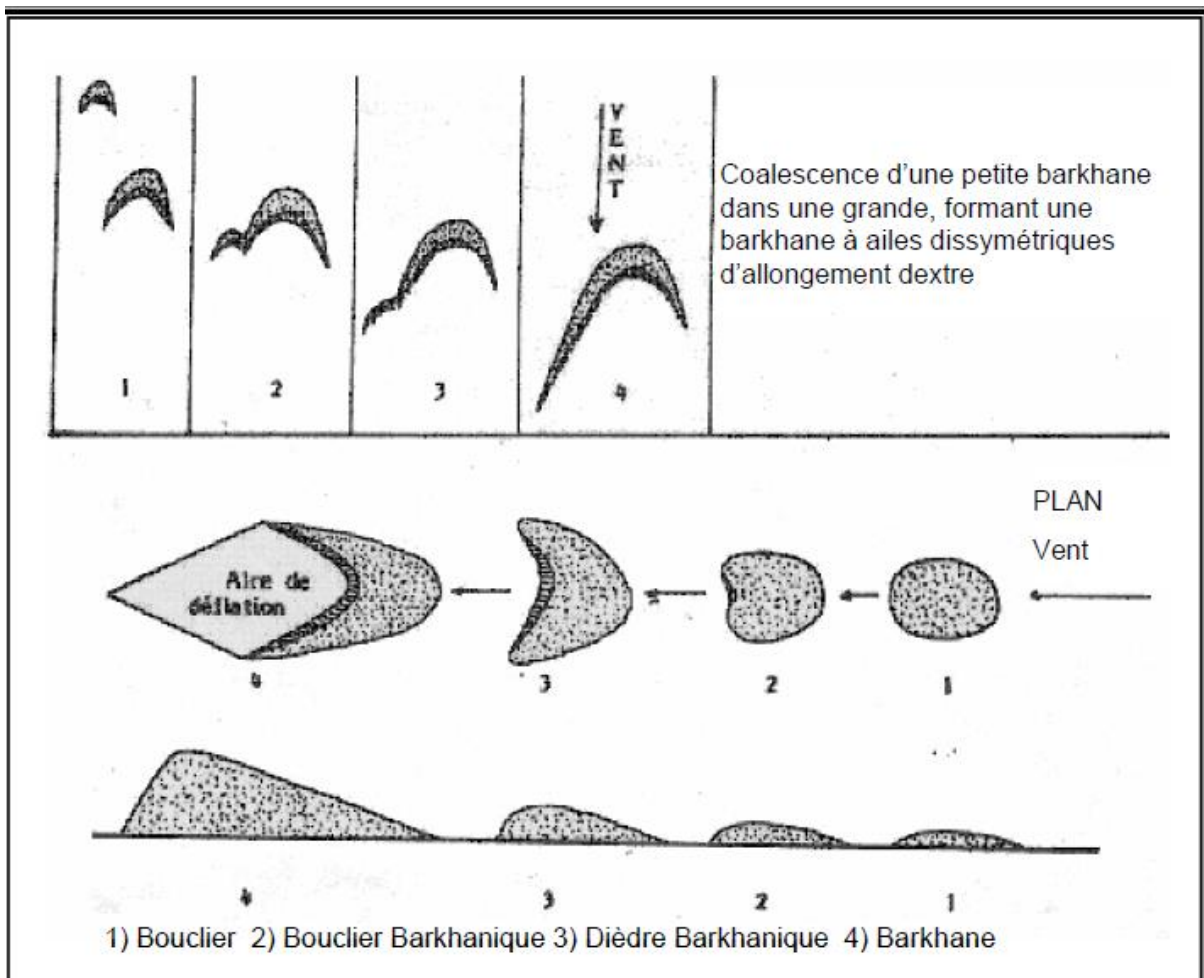


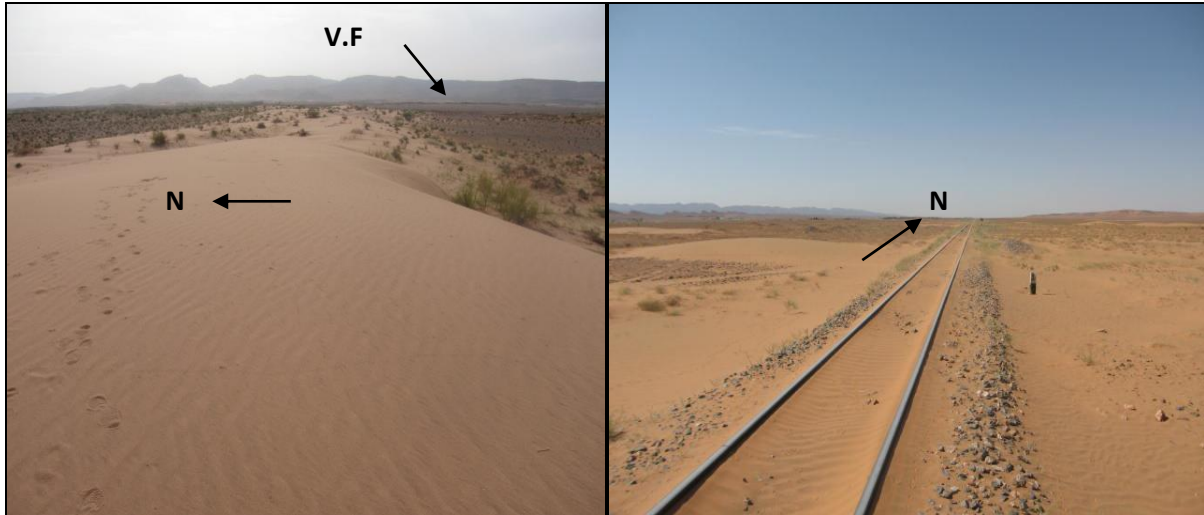
Fig.20 : Evolution du Bouclier à la barkhane vraie (Callot Y., 1987).

2.1.3. Cordons dunaires :

Ce sont des accumulations sableuses allongées à hauteur plus au moins importante, on y distingue deux cordons dunaires dans la zone d'étude, le premier se trouve au sud de la localité de Moghrar (PK62) et un autre au sud de la localité de Djenien-Bourezg (PK87) dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau (Cf. Tab. 4).

2.2. Les accumulations sableuses fixées :

Ce sont généralement des formes sableuses fixées par la végétalisation, on y trouve au voisinage de la voie ferrée, de part et d'autre, des formes à moins d'importance au point de vue ensablement de la voie ferrée.



Ph.6 : Cordon dunaire, Djenien Bourezg (PK87). **Ph.7 :** Ensablement de la V.F à Hassi Houari

2.3. Les voiles sableux :

Dépôt de forme de voile sur des surfaces ouvertes d'obstacles, son épaisseur varie de 1mm à 1m. (Riser.,1988).

2.4. Nappages sableux :

Le nappage de sable est considéré comme un dépôt de sable un peu épais de 5 à 25 centimètres d'épaisseur moyenne qui se propage suivant la direction du vent dominant en formant de véritables zones d'accumulation qui s'étalent de quelques mètres à plusieurs kilomètres (Remaoun K., 2004).

Le nappage sableux est la conséquence d'une dégradation du couvert végétal qui protège le sol, on parle d'un saupoudrage diffus des particules fines. Parallèlement à différentes mesures effectuées au sein des parcelles expérimentales, nous avons à titre comparatif, procédé à des mesures effectuées sur la direction des rides à crête.

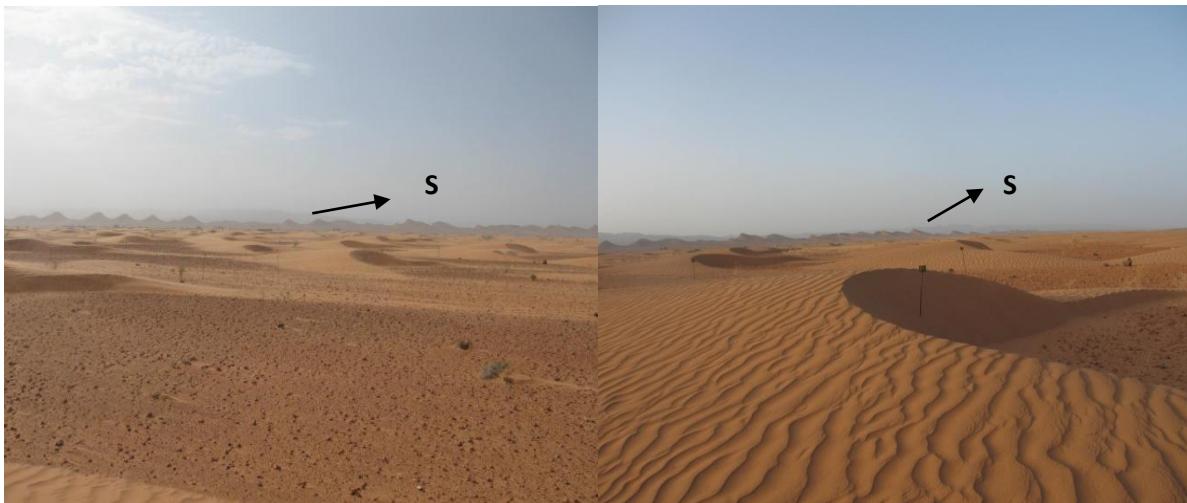
D'autres formes ont moindre d'importance été les flèches sableuses (Cf. Ph. 17). Ces dernières sont telles des indicateurs du sens des vents instantanés (dernier vent), avec plus de prudence à considérer tout obstacle et/ou état de surface. A y comparer autant que possible avec le sens des rides d'oscillation des vents marqué sur les dunes ou autres formes d'accumulations sableuses.



Ph.8 : Accumulation sableuse, près de l'Oued Lakhdar **Ph.9** : Placage sableux, près de l'Oued Lakhdar.



Ph.10 : Rides symétriques (opposition de deux vents). **Ph.11** : Nappage sableux, au sud de Moghrar.



Ph.12 : Barkhanes de Hassi El Hourai (S : sud)

Ph.13 : Champs de barkhanes de Hassi El Houari.



Ph.14 : Cordon dunaire au sud de Djenien Bourezg

Ph.15 : Passage du sable à Hassi El Hourai.



Ph.16 : Cordon dunaire, au sud de Djenien Bourezg.

Ph.17 : Flèches de sables et nappage sableux, au sud

(Sens vers le nord)

Djenien Bourezg (sens vers le sud)

3. Pollution de Ballast ferroviaire par le sable :

On entend par pollution de sable, un vocabulaire, sens figuré qui porte allusion, employé par les cheminots pour désigner tous les grains de sable véhiculés par le vent ou l'eau ou les deux combinés affectant l'état de l'assise de la voie, notamment le Ballast (granulométrie 25/50). En générale, la voie ferrée est constituée par un assemblage d'éléments d'élasticité variable qui transmettent à la plate-forme, elle-même déformable, la charge dynamique des roues. La voie classique comporte deux rails dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des traverses reposant sur une épaisseur variable de ballast, en principe isolé de la plate-forme par une sous-couche (ou appelé sous-ballast ; 0/31,5), (Fig.21).

L'expérience professionnelle, en tant qu'ingénieur chargé du ballastage voie, nous a appris que le ballast doit répondre à un nombre d'exigences et normes sévères. En dehors des paramètres granulométriques et géotechniques. L'indice de propreté pour obtenir un ballast propre ; la masse relative des éléments passant au tamis de 1 ; 6 mm doit être inférieure à 0 ; 5%. C'est pourquoi que le sable une fois remanié en surface sur le ballast va s'infiltrer à l'intérieur, et par la suite s'infiltrer par les pluies et les vibrations dans l'espace intergranulaire

(porosité en grande), et par conséquent d'affecter négativement son pouvoir d'élasticité... on schématise que le ballast ferroviaire agit comme étant l'amortisseur du véhicule qui absorbe les vibrations du contact roue, rail et assure le confort des passagers. (Cf. Fig. 22, 23).

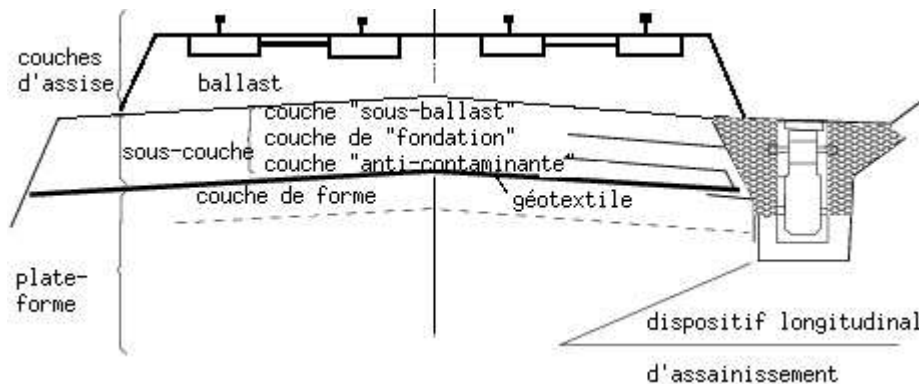


Fig.21 : Voie ferrée ballastée (schéma d'après A. Shaer, sans date)

4. Bilan d'ensablement :

La voie ferrée est exposée en permanence en différents point kilométriques au phénomène d'ensablement. Néanmoins, la fréquence élevée sur certains points et tronçons de la voie ferrée avait rendu nécessaire de procéder à leur recensement, et leur délimitation comme indiqué ci-après dans les ; (Tableau 4 et tableau 5).

4.1. Du Pk 62 km (Moghrar) au Pk 144 (Béni Ounif) :

Trois classes peuvent être mises en évidence ; la pollution de Ballast, l'ensablement sans dune et l'ensablement avec la présence de dune. (Cf. Fig. 22, 23).

Tableau 4 : Identification des points à risque d'ensablement, d'el Oglat, au sud de Moghrar à Béni Ounif sur 83km de long, (PK62 au PK144).

Lieu-dit	PK	Coordonnées géographiques (X)	(Y)	Etat de la voie ferrée	Observations
Sud de Moghrar (El Oglat)	61.287	32°29'46"	00°37'30.6"	Pollution de Ballast	Nappage sableux sur le côté sud de la VF.
	62.337	32°29'43"	00°38'9.8"		
	62.337	32°29'43"	00°38'9.8"	Ensablement	Nappage sableux
	62.787	32°29'43.9"	00°38'27"	Pollution de Ballast	
	62.787	32°29'43.9"	00°38'27"		
Gare de Djenien-Bourezg	64.807	32°29'41.1"	00°37'44"	Pollution de Ballast	
	73.597	32°27'02.1"	00°44'12.1"		
	85.237	32°22'0.1"	00°48'2.7"	Risque d'ensablement	
	86,087	32°21'33"	00°48'50.7"		
	86,613	32°21'26.8"	00°48'59.3"		
86.967	32°21'33"	00°48'50.7"	Risque d'ensablement	Sur la rive droite, sable.	

Sud de Djenien-Bourezg	87.297	32°21'26.8"	00°48'59.3"	Risque d'ensablement	Nappage épais sur les deux côtés de la VF
	87.391	32°21'25.6"	00°49'02.2"		
	87.555	32°21'21.2"	00°49'58.8"		
	87.796	32°21'21"	00°49'15.7"	Pollution de Ballast	Nappage sableux sur deux côtés de la V.F.
	87.845	32°21'20.7"	00°49'17.2"		
	87.845	32°21'20.7"	00°49'17.2"	Ensablement de la V.F.	
	88.35	32°21'17.4"	00°49'37.4"	Pollution de Ballast	
	88.359	32°21'17.4"	00°49'37.4"		
	88.845	32°21'15.3"	00°49'27.4"		
	94.639	32°19'17"	00°52'48.8"	Ensablement et Pollution de Ballast	
96.02	32°18'40.6"	00°53'20.1"			
96.979	32°18'15.3"	00°53'38.9"	Ensablement	Mobilité du sable NW et SE.	
98.029	32°17'48.5"	00°54'01.1"			
Hajerat el Mguil	99.539	32°17'12.9"	00°54'41.4"	Pollution de Ballast	
	102.0	32°16'28.9"	00°55'57"		
	102.709	32°16'10.4"	00°56'11.5"	Ensablement de part et d'autre de la VF.	Placages sableux, nappages sableux
	106.559	32°14'39.6"	00°57'49.3"		
	109.529	32°13'11.3"	00°58'27.9"	Pollution de Ballast	
	111.479	32°12'08.1"	00°58'22.9"	Risque d'ensablements, par dune	
	111.479	32°12'08.1"	00°58'22.9"		
112.796	32°11'28.1"	00°58'32.3"	Accumulation sableuse végétalisée.		
Béni-Ounif	114.949	32°10'19.5"	00°58'49.8"	Pollution de Ballast	
	115.409	32°10'4.9"	00°58'52.8"	Risque d'ensablement.	
	115.409	32°10'4.9"	00°58'52.8"		
	116.439	32°09'34.9"	00°59'01.9"	Pollution de Ballast	
	123.419	32°07'13.9"	01°01'58.4"		
	139.859	32°03'16"	01°11'17.1"		

V.F : Voie ferrée

Il ressort du **tableau 4**, que dix (10) zones ont été identifiées selon le type de phénomènes d'ensablement qui affectent la voie ferrée, en soulignons que les pollutions de ballast n'ont pas un risque d'ensablement. Mais ont un autre impact sur le comportement du Ballast (25/50).

4.1.1. Les points à pollution de Ballast :

Il s'agit d'une identification des sables piégés à l'intérieur ou à bas-côté des rails (sur les traverses et le ballast) (Cf. Fig. 22, 23).

Du Pk 62.787 au Pk 64.807 : pollution de Ballast peu abondante.

Du Pk 73.597 au Pk 85.237 : pollution de Ballast de sable au niveau de la gare de Djenien Bourezg.

Du Pk 86.967 au Pk 87.297 : Sable, à proximité de la voie ferrée.

Du Pk 87.796 au Pk 87.845 :

Pollution importante, on y constate un colmatage entier des traverses.

Du Pk 88.359 au Pk 88.845 :

Pollution de Ballast importante sur les traverses de la voie ferrée.

Du Pk 99.539 au Pk 102.079 :

Pollution de Ballast à l'intérieur des rails.

Du Pk 94.639 au Pk 96.029.

Ensablement de la voie ferrée, pollution du ballast.

Du Pk 109.529 au Pk 111.479 :

Pollution de Ballast sur la voie ferrée.

Du Pk 114.949 au Pk 115.409 :

Pollution de Ballast sur la voie ferrée.

Du Pk 123.419 au Pk 139.859 :

Pollution de Ballast sur la voie ferrée.

4.1.2. Les zones à ensablement sans dunes :

Du Pk 61.287 au Pk 62.337 :

Sur environ 2 km, nous avons constaté une présence de nappages sableux sur le côté sud de la voie ferrée.

Du Pk 62.337 au Pk 62.787 :

Présence de nappages sableux.

Du Pk 87.391 au Pk 87.555.

Présence de nappages sableux épais sur les bas-côtés de la voie ferrée.

Du Pk 96.979 au Pk 98.029 :

Ensablement de la voie ferrée.

Du Pk 102.709 au Pk 106.559 :

Présence de placages sableux sur les versants des Djebels au sud de la voie ferrée et nappages sableux sur les deux côtés de la voie ferrée.

Pk 115.409 au Pk 116.439 : Ensablement de la voie ferrée.

4.1.3. Les zones à ensablement par dunes :

Du Pk 86.967 au Pk 87.297 : Présence d'un cordon dunaire, à proximité immédiate de la voie ferrée, nous avons procédé à l'installation de la première parcelle témoin, à peine à deux kilomètres au sud de la localité de Djenien Bourezg (Cf. Fig. 22, 23).

Du Pk 87.845 au Pk 88.359 :

Ensablement de la voie ferrée, présence de dune de sable.

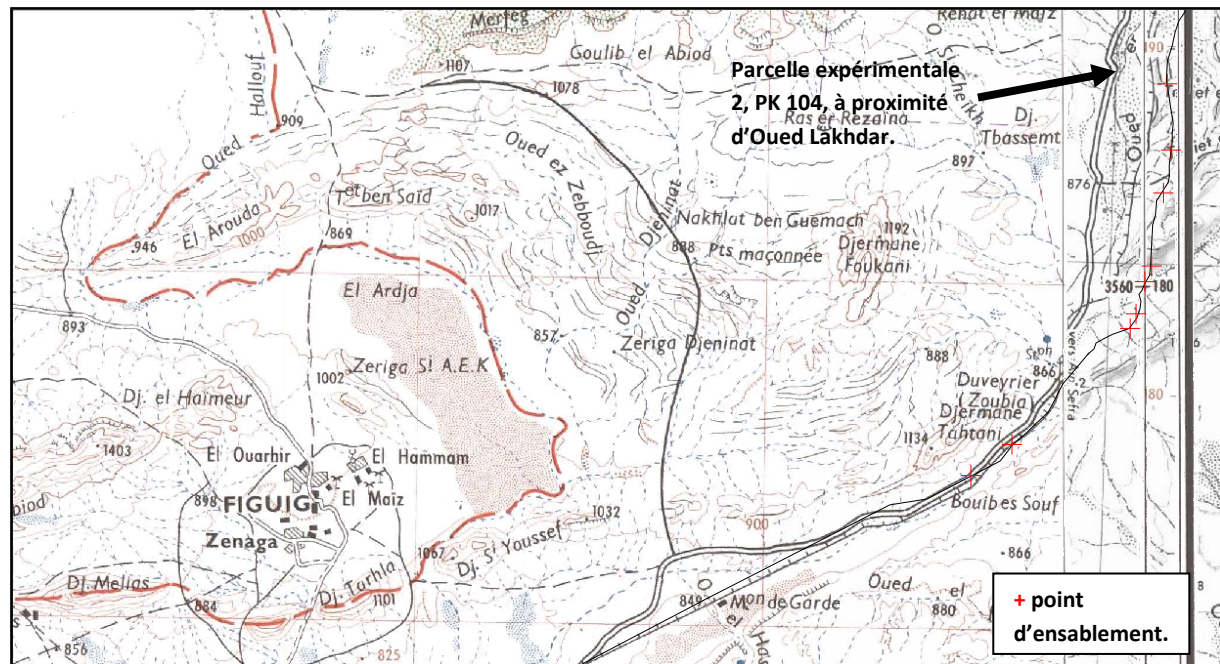
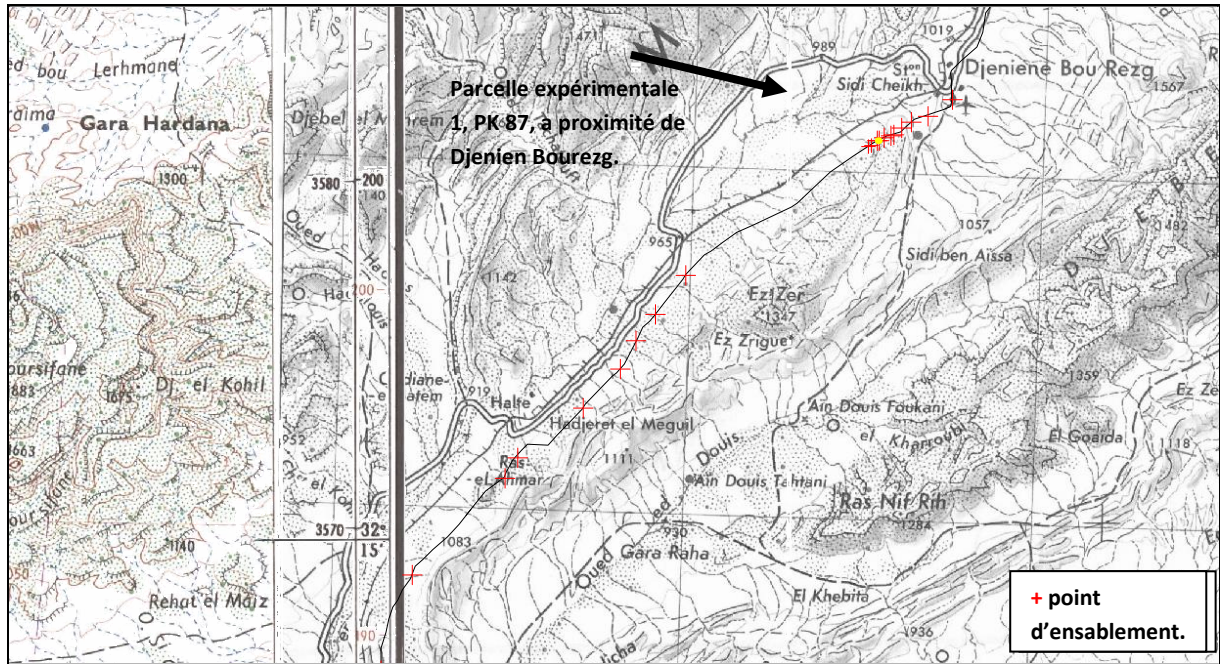


Fig.22 : Identification des points d'ensablement le long de la voie ferrée, assemblage des cartes topographiques, 1/200.000 de Béni-Ounif et d'Aïn Sefra.

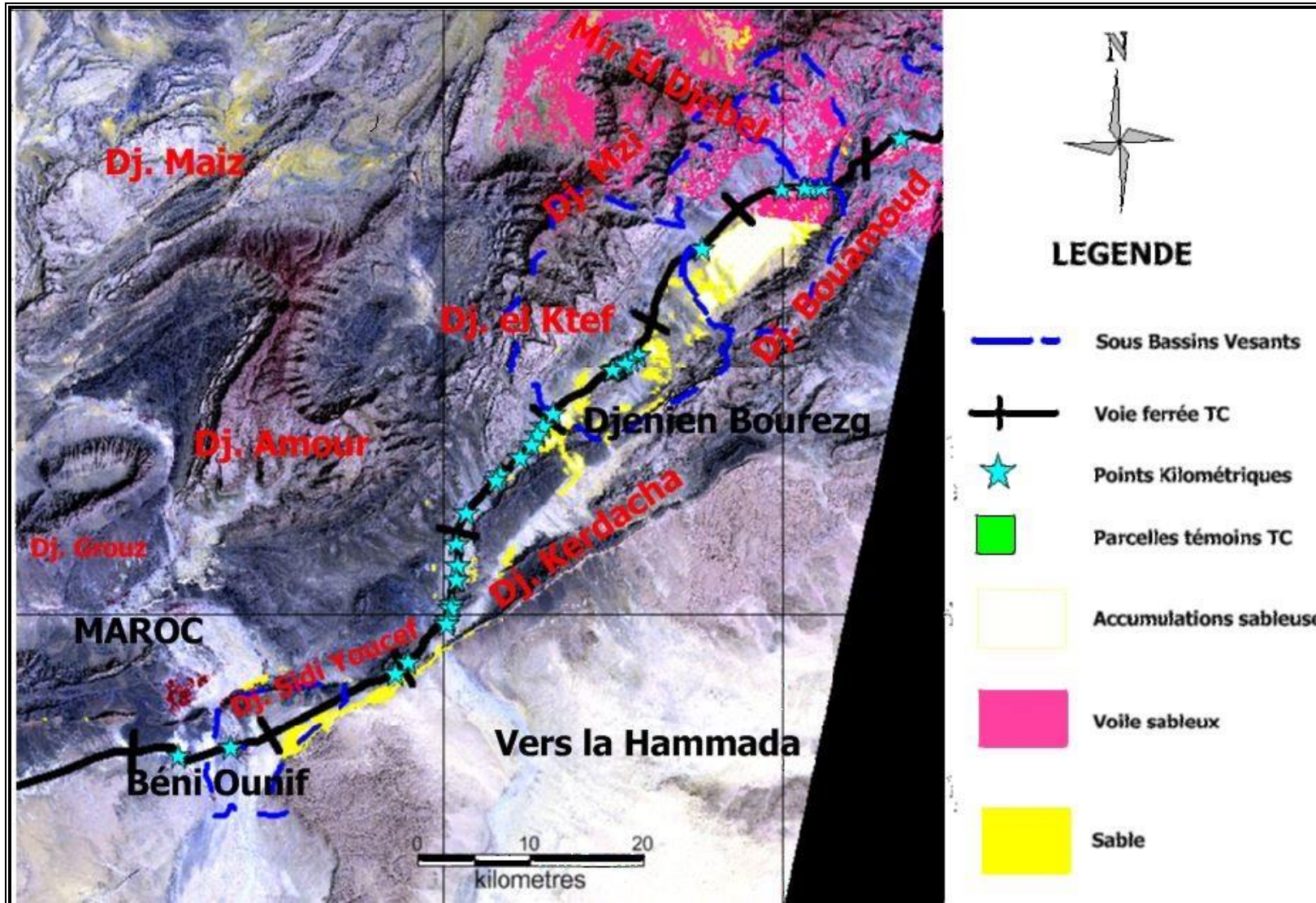


Fig.23 : Répartition des accumulations sableuses au niveau du couloir orographique.

4.2. De Béni-Ounif à Béchar (111km) :

Tableau 5 : Identification des points à risque de pollution du ballast et ensablement, depuis Béni-Ounif (Pk 0 du tronçon sud) à Béchar (PK 111 du tronçon sud) ; soit sur 111 Km de longueur. (Cf. Fig. 22, 23).

Lieu-dit	PK	Coordonnées géographiques (X)	(Y)	Etat de la voie ferrée	Observations
Sud de Benzireg Jusqu'à Hassi-el-Houari. Halte de Hassi el Houari	57,28	31° 56'28.6"	01° 48' 44.5"	Pollution de Ballast	
	au 87,08	31° 47'21.2" 31° 47' 52.7"	02° 00' 53.3" 02° 03' 54.3"		Dune végétalisée
	88 au 89,9	31°47' 30,2" 31°46' 45.1"	02° 04' 15.9" 02° 05' 06.5"	Pollution de Ballast	Dunes végétalisées par des rétham (<i>tamaris</i>)
	89,9 au 98,57	31°46' 45.1" 31°42' 59.9"	02° 05' 06.5" 02° 08' 14.2"	Ensablement par dune Pollution de Ballast	Début des champs de dunes
	98,57 au 103,42	31°42' 59.9" 31°40'59.4"	02° 08' 14.2" 02°00'10.6"	Pollution de Ballast importante	Risque d'ensablement Dunes
	103,42 au 110,48	31°40'59.4" 31°38'8.87"	02°10'10.6" 02°13'4.95"	Ensablement par dune	Fin du champ de dunes.

Trois zones d'ensablement par dunes dont deux sont relativement végétalisées. (Cf.Tab.5), il s'agit, en fait, d'une végétation typique du désert telle que le Tamarix. (Tab.6, fig.24).

De notre part, le traitement des images satellitaires sans une stricte vérification de terrain, ou vérité de terrain (VT), expose les résultats à des discordances et des incohérences. Nous citons un cas que nous avons eu l'occasion de le discuter avec Eric Delaitre et Callot Yann sur le terrain, qui se résume à une sorte d'allusion ou erreurs radiométriques et spectrométriques qui finissent à exagérer par exemple l'expansion du phénomène d'ensablement dans ces types de terrains ! On dirait que le satellite a du mal à distinguer entre un champ barkhanique, voile sableux, ou nappage répandu sur les entablements du Hamada saharienne, car de même réflectance, même couleur. Le spectromètre un outil qui aide les chercheurs à corriger cette confusion, en chassant la longueur d'onde idéal *insitu* qui sera comprise en suite par les algorithmes de télédétection, cet instrument a donné des résultats concluants dans la recherche minière. Cette problématique est toute un sujet à part, et sort de notre thématique. La figure (Fig.25) illustre ces quelques erreurs (traitement par ENVI).

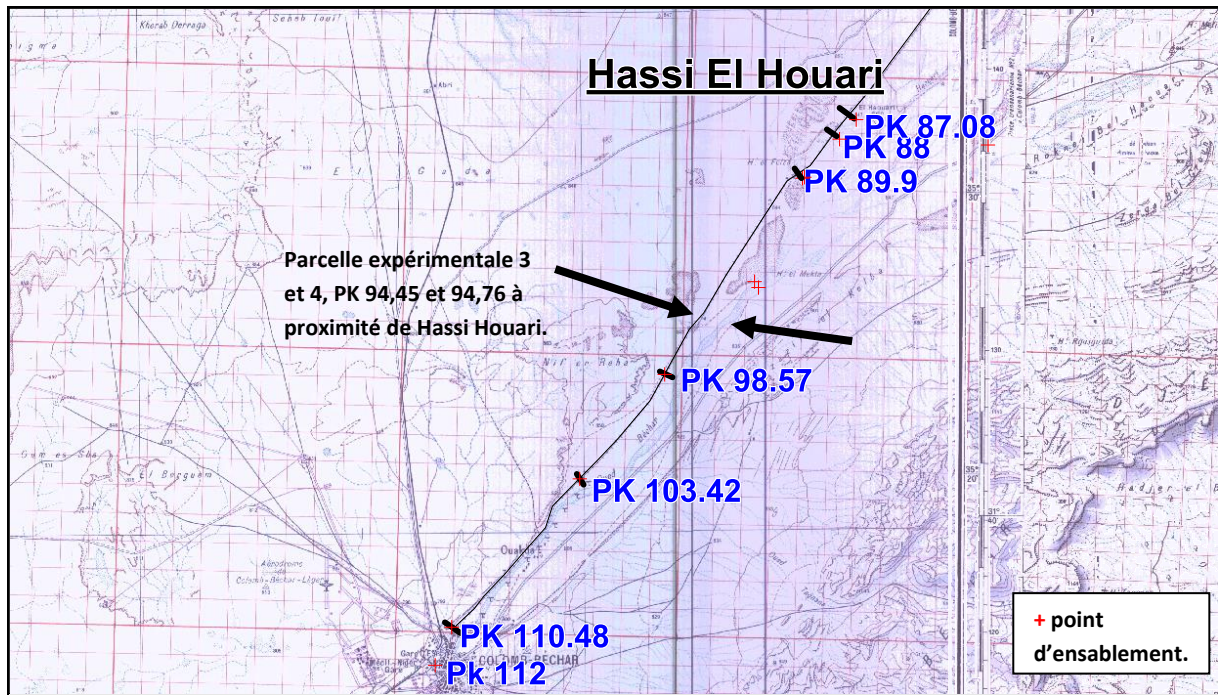


Fig. 24 : Identification des points d'ensablement le long de la voie ferrée, extrait de la carte topographique 1/200.000 de Benzireg et de Béchar.

Tableau 6 : Différents types d'accumulations sableuses dans la zone d'étude.

Accumulations sableuses mobiles	Coordonnées géographiques Para apport à la V.F.	Épaisseur	Situation par rapport à la V.F.	Lieu-dit	Observations
Cordon dunaire	X : 32°29'43" Y : 00°38'9.8" X : 32°29'43" Y : 00°38'9.8"	4-5m	Allongé NW-SE transversale para apport à la voie ferrée, coté NW de celle-ci	El-Oglat (PK62) 10km sud de Moghrar.	Oued bordant le cordon par sa rive droite
Cordon dunaire	X : 32°21'54.1" Y : 32°49'17.9"	4 – 6m	Allongé NW-SE transversale para apport à la voie ferrée, coté SE de celle-ci	A 2 km sud de Djenien Bourezg (PK87)	Oued bordant le cordon par sa rive gauche
Placage sableux Accumulation sableuse	X : 32°16'10.4" Y : 32°14'39.6" X : 00°56'11.5" Y : 00°57'49.3"	1-3m	Allongé NNW-SSE sub-perpendiculaire para apport à la voie ferrée	Oued Lakhdar Ex-Oued Zoubia, sud de Hdjret El M'gil.	Oued zoubia bordant l'accumulation pas sa rive gauche.
Barkhanes et Boucliers.	X : 31°46' 45.1" Y : 31°42' 59.9" X : 02° 05'06.5" Y : 02° 08' 14.2"	1-3m	De part et d'autre de la V.F, en direction W-E	Hassi El Houari PK 94, 95 à 15 km nord de Béchar	Oued Béchar bordant les champs de dunes par sa rive droite.

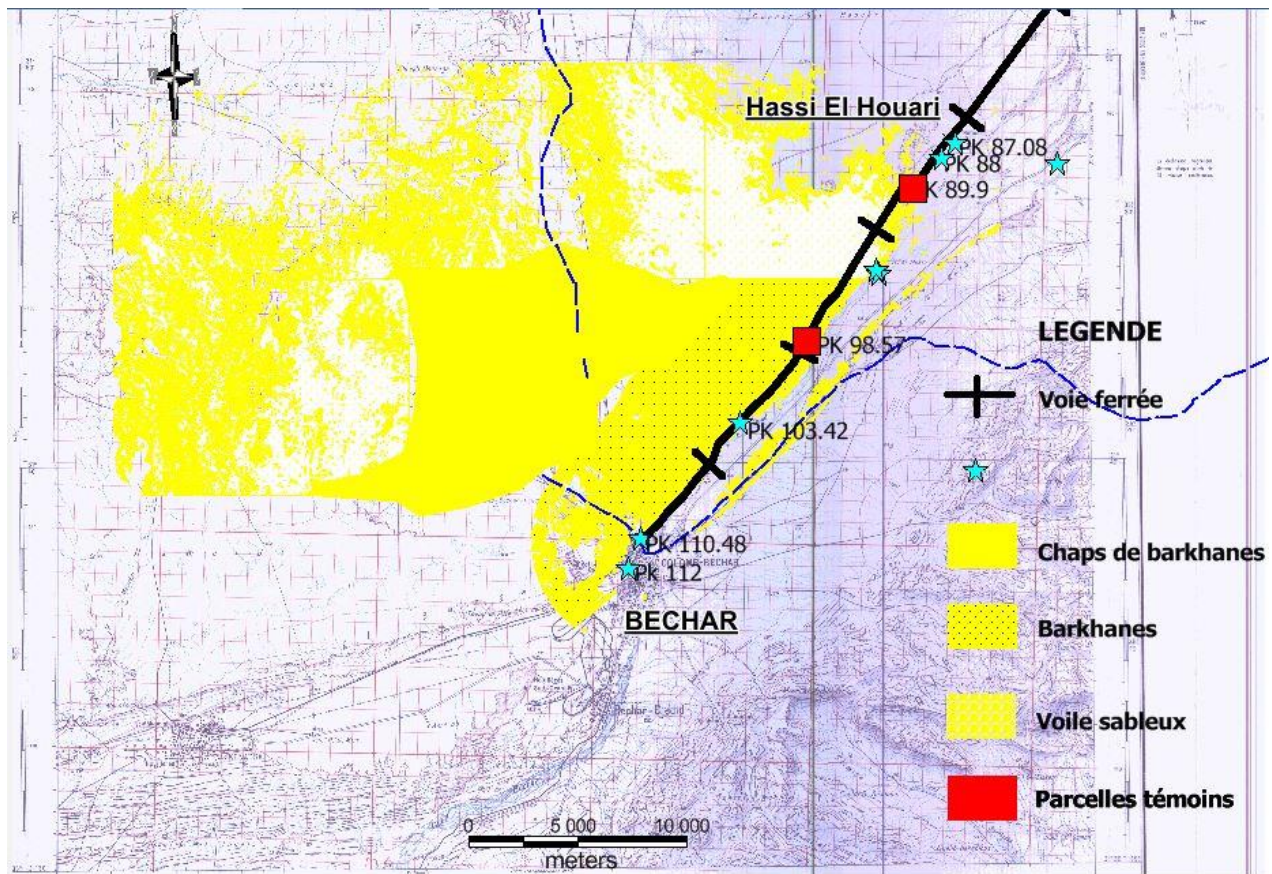


Fig. 25 : Classification d’image avant la VT (Vérité de Terrain); allusion spectrométrique et radiométrique (traitement à l’aide du logiciel ENVI).

5. Directions et mobilités des accumulations sableuses :

5.1. Parcelle témoin n°1 :

La mobilité du sable la plus fréquente relevée sur la parcelle témoin de Djenien Bourezg est dans l’ordre des directions N, NE et NW avec des taux de fréquences qui varient entre 13,95% et 18,60% du total des relevés. Il convient de noter toutefois, que les directions NNW et SSW sont aussi dominantes avec des taux de fréquences de 9,30%. Ensuite viennent en dernier les autres directions ENE, NNE, E, SE, S, SW, W et WNW avec des taux de fréquences oscillant entre 2,33 à 6,98 %. (Tab.7 Fig. 26).

Tableau 7 : Fréquence des directions de déplacement de sable, parcelle n°1, (Dejnien Bourezg).

	Directions																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
Fréquences	8	1	8	3	2	0	1	0	2	4	2	0	1	1	6	4	43
Totaux(%)	18,60	2,33	18,60	6,98	4,65	0,00	2,33	0,00	4,65	9,30	4,65	0,00	2,33	2,33	13,95	9,30	100

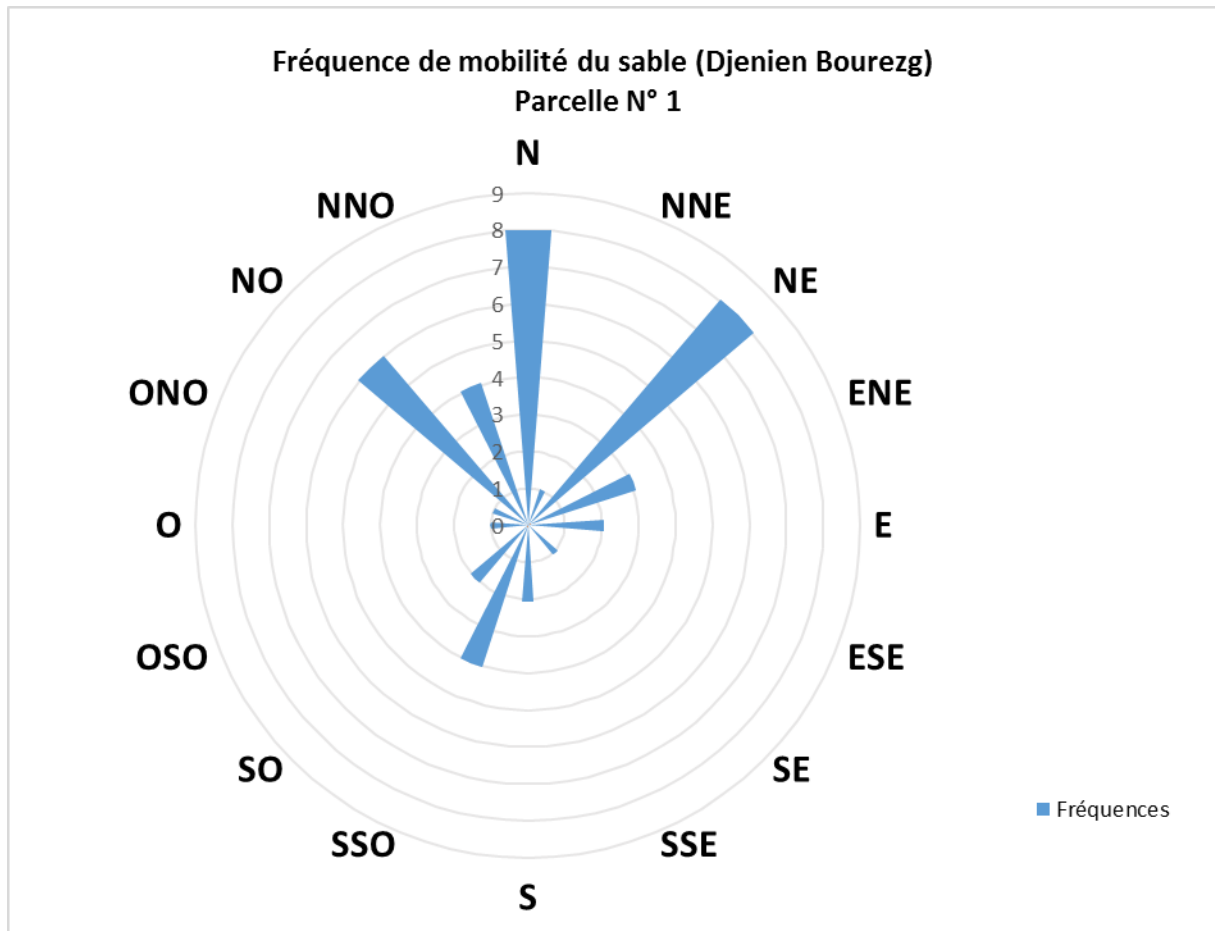


Fig. 26 : Fréquences des directions des mobilités de sable d’après les relevés de terrain, parcelle N°1 de (Djenien Bourezg) (mai, juin et juillet 2006).

5.2. Parcelle témoin n°2 :

Au niveau de la parcelle située à Oued Lakhdar, les fréquences des vents qui sont par ordre d’importance ; NE avec un taux de fréquence de 24,18% du nombre total des relevés, NNE avec un taux de fréquence de 17,58% et N avec un taux de 16,48%.

Ensuite viennent les vents de l’est qui sont relativement dominants ; ENE, E avec des taux de fréquences en égal valeur ; 8,79% et SE avec un taux de fréquence de 7,69 %.

En dernier, arrivent les vents à faible taux de fréquences oscillant entre 1,1% et 4,4%. Les vents du WNW, NW et ceux du NNW représentent des valeurs nulles, apparemment durant la période allant du mai au juillet 2006, ces vents-là, ne soufflaient pas. (Tab. 8 Fig. 27).

Tableau 8 : Fréquence des directions de déplacement de sable, parcelle N° 2 (OuedLakhdar).

	Directions																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
Fréquences	15	16	22	8	8	4	7	1	3	1	1	3	2	0	0	0	91
Totaux(%)	16,48	17,58	24,18	8,79	8,79	4,40	7,69	1,10	3,30	1,10	1,10	3,30	2,20	0,00	0,00	0,00	100

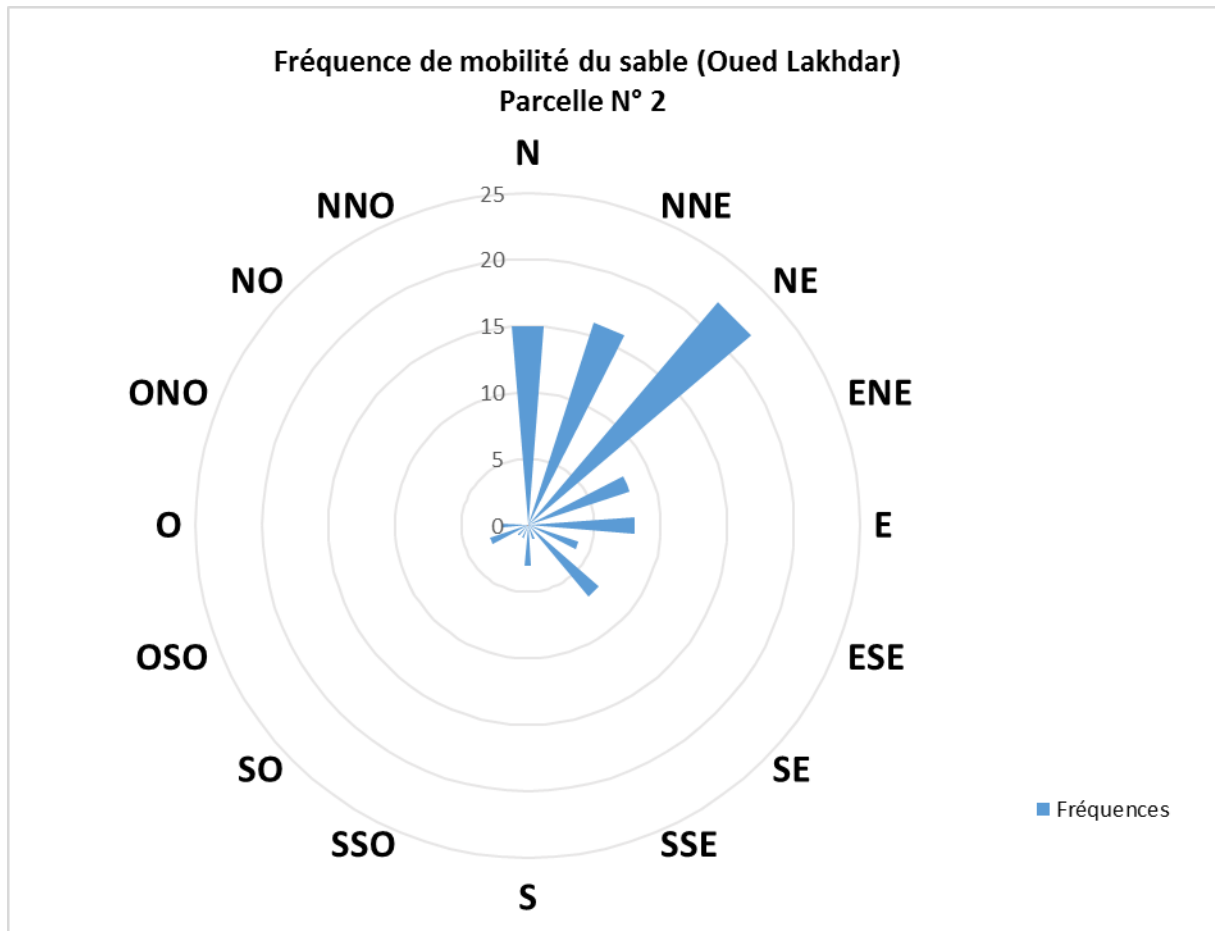


Fig. 27 : Fréquences des directions des mobilités de sable d’après les relevés de terrain, parcelle de l’Oued Lakhdar (mai, juin et juillet 2006).

5.3. Parcelle témoin n°3 (Hassi Houari) :

Un classement des vents par efficacité décroissante durant la période allant de mai à juillet 2006. Les directions des vents de sable les plus dominants sont portés par ordre d’importance, à savoir ;

Les vents les plus fréquents sont N, NNW, NW, SSW et NNE avec des taux de fréquences respectivement, 19,58%, 16,93%, 15,34%, 12,17% et 10,58%.

Ensuite viennent les vents relativement fréquents du WNW, SW et ceux de l’W avec des taux de fréquences qui varient entre 4,76% et 5,82%.

En dernier viennent les vents à faible les moins fréquents avec des taux de fréquences oscillant entre 0,53% et 3,17%. (**Tab. 9 Fig. 28**).

Tableau 9 : Fréquence des directions de déplacement de sable, parcelle N°3 (Hassi Houari)

	Directions																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
Fréquences	37	20	6	0	1	0	1	0	5	23	11	4	9	11	29	32	189
(%)	19,58	10,58	3,17	0,00	0,53	0,00	0,53	0,00	2,65	12,17	5,82	2,12	4,76	5,82	15,34	16,93	100

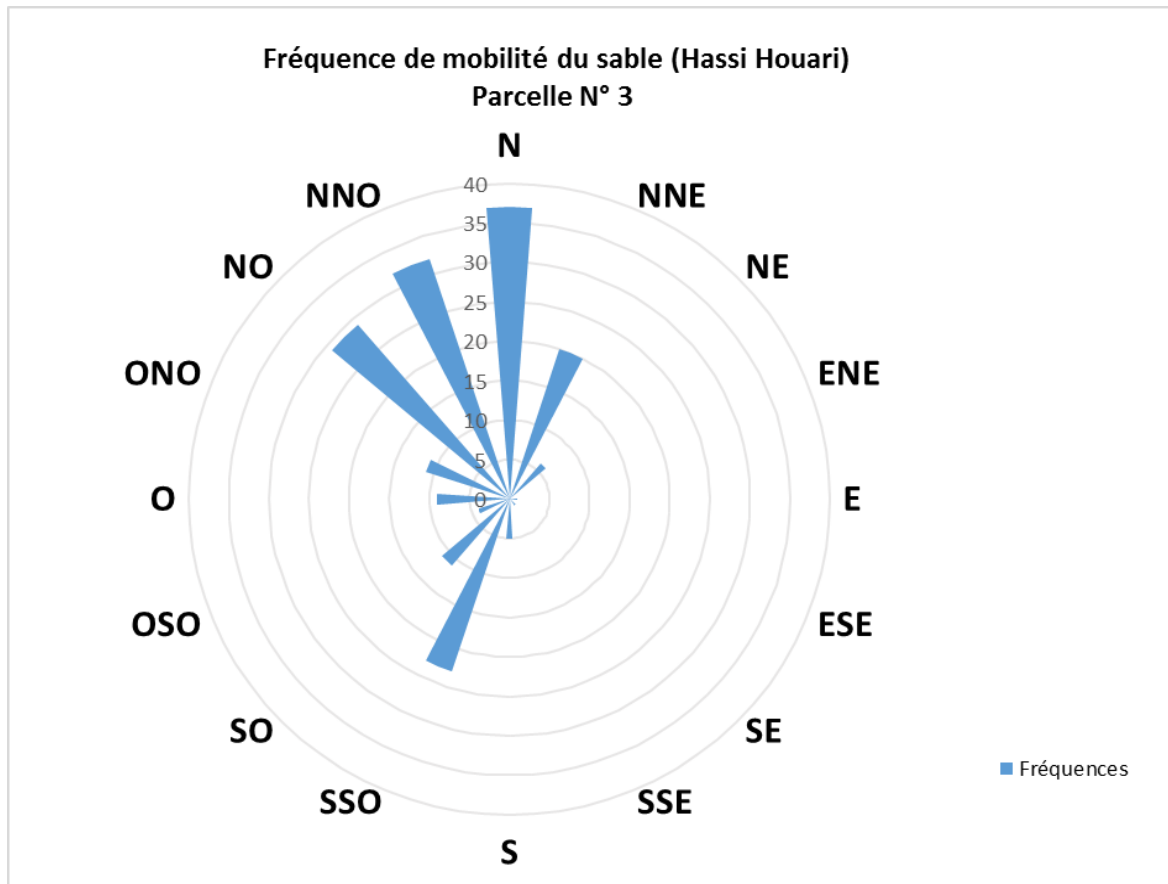


Fig. 28 : Fréquences des directions des mobilités de sable d’après les relevés de terrain, parcelle N° 3, Hassi Houari (période ; mai, juin et juillet 2006).

5.4. Parcelle témoin n°4 (Hassi Houari) :

Les directions des vents observés dans la parcelle n°04, sont par ordre d’importance N, WSW, NNW, NW avec des taux de fréquence respectivement 15,82%, 11,92%, 11,68%, et 10,46%. Auxquels on peut ajouter SSW avec un taux de fréquence de 9,98%, NNE avec 9% et WNW avec 8,76%.

En dernier viennent les vents moins fréquents avec des taux de fréquence qui varient entre 0,24% et 6,08%. (Tab. 10 Fig. 29).

Tableau 10 : Fréquence des directions de déplacement de sable, parcelle N°4 (Hassi Houari).

	Directions																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
Fréquences	65	37	19	11	4		3	1	9	41	20	49	25	36	43	48	411
(%)	15,82	9,00	4,62	2,68	0,97	0,00	0,73	0,24	2,19	9,98	4,87	11,92	6,08	8,76	10,46	11,68	100

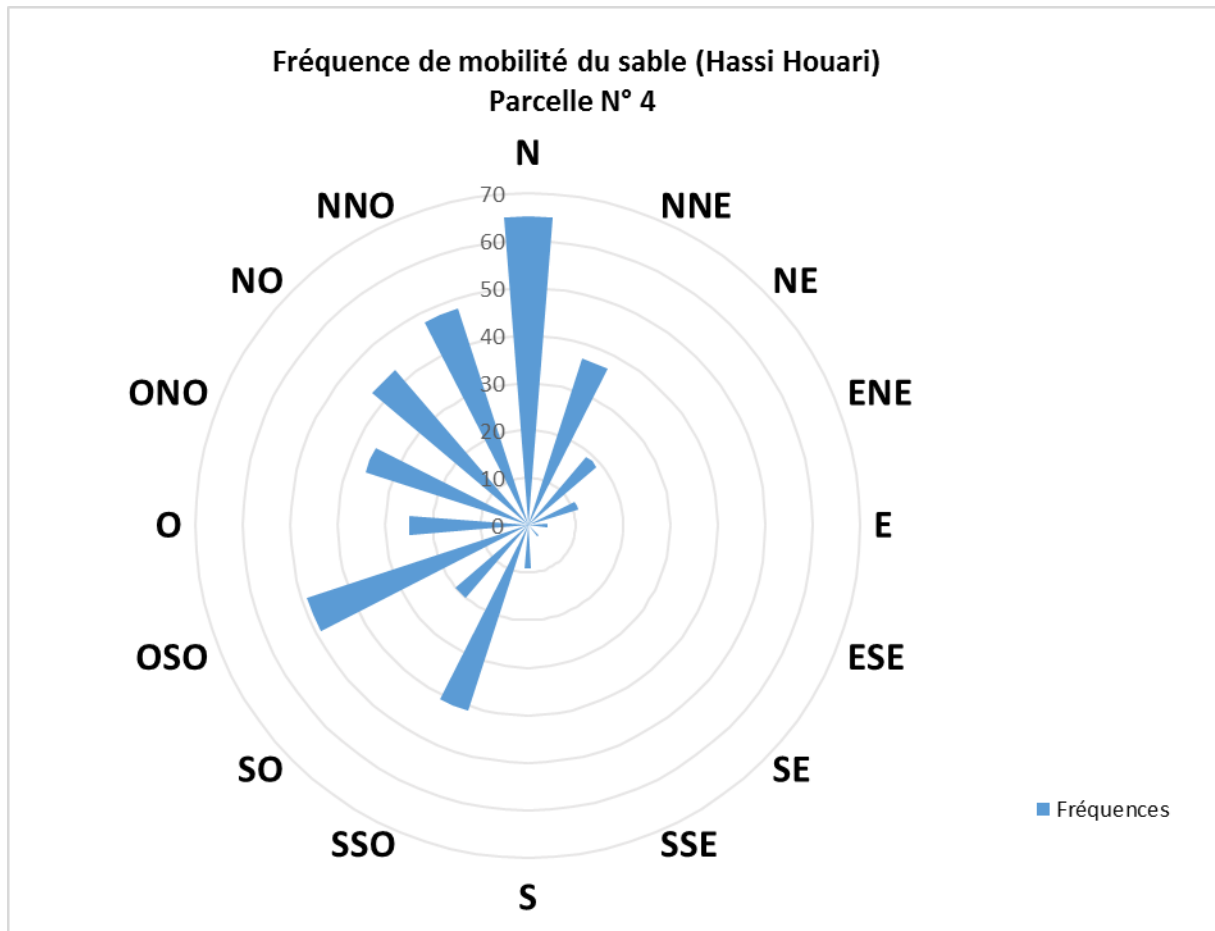


Fig. 29 : Fréquences des directions des mobilités de sable d’après les relevés de terrain, Hassi Houari, parcelle, n° 4 (mai, juin et juillet 2006).

5.5. Enregistrement du piège à sable à Hassi Houari :

Il ressort que les vents de sables les plus fréquents sont de l’ordre des directions NNW, NW et N avec des fréquences de directions respectivement 15,14 %, 1,51% et 10,81%. On peut y ajouter les vents fréquents WNW et W avec des taux respectivement 10,27 % et 9,73%. Ensuite viennent les vents relativement fréquent WSW, SW et NE avec des taux de fréquences qui varient entre 6,49 % et 8,11 %, le reste des vents de sables viennent en dernier avec des taux de fréquence oscillant entre 0,54 % et 3,78 %.(Tab. 11 Fig. 30).

Tableau 11 : Fréquence des directions des vents de sable, à proximité de la parcelle témoin de Hassi Houari, (mai 2006 à juillet 2006).

	Directions																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
Fréquences	20	15	12	7	5	1	1	2	0	6	12	14	18	19	25	28	185
Totaux(%)	10,81	8,11	6,49	3,78	2,70	0,54	0,54	1,08	0,00	3,24	6,49	7,57	9,73	10,27	13,51	15,14	100

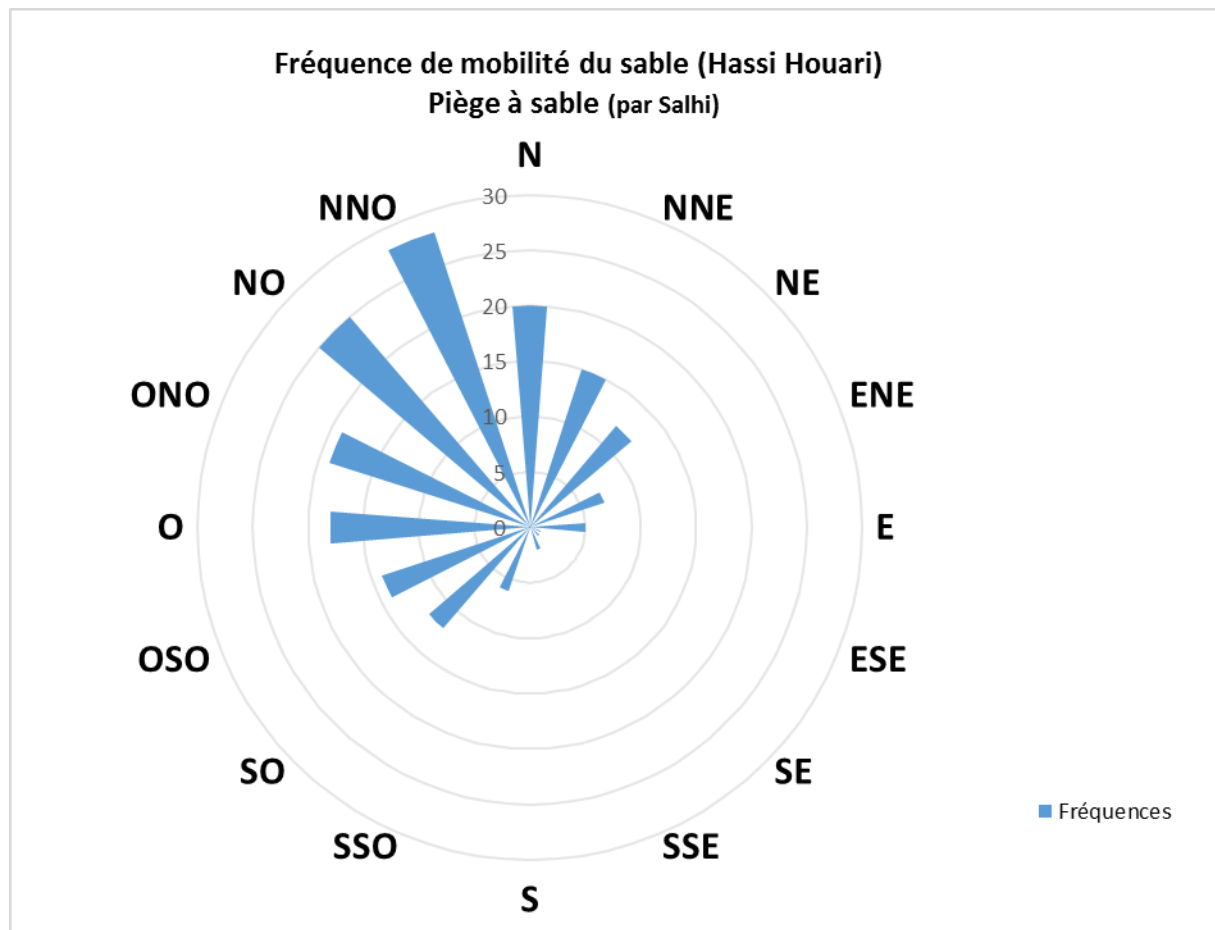


Fig. 30 : Fréquences des directions des vents de sable d'après les relevés du piège à sable, parcelle témoin n°3, de Hassi Houari, (mai, juin et juillet 2006).

6. Vitesse de mobilité calculée à partir des relevés des parcelles témoins :

6.1. Parcelle n°1, situé à 2Km au sud de Djenien Bourezg (Pk 87) :

La parcelle n°1, située à 2 Km au sud de la localité de Djenien Bourezg, montre un dynamisme éolien plus au moins calme, le pic correspond aux directions sud, SE, S et SSW avec des vitesses de mobilité de sable respectivement 0,14 m/h, soit 3,36 m/j, 2,16 m/j et 1,44 m/j. le minimum de vitesse correspond à la direction SW avec une valeur égale à 0,24m/j.

Il est à souligner qu'il n'existe pas une relation entre les taux de fréquences pour chaque direction et les valeurs de vitesses ; on y trouve d'importants taux de fréquences avec des vitesses minimales, tels que les directions N et NE qui ont des taux de fréquences élevés égal à 18,6% et 2,23% respectivement des vitesses ; 0,06 m/h (1,44 m/j) et 0,48 m/j.

Tableau 12 : Vitesses de mobilité calculées à partir de la parcelle témoin de Djenien Bourezg, (mai 2006 à juillet 2006). (Tab. 12 Fig. 31).

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Fréquences	8	1	8	3	2	0	1	0	2	4	2	0	1	1	6	4
Distances moy. (m)	1,45	0,4	0,36	0,4	0,82	0	3,4	0	2,2	1,55	0,12	0	0,88	0,7	1,45	1,18
Vitesses (m/h)	0,06	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00	0,14	0,00	0,09	0,06	0,01	0,00	0,04	0,03	0,06	0,05

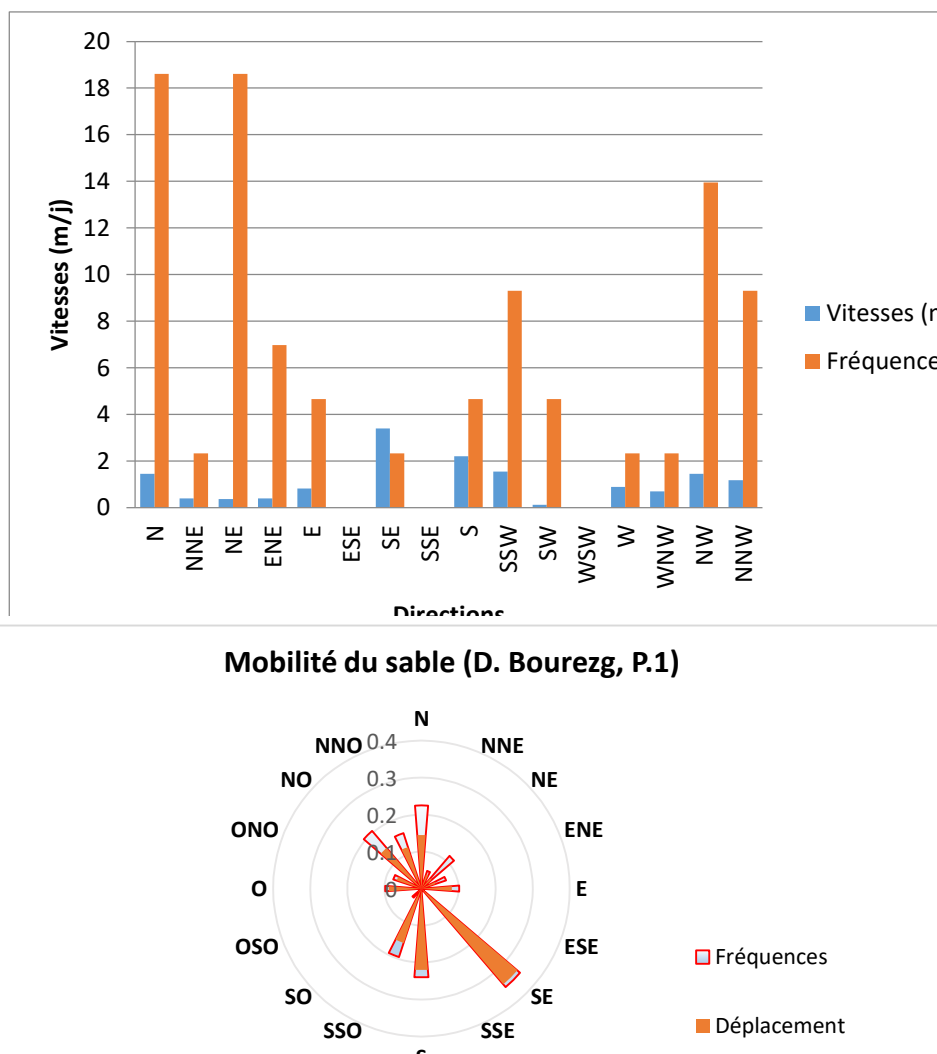


Fig. 31 : Vitesses de mobilité du sable et taux de fréquences, parcelle de Djenien Bourezg

6.2. Parcelle n°2 situé à proximité de l’Oued Lakhdar (Pk 104) :

La dune située près de la voie ferrée, à proximité d’Oued Lakhdar à une mobilité plus au moins dynamique, suivant les directions dominantes NNE et NE avec une égale vitesse pour les deux de 0,17m/h (4.02 m/j) et des taux de fréquences différents. 16% pour la première direction et 22% pour la deuxième, on peut ajouter à ceci la direction ENE avec un taux de fréquence de 8% et une vitesse égale à 0,13 m/h (3.12 m/j). Ensuite viennent les autres directions avec des vitesses variant entre 0,01 (0.24 m/j) m/h à 0,1 m/h (2.4 m/j) et des fréquences qui s’oscilles entre 1% et 8%.

Tableau 13 : Vitesses de mobilité calculées à partir de la parcelle expérimentale de Oued Lakhdar, (mai 2006 à juillet 2006). (Tab. 13 Fig. 32).

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Fréquences	15	16	22	8	8	4	7	1	3	1	1	3	2	0	0	0
Distances moy. (m)	1,3	4	4	3	2,3	2,23	2,07	1,4	1,06	0,25	0,15	1,73	1	0	0	0
Vitesses (m/h)	0,05	0,17	0,17	0,13	0,10	0,00	0,09	0,06	0,04	0,01	0,01	0,07	0,04	0	0	0

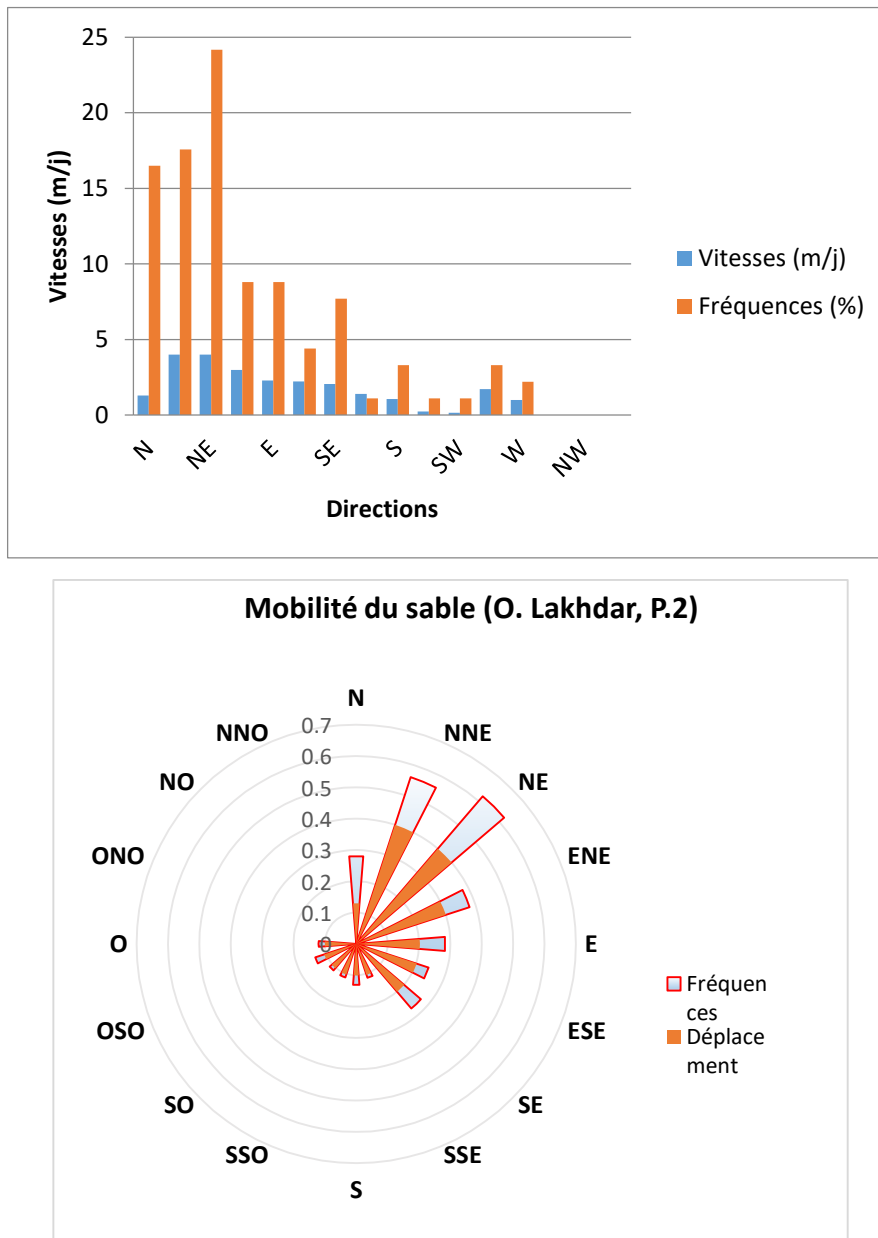


Fig. 32 : Vitesses de mobilité du sable et taux de fréquences, parcelle de l’Oued Lakhdar.

6.3. Parcelles n°3 située au lieu-dit Hassi Houari (Pk 94) :

Nous pouvons constater que les barkhanes se trouvant à l’intérieur de la parcelle témoin ont une mobilité très importante durant la période de mai à juillet, ceci pourrait être généralisé sur l’ensemble des barkhanes sur l’ensemble du champ dunaire. Les mobilités dominantes des barkhanes sont observées vers NNW, NW, WNW ; NNE, N avec des vitesses respectives de 0,36 m/h soit 8,64 m/j, 0,26 (6.24m/j), 0,23 (5.52m/j), et 0,22 (5.28 m/j). Ensuite viennent les WSW avec une vitesse de et W avec des taux mobilité de 0,17 m/h (4.08m/j) et un taux de fréquence de 4%. Les autres directions viennent en dernier avec des vitesses de l’ordre de 0,06 m/h à 0,12m /h avec des taux de fréquence variant entre 1% et 23%, ce taux n’a aucune

relation avec les valeurs des vitesses de mobilité des barkhanes. La direction SSE montre une immobilité durant toute la période allant de mai à juillet 2006.

Tableau 14 : Vitesses de mobilité calculées à partir de la parcelle témoin N°3 de Hassi Houari, de la voie ferrée, (mai 2006 à juillet 2006). (Tab. 14 Fig. 33).

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Fréquences	37	20	6	1	1	1	1	0	5	23	11	4	9	11	29	32
Distances moy. (m)	5,29	5,5	2,66	2,62	1,45	1,35	2,8	0	2	2,46	2,04	4,1	3,65	5,56	6,2	8,61
Vitesses (m/h)	0,22	0,23	0,11	0,11	0,06	0,06	0,12	0,00	0,08	0,10	0,09	0,17	0,15	0,23	0,26	0,36

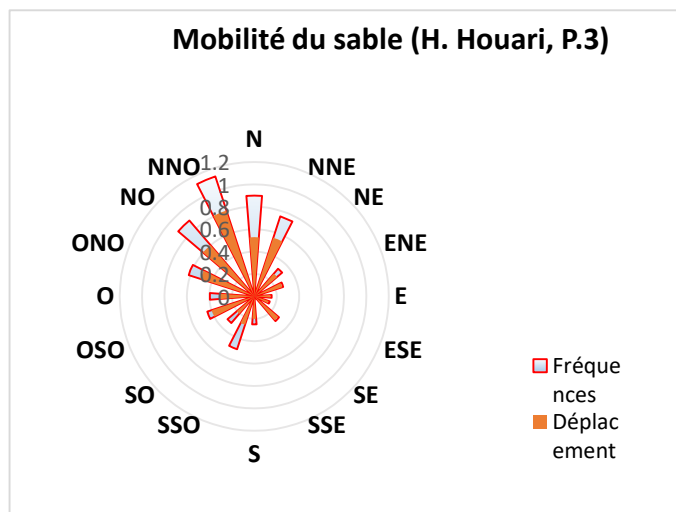
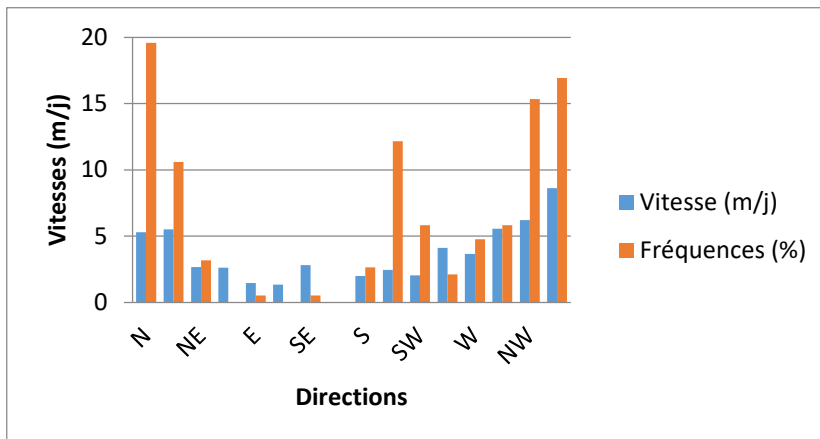


Fig. 33 : Vitesses de mobilité du sable et taux de fréquences, parcelle de Hassi Houari, parcelle N°3

6.4. Parcelle n°4 située au Pk 95 (Hassi Houari) :

Les barkhanes qui sont à l’intérieur de la parcelle témoin se trouvant à près de la voie ferrée, en direction NNW-SSE, sont aussi à mobilité de déplacement très rapide. Nous distinguons donc une première classe de vitesse qui englobe principalement les directions WNW et NW avec des vitesses de déplacement et des taux de fréquences respectivement 0,40 m/h soit 9,6

m/j (36%) et 0,30 soit 7.2 m/j (43%). Second, viennent les directions NNW, N, NNE, NE on peut y ajouter W, WSW et SSW avec des vitesses variantes entre 0,16 m/h à 0,20 m/h, avec des taux de fréquences oscillant entre 19% et 65%. En dernier viennent les autres directions SW, S, SE, E avec des vitesses de mobilité oscillant entre 0,04 m/h et 0,11 m/h et des taux de fréquences variant entre 3% et 20%. On note une immobilité pendant la période allant de juin à juillet pour les directions SSE, ESE et ENE.

Tableau 15 : Vitesses de mobilité calculées à partir de la parcelle témoin N° de Hassi Houari, de la voie ferrée, (mai 2006 à juillet 2006). (Tab. 15 Fig. 34)

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Fréquences	65	37	19	11	4	0	3	1	9	41	20	49	25	36	43	48
Distances moy. (m)	4,62	3,75	4	0	1,9	0	1	0	1,8	3,44	2,57	4,47	4,31	9,56	7,3	4,88
Vitesses (m/h)	0,19	0,16	0,17	0,00	0,08	0,00	0,04	0,00	0,08	0,14	0,11	0,19	0,18	0,40	0,30	0,20

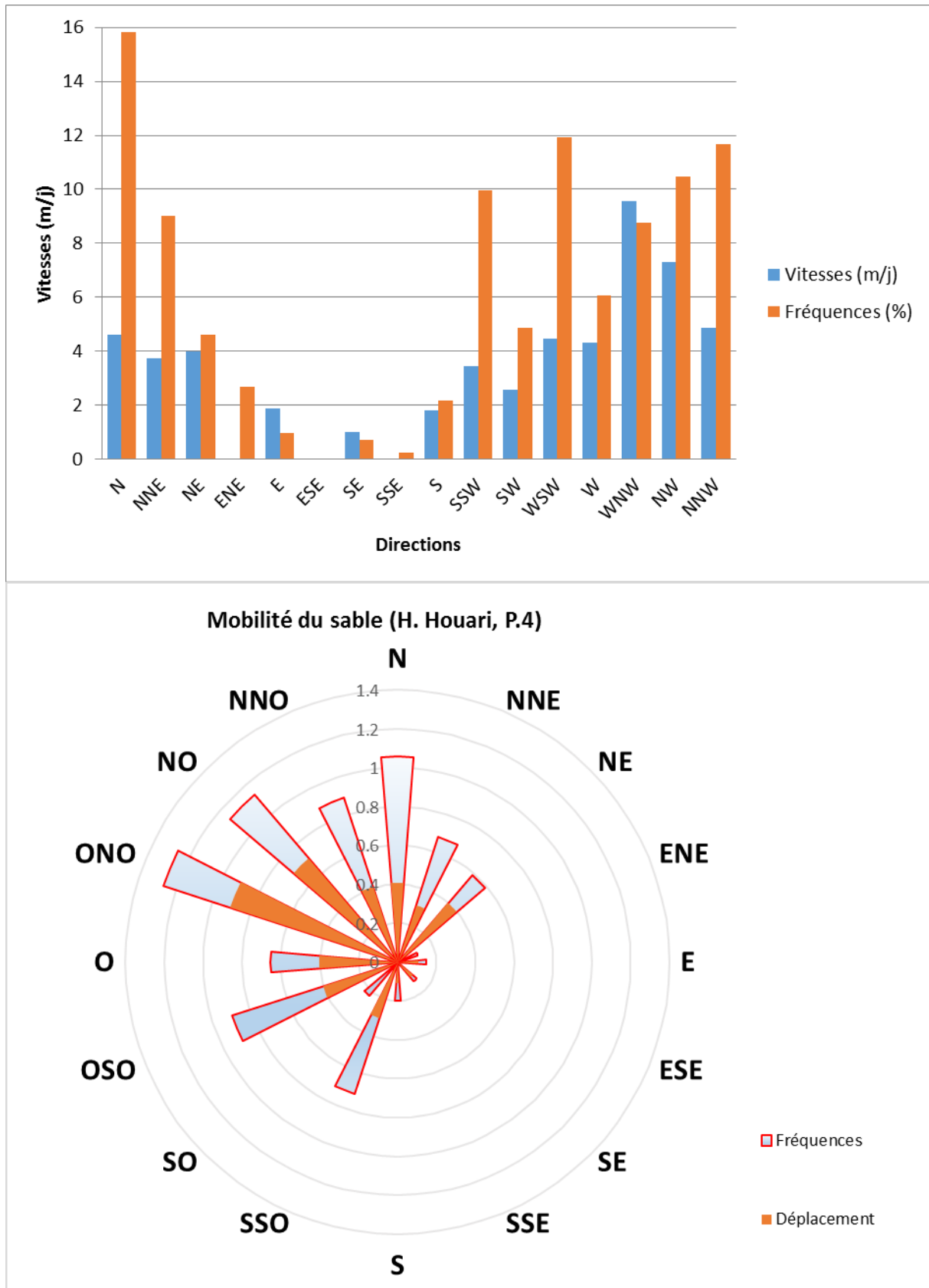


Fig. 34 : Vitesses de mobilité du sable et taux de fréquences, parcelle N°4 (de Hassi Houari)

7. Distribution granulométrique :

Les échantillons ont été prélevés spatialement depuis les trois parcelles témoins ; deux échantillons au niveau de Djenien Bourezg (Echantillons n°1 et 2), deux échantillons au niveau de l'Oued Lakhdar (Echantillons n°3 et 4) et en dernier deux échantillon au niveau du champ barkhanique de Hassi Houari ((Echantillons n°5 et 6), soit 8 échantillons au total.

En générale, les échantillons de sable étudiés ne comportent pas la classe du sable très grossier (particules entre 1 et 2mm). Sauf que les sables grossiers (particules entre 0,5 à 1mm) sont peu présents à l'exception des échantillons n° 3 et 4 prélevés au niveau d'Oued Lakhdar, sur le flanc sud-ouest des rides marquées sur la dune, avec une fréquence maximale de l'ordre de 23.43%. (Fig. 35).

Cependant, tous les échantillons de sable analysés sont composés d'une fraction entre

Le sable du flanc de la ride, échantillon 1 à Djenien Bourezg, est composé d'un ensemble dominant constitué de 67.8% de sables moyens (particules à 0.250 mm et 0.315 mm) et un deuxième ensemble formé de 35.39% de sables fins (particules à 0.160 mm et 0.2 mm), pour l'échantillon 2 prélevé au niveau du cordon dunaire dans la même région, est composé par du sable avec successivement 32.17% (diamètre de 0.250 mm et 0.315 mm) et 14.6% (diamètre de 0.160 mm et 0.2 mm).

Le sable analysé pour les échantillons 3 et 4, Oued Lakhdar, au niveau des rides de la dune présente consécutivement une fraction dominante (entre 0.5 mm et 0.65 mm), qui a tendance à un sable grossier, avec 47,51% et 35.1%. (Fig. 35).

Les 4 échantillons restants analysés, Hassi Houari, au niveau du champ barkhanique présentent pour la plupart un sable moyen prédominant et un sable fin en second ordre ; échantillon 5 ; 32.91% (diamètre de 0.250 mm et 0.315 mm) et 25.39 % (0.160 mm et 0.2 mm). L'échantillon 6 avec 38.27% (0.250 mm et 0.315 mm) et 27,2 % (0.160 mm et 0.2 mm). Les échantillons 7 et 8 ; 47,2%, 45% (0.160 mm et 0.2 mm) et 43,2%, 36% de la fraction (0.250 mm et 0.315 mm). (Fig. 35).

Alimen (1951), Oulehri (1992) et El-Ghannouchi (2007), ont démontré que dans des différents sables barkhaniques dans le monde, , « *les sables de crête sont plus grossiers que ceux du dos et du front de la barkhane. Ceci est justifié par la dynamique des filets d'air sur la dune barkhanique, la vitesse de ces filets sur le dos de la dune (côté face au vent) est maximale en proportion à la hauteur de la dune (Finkel, 1959) assurant la mobilisation des sables grossiers vers le haut ; une fois arrivés au sommet, un phénomène de succion intervient dû à l'incurvation des filets d'air, ce qui entraine les particules fines vers le bas et laisse les sables grossiers sur la crête (Melton,1940).*».

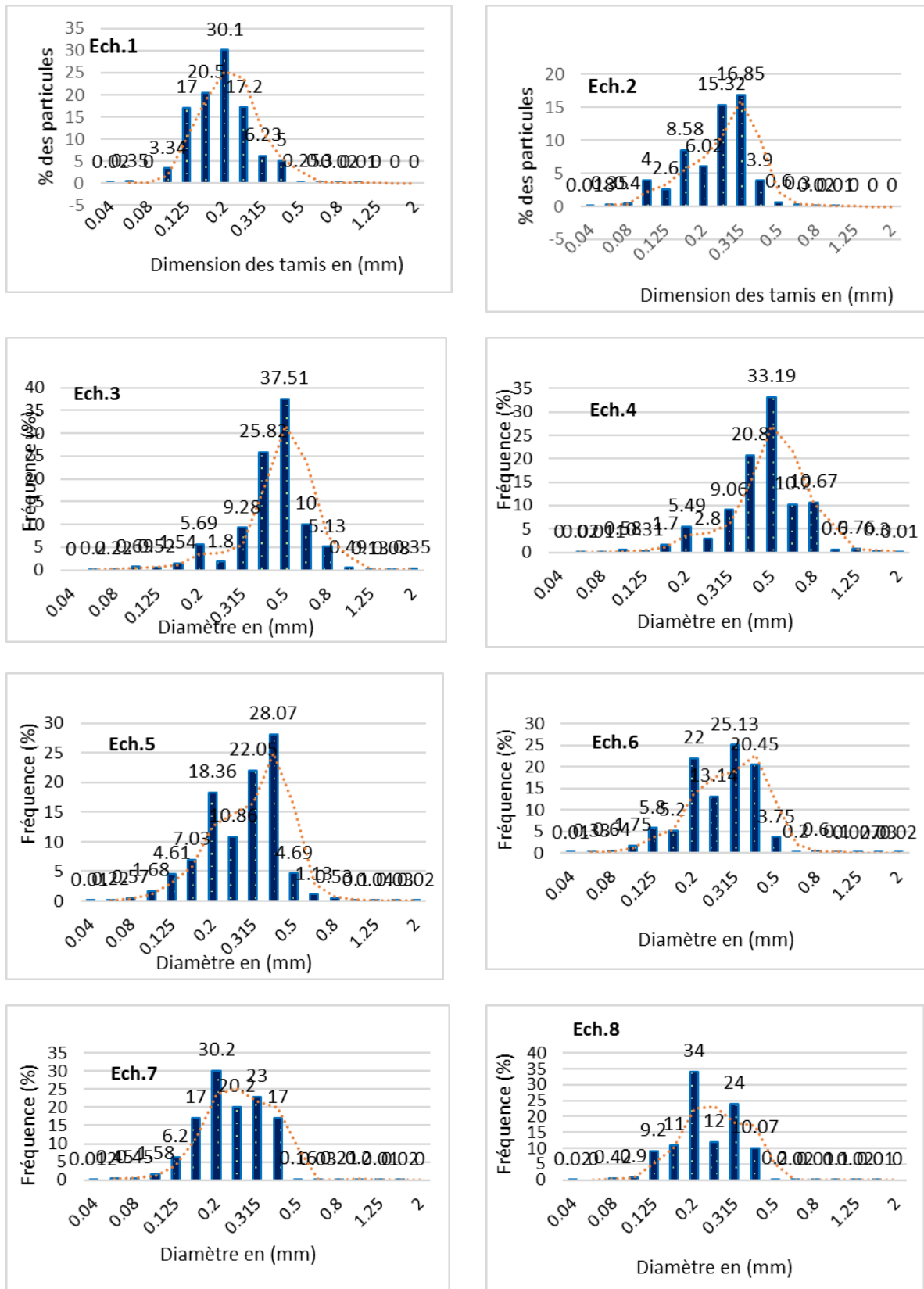


Fig. 35 : Courbe granulométrique et distribution des fréquences simples (Fs) et fréquences cumulées (Fc), (compagne juin 2006).

8. Conclusion et discussion :

Dans ce chapitre nous avons abordé un état des lieux détaillé de 178 km du tronçon ferroviaire étudié, depuis Djenien Bourezg à Hassi Houari, passant par Béni Ounif. En premier, un diagnostic a été établi, repérant ainsi les points kilométriques à risque d'ensablement. Ensuite, quatre (04) parcelles témoins ont été implantées dont deux à Hassi Houari, géoréférencées et délimitées par des piquets suivant les 16 directions. Les mesures ont été faites quotidiennement du mai au juillet 2006 ; tels que les mesures de déplacement et de direction par apport aux piquets, des rides, des cordons, des barkhanes et autres accumulations sableuses.

Les résultats ainsi obtenus, montrent que la migration du sable au voisinage de la voie ferrée est plus importante dans la région de Hassi Houari qu'à Djenien Bourez et Oued Lakhdar. Les vitesses calculées donnent des chiffres alarmants...il a été tout de même constaté sur terrain que certaines barkhanes par exemple traversent la voie ferrée en une journée ou une nuitée ! d'où le risque sur la sécurité des trains ; risque de déraillement.



Le traitement des fréquences par rosace (programme) a révélé qu'il n'y a aucune relation entre les taux de fréquences pour chaque direction dominante et les valeurs de la vitesse de migration du sable ; à titre d'exemple, à Djenien Bourezg on y trouve d'importants taux de fréquences avec des vitesses minimales, tels que les directions N et NE qui ont des taux de fréquences élevés égal à 18,6% et 2,23% respectivement des vitesses ; 0,06 m/h (1,44 m/j) et 0,48 m/j.

Les taux de fréquence par direction à Djenien Bourezg (N, NE et NW), avec des vitesses de mobilité de sable allant de 1,44m/j à 3,36m/j dont le pic correspond aux directions sud.

A Oued Lakhdar, une prédominance des fréquences NE, NNE avec une mobilité plus au moins dynamique, suivant les mêmes directions dominantes presque avec une égale vitesse pour les deux ; 4,02 m/j et des taux de fréquences différents, 16% pour la première direction et 22% pour la deuxième.

Toutefois, à Hassi Houari, la fréquence au niveau de la parcelle n°3 (N, NNW, NW, SSW et NNE) avec des mobilités dominantes des barkhanes observées vers NNW, NW, WNW ; NNE, N avec une vitesse qui atteint 8,64 m/j. La parcelle n°04 ; les fréquents sont WNW et NW avec une vitesse de migration de sable qui arrive à 9,6 m/j (WNW). Bref, le champ barkhanique ou barkhanoïdal de Hassi Houari est très dynamique et à haut risque de déraillement des trains.

L'analyse granulométriques sur la totalité des parcelles a indiqué qu'il s'agissait d'un sable moyen à fin, les particules grossières sont quasiment absentes, et ce sur les flancs des rides, les amas sableux et les cordons dunaires.

Chapitre 3 :**ELEMENTS D'EXPLICATION DU PHENOMENE
D'ENSABLEMENT****INTRODUCTION :**

Dans ce dernier chapitre, nous présenterons dans un premier volet une synthèse hydrographique et hydrologique qui nous amènera à une caractérisation du Bassin hydrologique par la mise en exergue des paramètres morphométriques des sous bassins versants qui jalonnent la voie ferrée de Djenien Bourezg au sud de Béni-Ounif jusqu'au lieu-dit Hassi Houari. Ces sous bassins versants qui interviennent de façon combinée dans les modalités de l'écoulement et par conséquent de l'érosion hydrique.

Dans un deuxième volet, nous exposerons d'une part une synthèse climatique par laquelle nous ferons ressortir les éléments en interaction avec le phénomène d'ensablement, notamment par apport à la voie ferrée. D'autre part nous mettrons l'accent sur les extrêmes de pluies, des crues responsables de l'apport solide généralement riche en sable, ainsi un aperçu sur les amplitudes des températures qui accentuent le phénomène d'ensablement par l'effet de thermoclastie ; les roches s'effritent quand il y a un grand écart de température entre le jour et la nuit par exemple ou entre l'hiver et l'été.

Quant à l'agent principale qui est le vent, nous avons préféré de réserver tout un chapitre qui sera le quatrième (le dernier).

1. Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chéneaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant (J.P. Laborde, 2003). Dans les Monts des Ksour, l'ensemble des reliefs est entaillé sous l'effet de l'érosion fluviale engendrant un système d'affluents et de thalwegs légèrement symétriques par rapport à la ligne de partage des eaux. Le réseau est constitué par des oueds à écoulement généralement vers le sud et sud-ouest, guidés parfois par l'allongement de direction nord-est sud-ouest des reliefs. Les principaux oueds sont : au nord de Béni-Ounif ; l'Oued Zoubia, l'Oued Er Rmel et l'Oued Douis. Ces oueds ont leur source dans les Djebels Béni Smir et Mahrem. Le plus souvent, ces oueds sont à sec et leur écoulement de type temporaire, avec parfois de grandes crues.

1.1. Les grands Bassins versants et pouvoir érosif :

Nous se contentons des deux grands Bassins qui sont en relation avec la voie ferrée, généralement se sont des sous-Bassins qui sont impliqués dans le phénomène d'ensablement de la voie ferrée à petite échelle.

1.1.1. Bassin de l'Oued Zouzfana :

L'Oued Zouzfana prend sa source dans les Monts des Ksour à une altitude de 1600m. Son bassin versant amont jusqu'à la confluence entre l'Oued Guir et l'Oued Zouzfana dans la région d'Igli (d'où son nom berbère), s'étend sur 16600 km², après un parcours de 360 km.

Son principal affluent est l'Oued Zoubia. A l'aval le cours d'eau très dégradé fonctionne comme un canal de dérivation.

L'analyse de la cartographie géologique évoquée dans le chapitre qui précède, nous laisse à avancer une hypothèse sur le fait que l'Oued Zouzfana ainsi que son affluent Oued Zoubia constituent **une importante source potentielle de sables**, résultante de l'érosion des formations gréseuses qui prédominent le bassin versant, notamment l'amont de l'Oued Zouzfana, Djebel Maiz, ainsi les colluvions du piedmont, les alluvions et les terrasses alluviales.

1.1.2. Bassin de l'Oued Béchar :

L'Oued Béchar prend sa source vers 1600m d'altitude dans le Djebel El Antar. Il descend rapidement sur la Hamada où il reçoit de nombreux affluents venant des Djebels Horreït et Béchar dont le plus important est l'Oued Sfeiah. La superficie drainée par l'Oued Béchar est de l'ordre de 5.800 km². Après un parcours d'une centaine de kilomètres, il s'ensable et se perd dans une dépression naturelle dite Daiët Tiour. L'Oued Béchar est par excellence le maître de **l'apport sableux**, de nombreuses sablières exploite abusivement le matériau alluvionnaire et le sable au niveau du large de l'Oued.

Ces oueds se transforment souvent en de véritables torrents, lors de rares précipitations diluviennes, telles que les crues spectaculaires de 2008 que tenterons de les expliquer dans ce chapitre.

1.2. Bassins versants et apports :

La quantification des apports liquides permet d'avoir une idée sur les sédiments sableux qui constituent le plus souvent des sources nourricières de sable à la faveur des vents. Nous nous intéressons donc que des bassins susceptibles de donner un ordre de grandeur des apports.

1.2.1. L'apport de l'Oued Béchar :

D'une superficie de 1520 km², à Béchar ville, le débit moyen est de l'ordre de 0,056 m³/s, soit un apport de 1,766 Hm³/an (données ANRH, 1995).

1.2.2. L'apport de l'Oued Zouzfana :

D'une superficie de 3670 km², au niveau de Béni-Ounif, un débit de 0,136 m³/s, l'apport de son affluent (2215 Km²) serait de 0,082 m³/s. A la sortie de l'Atlas, la Zouzfana aurait un débit de 0,218 m³/s et un apport de 6,875 Hm³/an, (données ANRH, 1995).

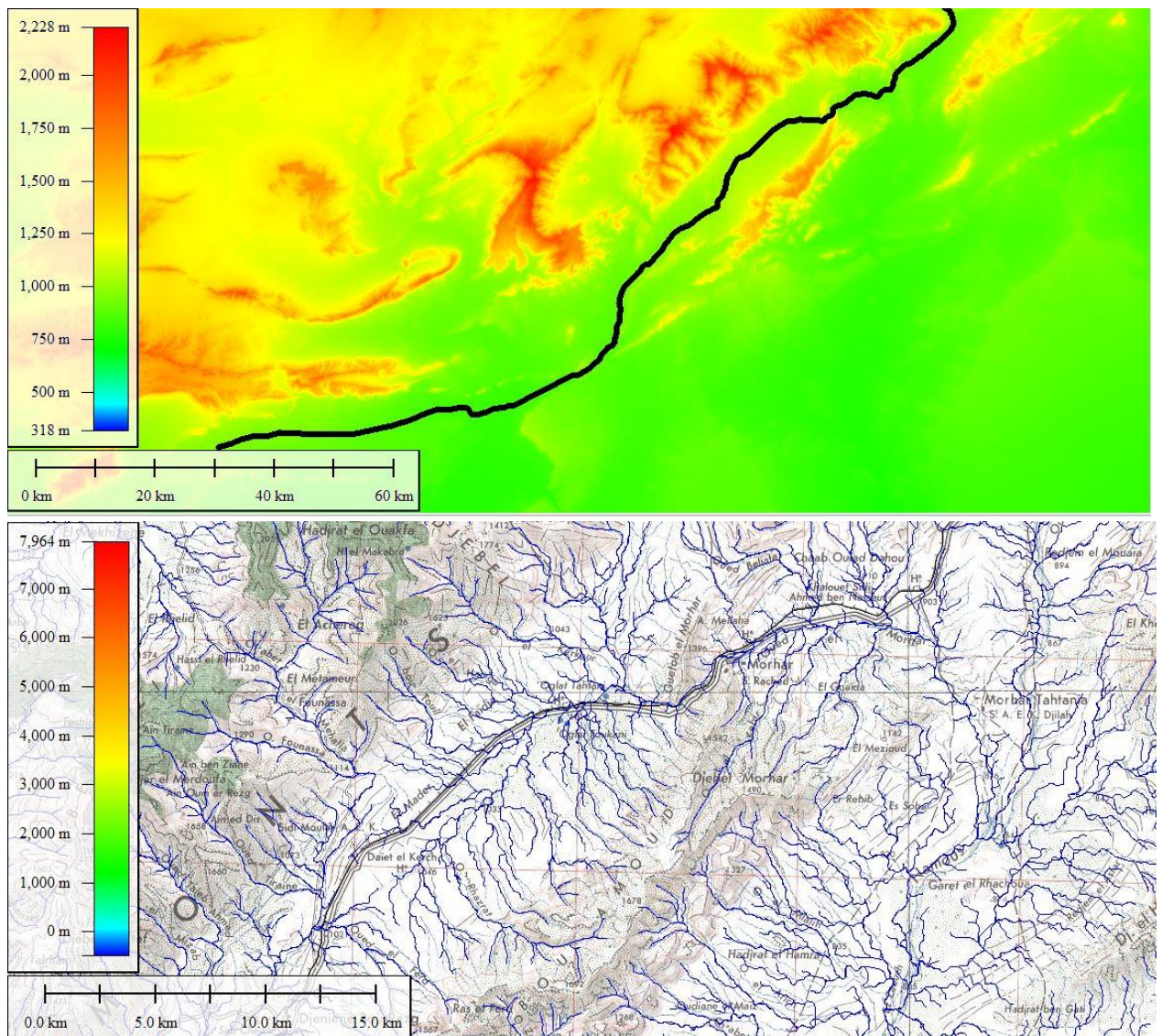
Pour les régions sahariennes, les conditions d'écoulement sont différentes, il n'y a presque plus d'apport des bassins intermédiaires. Les débits aux contraires diminuent d'amont vers l'aval. A côté de ces principaux oueds cités ci-dessus, il existe naturellement une multitude d'autres oueds dont la plupart n'atteignant pas les dépressions, aussi qu'ils ne traversent pas la voie ferrée.

1.3. Morphométrie des bassins :

1.3.1. Un réseau hydrographique dense :

Nous nous contentons que sur les sous bassins versants en étroite relation avec la voie ferrée entre Djenien-Bourez et Béni Ounif, (Fig.36, 37 et 38), montrent qu'il s'agit bien d'un réseau hydrographique très dense où la plupart des Oueds coulent vers le sud ainsi que les altitudes baissent brutalement vers la hamada au Sud (du nord-ouest vers le sud-est), (Fig.36, 37).

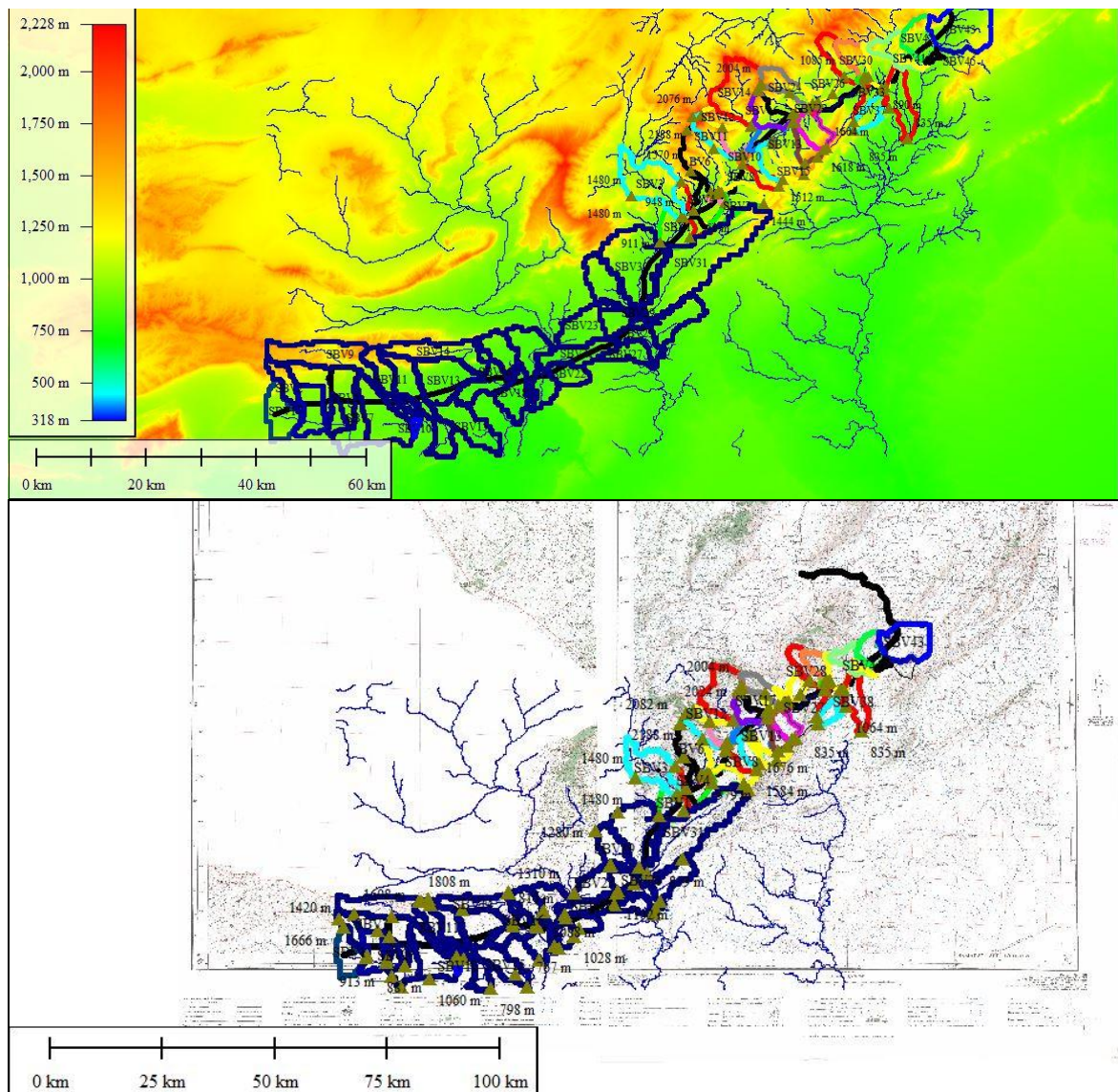
Cette variation d'altitude, (Fig.36, 37 et 38), s'interprète d'une part par l'état de vieillesse des bassins versants, et d'autre part, à la présence de la flexure sud-atlasique SW-NE qui est marquée par la jonction de plusieurs chaînons montagneux aux confins et au-delà de la frontière algéro-marocaine.



Le trait en noir gras représente le tracé ferroviaire (projection GWS.84, UTM NS, C.1880)

Fig. 36 : Réseau hydrographique très dense et hypsométrie abrupte ; couloir orographique.

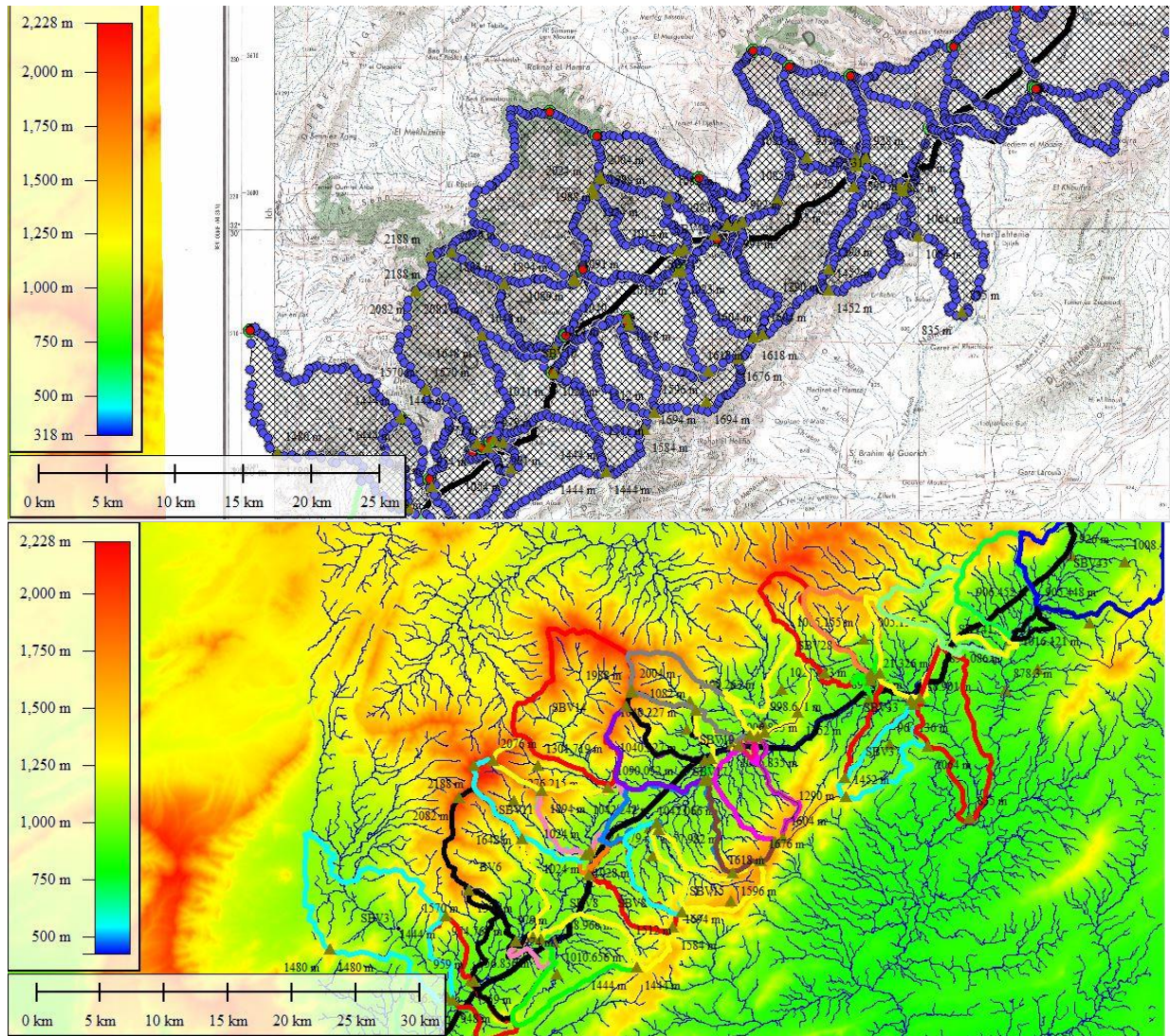
1.3.2. Délimitation des sous-Bassins versants en relation avec la voie ferrée :



Le trait en noir gras représente le tracé ferroviaire (projection GWS.84, UTM NS, C.1880)

Fig. 37 : Situation générale des sous Bassins-versants de Djenien Bourezg - Béni Ounif.

La délimitation des sous-Bassins versant a été faite à l'aide de SIG.



Le trait en noir gras représente le tracé ferroviaire (projection GWS 84, UTM NS, C.1880)

Figure 38 : Délimitation des sous Bassins versants, par rapport à a voie ferrée ; partie Nord-Est

Résultats du traitement des paramètres morphométriques des sous Bassins ; partie dessinant le couloir orographique entre Djebel Mzi, Mir El Djebel et Dj Bouamoud que la pente des sous bassins versants délimités entre le couloir orographique allongé Nord Est Sud-Ouest est très importante.

Les différents paramètres morphométriques des Bassins versants et des sous bassins, jouent un rôle primordial dans la distribution de l'apport solide et l'écoulement.

Tableau 16 : résultats du traitement automatique par SIG des sous bassins versants sélectionnées dans la partie nord-est. (Fig. 39).

Périmètre (Km2)	Zmax	Zmin	Pente moyenne (%)	Superficie (Km2)
23.275 km	1054	973	4.82	3.521
10.199 km	1290	887	6.46	11.882
31.72 km	1676	1023	11.94	16.536
31.764 km	1512	1038	4.38	18.259

32.52 km	1584	1021	4.66	18.336
49.016 km	2076	1091	32.05	18.771
29.121 km	1444	948	11.02	19.844
41.922 km	1352	992	4.76	19.91
20.991 km	1452	887	8.62	20.41
27.67 km	1988	1010	16.37	20.448
36.699 km	1694	1040	15.5	21.393
22.359 km	933	924	3.16	22.713
27.846 km	2188	1028	32.23	24.048
22.156 km	928	890	3.34	25.108
38.343 km	1085	920	10.37	25.33
25.657 km	1954	1014	6.81	25.416
27.666 km	1894	1024	13.07	25.451
20.748 km	1570	959	5.73	26.487
22.65 km	1618	991	6.29	27.143
28.274 km	2004	998	22.46	28.135
26.819 km	1444	981	5.49	35.382
41.734 km	1596	1019	4.15	37.173
25.974 km	1648	979	6.24	37.975
35.213 km	1064	835	5.04	39.074
20.867 km	2082	974	25.67	53.425
23.436 km	1604	902	16.65	62.405
21.34 km	1480	948	10.81	72.772
29.011 km	2024	1089	31.82	75.41

29 sous bassins versants avec un réseau hydrographique dense.

Pente moyenne = 11.78%

Altitude maximale = 2188m.

Altitude moyenne = 1279m.

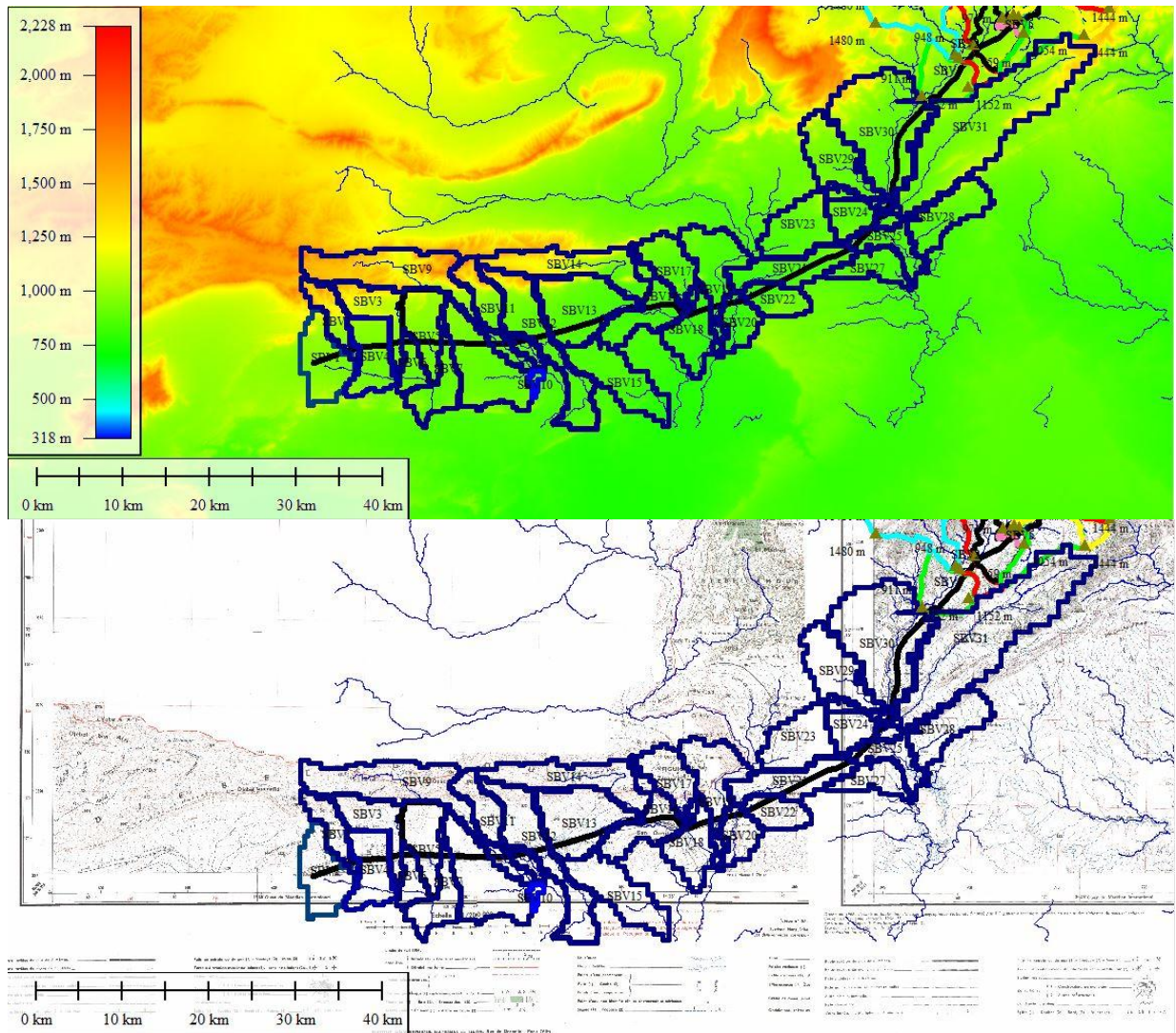


Fig.39 : Délimitation des sous Bassins versants, par apport à a voie ferrée ; partie Sud-Ouest.

Tableau 17 : résultats du traitement automatique par SIG des sous bassins versants sélectionnées dans la partie sud-ouest. (Cf. 36, 37, 38 et 39)

Périmètre	Zmax	Zmin	Pente moyenne (%)	Superficie (Km2)
89.504 km	1808	866	22.49	92.35
40.305 km	1608	913	8.33	34.85
34.798 km	1666	936	19.56	23.74
35.479 km	1420	930	3.12	44.04
34.361 km	1482	887	2.55	35.62
35.449 km	1204	910	2.54	37.63
42.561 km	1062	851	2.62	30.28
24.139 km	988	885	2.42	14.95
51.547 km	1060	866	2.01	67.34
49.264 km	1820	860	3.65	33.89
70.698 km	1602	798	2.3	66.94
58.532 km	1736	830	17.62	59.45
42.416 km	1582	834	2.4	63.40

46.945 km	878	767	1.82	51.11
52.157 km	1310	814	2.28	39.36
36.254 km	1368	811	2.97	32.37
54.508 km	1088	794	2.62	48.71
41.198 km	1160	840	2.96	45.17
43.491 km	1102	808	3.24	39.88
24.371 km	1002	810	4.98	23.46
29.866 km	1028	793	2.25	23.07
40.151 km	1072	784	1.87	36.06
60.328 km	1638	864	4.46	108.16
57.724 km	1280	868	3.01	46.32
94.128 km	1462	868	6.43	164.99
45.154 km	1308	839	3.22	41.70
40.124 km	1070	832	3.19	23.40
33.263 km	934	831	2.33	24.06
25.367 km	1186	854	3.35	25.45

29 sous bassins versants sont le chevelu hydrographique est dense.

Pente moyenne = 4.91%

Altitude maximale = 1820m.

Altitude moyenne = 1077m

Altitude moyenne = 1077m

Il ne sera pas de notre thématique d'aborder en détail les paramètres de chaque sous bassin, nous présentons d'une manière très restreinte et à titre d'exemple, les résultats obtenus en analysant le Bassin hydrologique de Béni-Ounif dans la zone présaharienne par [Mansour H., \(1992\)](#), et un aperçu sur le bassin de Béchar. Deux sous bassins en amont de l'Oued Zouzfana ont été sélectionnés ;

1.4. Bassin versant de Béni Ounif :

Deux sous- bassins versant sont individualisés, d'après les travaux de [Mansour H., \(1992\)](#), sur la base de la carte de Béni Ounif 50 000°. Nous résumons les résultats comme suit deux sous Bassins distinctifs, la confluence entre les deux se situe à la limite nord-est de la ville de Beni-Ounif, au niveau de la traversée de la voie ferrée.

1.4.1. Caractéristiques du relief :

- Courbe hypsométrique : Les courbes hypsométriques obtenues mettent en évidence le caractère plaine notamment dans la zone urbaine de Béni ouunif. ([Fig. 40, 41 et 42](#)).
- L'altitude maximale et minimale : Oued Sidi Aïssa : Hmax = 1520 m ; Hmin = 810m
Oued Melias: Hmax = 1460 m ; Hmin = 810m ([Fig. 40](#)).
- L'altitude moyenne du bassin : Sidi Aïssa (986m), Mélias (912m), Total (941m)
- La pente et indice de pente du bassin versant : Sidi Aïssa (28m/km), Mélias (36m/km), Total (28m/km). Indice de pente (0,0214) relief du bassin versant total est Assez modéré.

1.4.2. Caractéristiques du réseau hydrographique :

- Densité de drainage et fréquence des cours d'eau
- Profil en long de l'oued (Fig. 43).

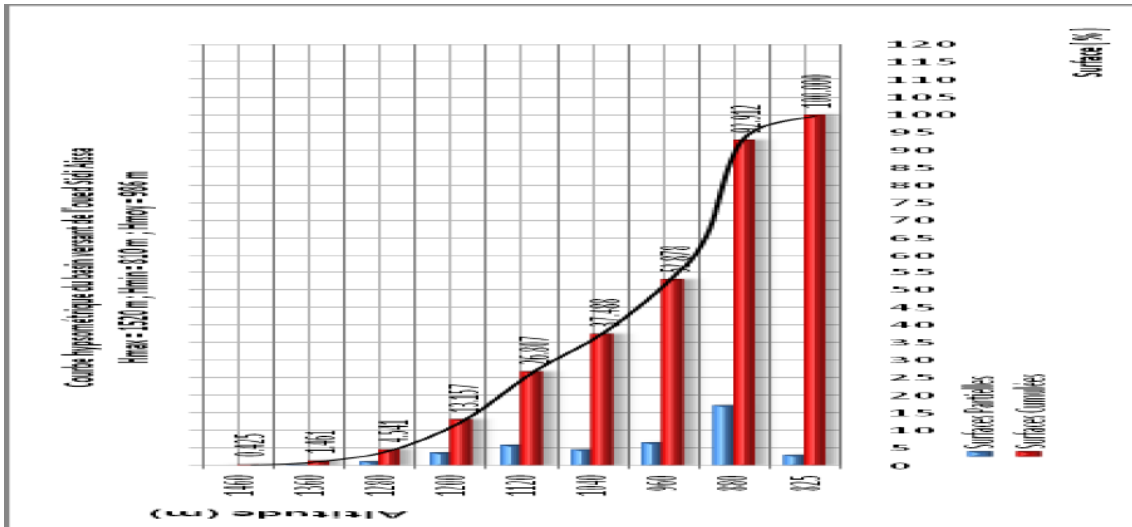


Fig. 40 : Courbe hypsométrique de l'oued Sidi Aïssa (d'après Mansour, 1992)

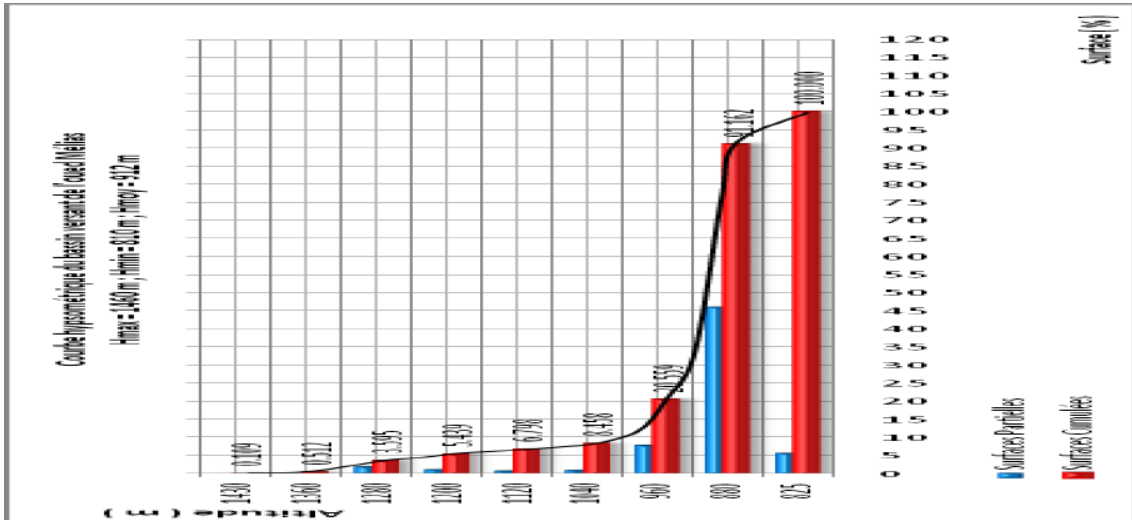


Fig. 41 : Courbe hypsométrique de l'oued Mélias (d'après Mansour, 1992)

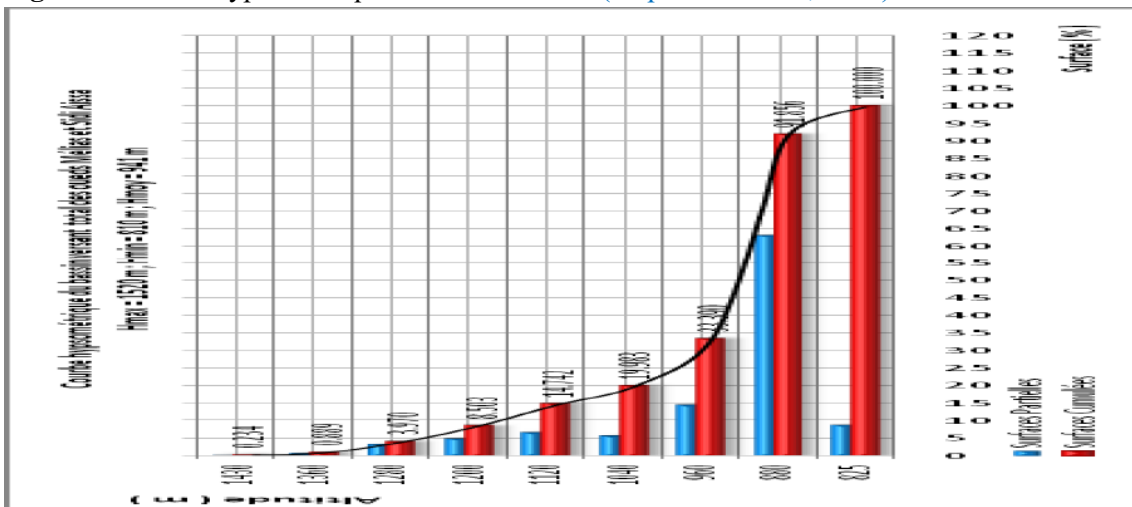


Fig. 42 : Courbe hypsométrique de l'oued Total (d'après Mansour, 1992)

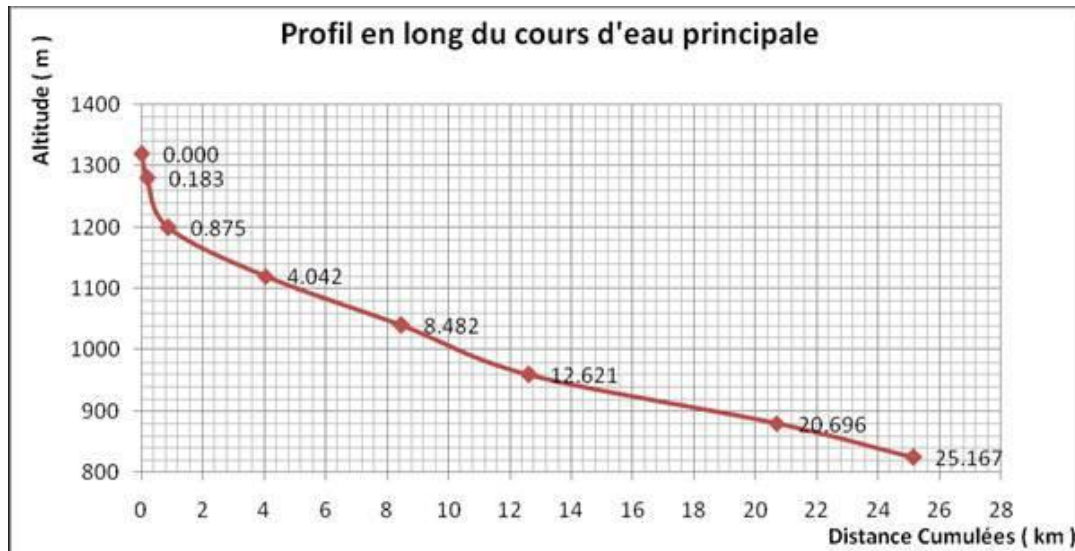


Fig. 43 : Profil en long de l'oued principal (d'après Mansour, 1992)

1.5. Le sous Bassin de l'Oued Safsaf :

Superficie de 314km² et un périmètre de 122km.

1.5.1. Le réseau hydrographique : (d'après Mansour, 1992)

Coefficient d'allongement = 3,07 (Bassin plat),

Densité de drainage = 1,76km/km²,

Fréquence des cours d'eau = 1,2

$R_c=5,2$ (valeur importante traduisant l'allongement du Bassin).

$R_l=2,0$; $R_a=1,9$.

1.5.2. Caractéristique de forme :

Coefficient de Graveluis $K_c=1,9$ (Bassin allongé),

Rectangle équivalent $L=54,3$ km ; $l=5,8$ km.

1.5.3. Le relief :

Un abaissement brutal qui indique par la présence d'une falaise. Cependant 70% de la surface total du Bassin est occupée par une plaine de faible pente. Le système est pénéplaine, correspondant à une phase de vieillesse.

L'altitude (1650m) s'abaissant vers le Sud avec une dénivelée de 200m pour atteindre enfin la côte 1000m (pente de 5%). La variation d'altitude se traduit par une falaise (Djebel Rkina).

1.6. Le sous Bassin de l'Oued Mrires : (d'après Mansour, 1992)

Surface = 310km, périmètre = 124km.

1.6.1. Le réseau hydrographique :

Coefficient d'allongement = 3,6 (Bassin plat),

Densité de drainage = 1,02km/km²,

Fréquence des cours d'eau = 1,10.

R_c=3,8 (modérément allongé).

R_l=2,99 ; R_a = 3,6.

1.6.2. Caractéristique de forme :

Coefficient de Graveluis K_c=1,97 (Bassin allongé),

Rectangle équivalent L= 56,5 km ; l = 5,5 km.

1.6.3. Le relief :

Le relief est à pente abrupte, au sommet (1600m) s'abaissant brutalement à 1400m en suite se stabilisant à 1000m, le Bassin est en phase de vieillesse.

Une falaise à l'amont correspond aux reliefs d'érosion, situé au sommet du Djebel Grouz. Le relief accentué rompt à nouveau la pente qui correspond aux falaises abruptes du flanc Sud de Djebel Grouz à l'aplomb de la flexure Sud Atlasique.

2. Traits climatiques :

Sans s'attaché ici à d'autres éléments du climat (nébulosité, ensoleillement, hygrométrie, évapotranspiration réelle), pratiquement méconnues dans la région, faute d'étude, encore que ceux-ci ne soient pas sans importance hydrologique.

Le phénomène d'ensablement est essentiellement lié aux facteurs climatiques qui sont majoritairement ; le vent, les précipitations et la température.

De ce fait, La zone d'étude est caractérisée par un climat de type désertique continental. Deux zones peuvent être distinguées :

« -La zone de transition délimitée par Béni Ounif au nord et le parallèle d'Igli au sud : très chaude en été (+ 45°C) et froid rude en hiver (2°C à 3°C). Les précipitations sont de l'ordre de 60 mm/an. Les vents de sable sont fréquents et souvent violents (100 km/h).
- La zone désertique s'étend au-delà de Béni Abbès. Les précipitations sont de l'ordre de 40 mm/an. Les vents de sable sont très fréquents », (Vanney. J., 1960).

2.1. Régime des pluies :

Le climat du domaine d'étude est de type continental aride à bilan hydrique fortement déficitaire. Il s'agit d'un climat désertique -présaharien à l'amont des bassins versants- caractérisé par une faible pluviosité.

Pour caractériser le climat dans nous utiliserons un jumelage des données issues de l'ONM (Office Nationale de Météorologie) et de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydraulique). Ces trois stations jalonnent respectivement la zone d'étude du nord vers le sud, station d'Aïn Sefra, station de Béni-Ounif et celle de Béchar.

Néanmoins, l'ONM dispose que de deux stations bordant les limites de la zone d'étude, il s'agit de la station d'Aïn Sefra au nord et la station de Béchar au sud.

En l'absence d'une station météorologique représentative ONM au niveau de Béni-Ounif, celle-ci a été mise à l'arrêt depuis des décennies, et afin de combler les lacunes, nous utiliserons les données de la station pluviométrique ANRH (1904-1973), pour tenter d'extrapoler les données des précipitations.

2.2. Les précipitations :

Se sont les dépressions sahariennes qui génèrent les pluies, ces types de dépressions ne peuvent donner de la pluie que si des masses d'air humide provenant des régions atlantiques ou méditerranéennes leur sont associées. L'orographie, l'orientation et l'altitude des reliefs entourant la zone d'étude ne font qu'accentuer cette déficience [Vanney. J.,\(1960\)](#).

Il est important de souligner qu'il y a en moyenne un jour de pluie torrentielle par an, c'est-à-dire une tranche d'au moins 30mm de pluie en 24 heures. Généralement, On peut avancer l'hypothèse que ce sont ces pluies qui interviennent dans le processus d'érosion et dont le rôle sur la migration des sables est envisageable.

2.3. Présentation des stations météorologiques :

L'immensité des Bassins hydrologiques et la rareté des stations météorologiques, ainsi que les lacunes, cèdent la place à l'incertitude lors de toute tentative extrapolative. Les seules données dont nous disposons sont celles de [l'ANRH \(1995\)](#), qui nous ont permis d'apprécier la quantité et la variation interannuelle de la décennie (1987-1997). ([Cf. Tableau 18, Fig. n°44](#)), Outre que la synthèse statistique, station d'Aïn Sefra menée par [N. Triki \(2009\)](#).

Tableau 18 : différentes stations sélectionnées (Béchar, Béni Ounif et Ain Sefra)

Période	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Lieux	Organisme
1904-1973	32°03'00''	01°14'00''	940	Béni-Ounif	ANRH
1988-1906	32°36'00''	02°13'00''	825	Béchar	ANRH
1954-1990	31°36'35''	02°13'03''	779,98	Béchar	ONM
	31°37'36''	02°15'12''	805,45	Béchar	ONM
	31°37'36''	02°15'12''	784,95	Béchar	ONM
	31°37'00''	02°14'00''	772	Béchar	ONM
	31°38'43''	02°15'23''	807,31	Béchar	ONM
1989-2006	32°46N	00°35W	709	Aïn Sefra	ONM
1901-1988	32°44'31''	00°35'00''	1072	Aïn Sefra	ANRH

Le maximum annuel de 437 mm a été observé en 1991 à la station d'Aïn Sefra (série de 105 ans d'après [Triki N. \(2009\)](#)). Le minimum annuel de 10mm a été observé en 1929 à la

station de Béchar (série de 86 ans). Le coefficient de variation d'après les longues séries brutes, augmente du nord au sud, (ANRH, 1995), (Fig. 44).

2.4. Variation annuelle des précipitations :

Variation des précipitations moyennes annuelles, station de Béchar, période (1987-1999).

La moyenne annuelle des pluies calculée est 50,4mm. Les précipitations dépassant les 100mm sont rares et le nombre de jour pluvieux est de l'ordre de 23 jours/an. Les pluies sont concentrées en hiver et en printemps. **Ces valeurs traduisent bien le caractère désertique de la zone d'étude.** (Fig. 44).

Année	P (mm)
1987	30,5
1988	33,9
1989	60,8
1990	20,8
1991	24,8
1992	16,6
1993	87,3
1994	117,3
1995	78,2
1996	80,2
1997	13,5
1998	31,6
1999	70,2
Moyenne	51,21

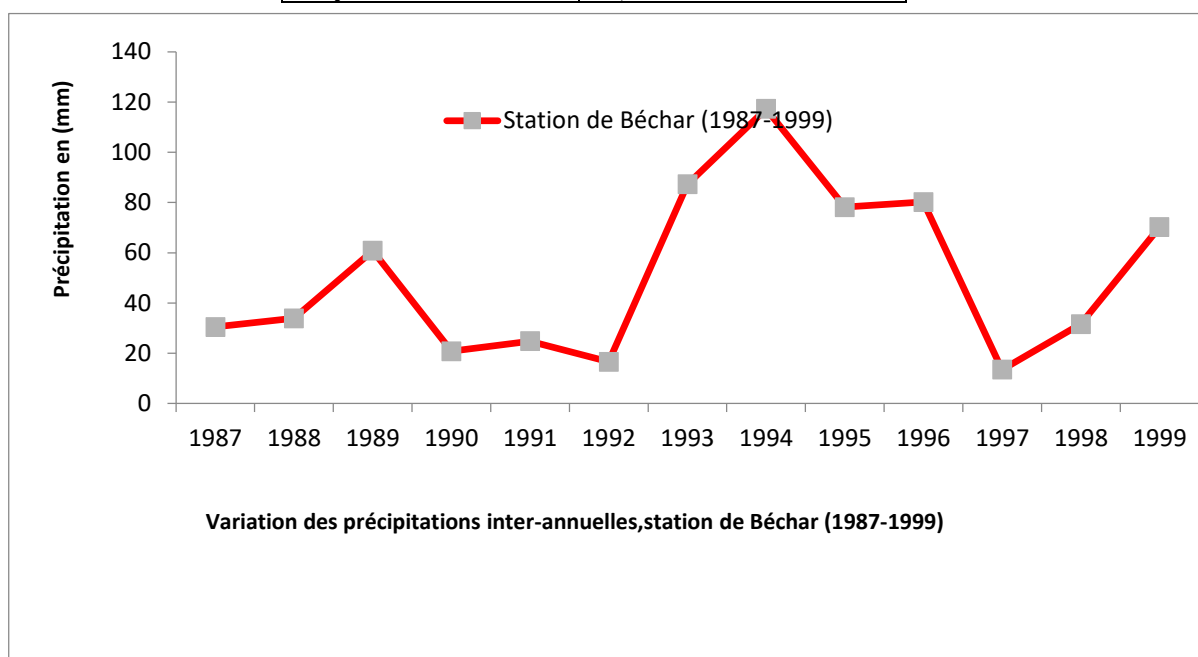


Fig. 44 : Variation des précipitations interannuelles, station de Béchar (1987-1999)

2.5. Répartition mensuelle des précipitations :

On distingue deux saisons de pluies assez bien caractérisées, l'une au printemps, l'autre en automne rapprochant de l'hiver. La période hivernale est assez sèche intercalée par des rares précipitations locales. Tandis que l'été est habituellement sec sauf rare exception sur le Haut atlas marocain et le nord de l'Atlas saharien (Fig. n° 10, 11, 12, 13 et 14).

Nous disposons ainsi à titre d'exemple des données exemptes de lacunes correspondantes à l'année 1997, incluse dans la période décennale (1987-1997), elle paraît relativement sèche

Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
03	00	02	05	01	00	01	05	04	02	00	00	23

- Les pluies sont généralement concentrées au printemps et en automne. (Fig. 46).
- Le nombre de jour pluvieux par mois ne dépasse guère 5, il apparaît donc que ce sont plutôt des averses d'orages brutales et mal réparties dans le temps. (Fig. 45).

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
1997	16	00	07	38	03	00	01	04	04	04	00	00	77
1998	8,7	7,4	00	00	00	00	00	00	00	3	00	12,5	31,6
1999	10	14,5	7,1	00	00	00	00	00	30	7,5	0,4	6,7	70,2

(Source : Annuaire statistique de l'Algérie, n°19). Fig. 45, 46, 47

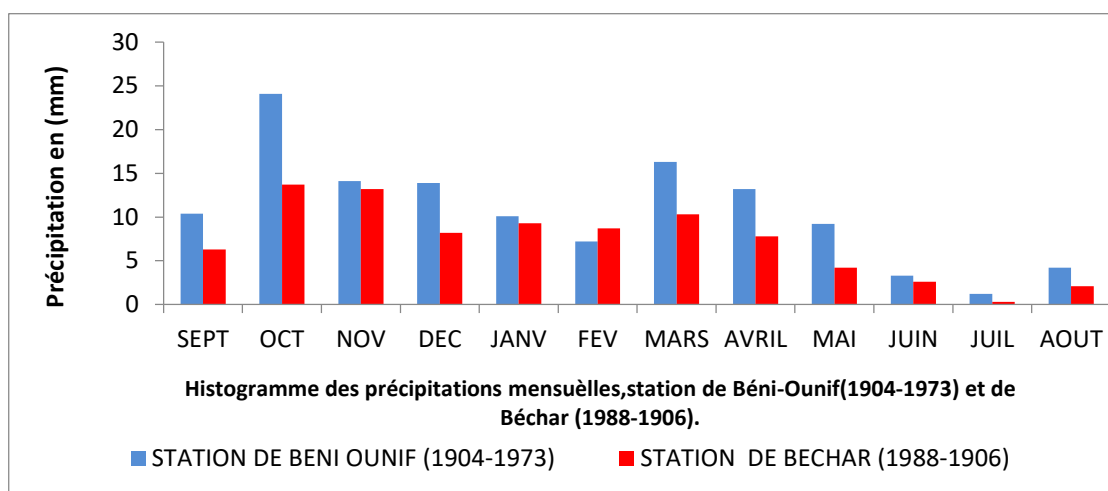


Fig .45 : Précipitations mensuelles, station de Béni Ounif, (1904-1973)

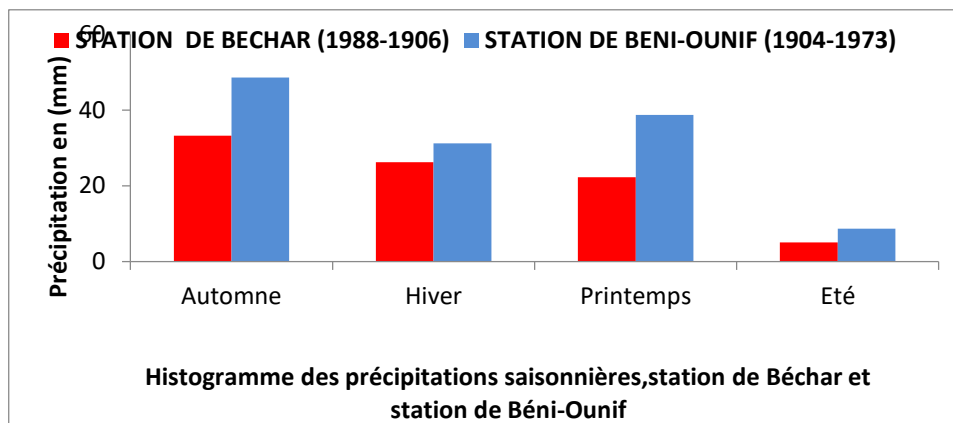


Fig. 46 : Précipitations saisonnières, station de Béni Ounif et de Béchar (1987-1999)

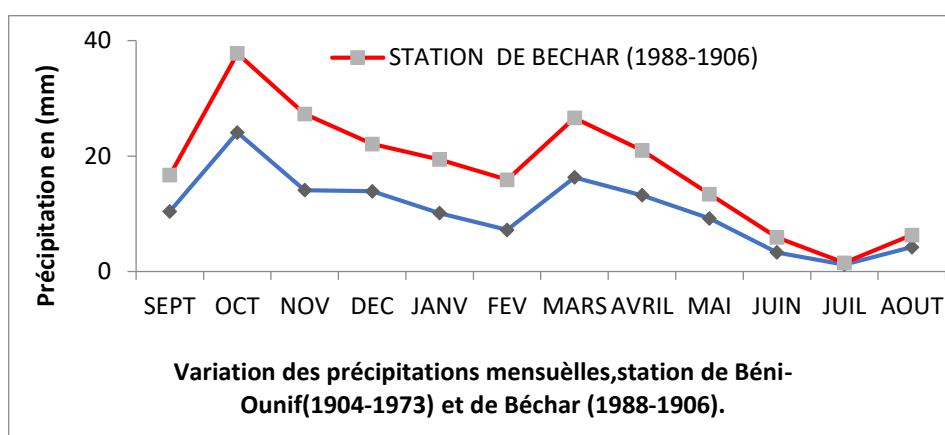


Fig. 47 : Précipitations mensuelles, station de Béni Ounif (1904-1973) et Béchar (1988-1906)

2.6. Irrégularité des précipitations :

L'analyse des séries pluviométriques de plusieurs stations, et parmi eux, celle d'Aïn Sefra a permis de conclure que le tracé de l'évolution de la pluie annuelle et de la droite de tendance montre une nette régression, (Fig. 48). (Triki, 2009), ainsi qu'une irrégularité dans la pluviométrie, (Fig. 49).

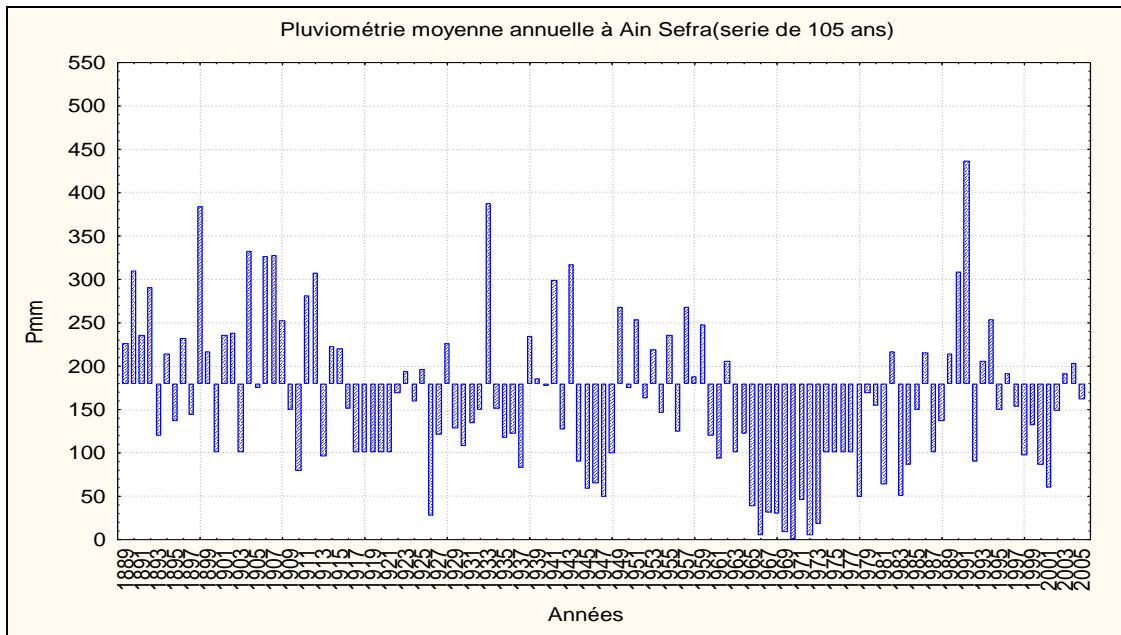


Fig. 48 : Pluviométrie moyenne annuelle à Ain Sefra (série de 105 ans), (Triki, 2009).

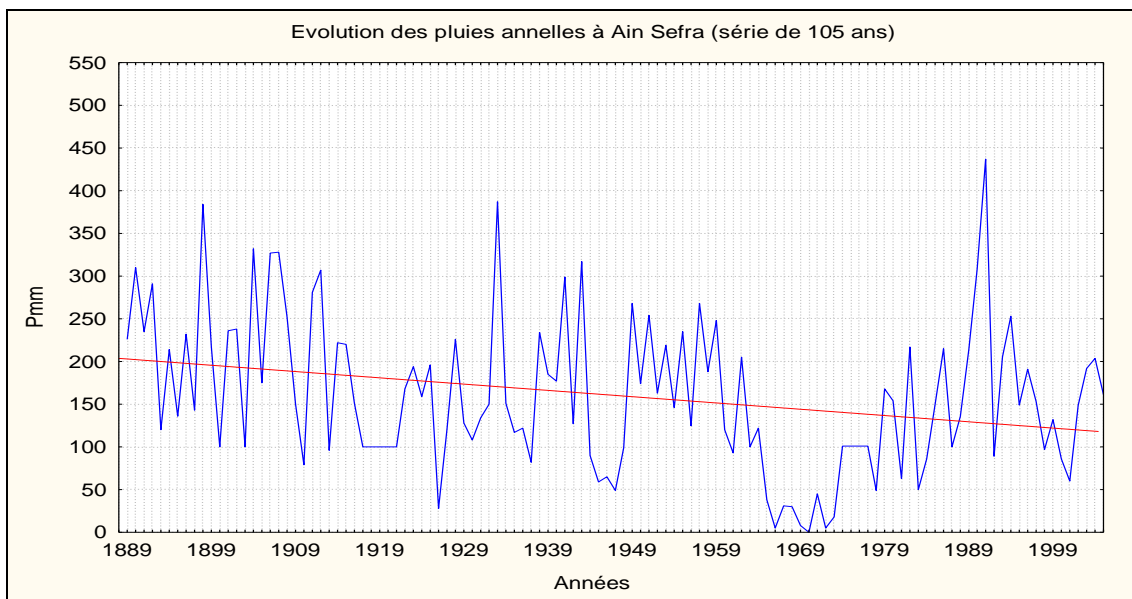


Fig. 49 : Evolution des pluies annuelles à Ain Sefra (série de 105 ans), (Triki, 2009).

La moyenne annuelle des précipitations, station d'Ain Sefra, couvrant une période de 8 ans (1988-1996) est de **193mm** répartie sur 38 jours, (Stambouli, 1998). Cette répartition pluviométrique annuelle moyenne divise l'année en 4 périodes dont deux sont similaires aux relevés de découpage saisonnier des vents efficaces couvrant les mois juin, juillet et aout (Beloufa, 2001).

Tableau 19 : ...Pluviométrie et nombre de jours de pluies, station Aïn Sefra (1989-1996), d'après (Stambouli, 1998).

	Période	Pluviométrie (mm)	Nombre de jours de pluies	Total pluviométrie	Total nombre de jours
1	septembre	15	4	91	14
	octobre	29	4		
	novembre	29	4		
	décembre	18	2		
2	janvier	10	2	58	15
	février	10	2		
	mars	14	4		
	avril	9	3		
	mai	15	4		
3	juin	28	3	28	3
4	juillet	8	2	15	6
	août	7	4		
Total				192	38

3. Autres considérations pluviométriques :

3.1. Précipitations mensuelles :

D'une manière générale, les précipitations moyennes annuelles sont toutes inférieures à 170 mm à l'exception de l'année hydrologique 1912 où l'on a enregistré une pluviométrie de 372.5 mm. D'après SETOR (2008), la figure (Fig.50), permet de faire ressortir une comparaison de pluviométrie enregistrées dans les différentes stations ; Aïn Sefra, Djenien Bourezg et Béni Ounif. Il apparaît que la station d'Aïn Sefra enregistre des valeurs pluviométriques largement supérieures par rapport à celles de Béchar et Djenien Bourezg, avec un maximum de 27, 47mm durant le mois d'octobre.

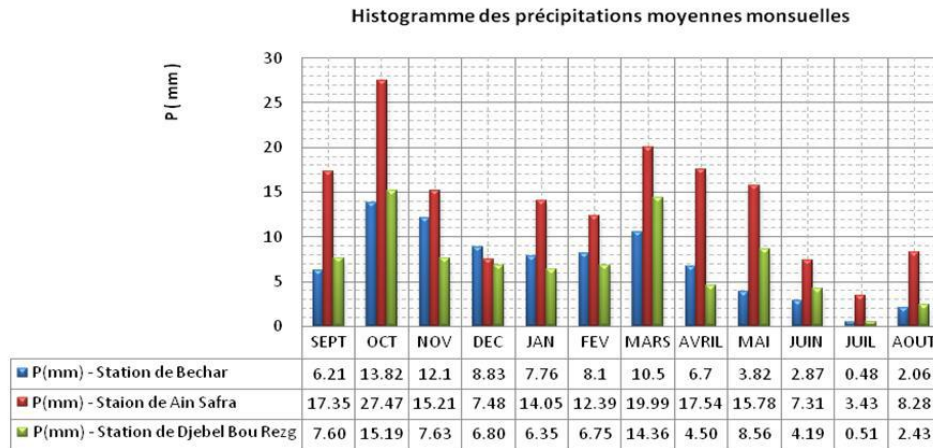


Fig. 50 : Pluviométries mensuelles à Béchar, Djenien Bourez et Aïn séfra (D'après SETOR)

3.2. Précipitations journalières :

D'après les données de SETOR, les pluies maximales journalières sont variables. La station de Djejenien Bou Rezg, située dans la même zone que le secteur étudié enregistre des pluies maximales plus importantes. (Fig. 51).

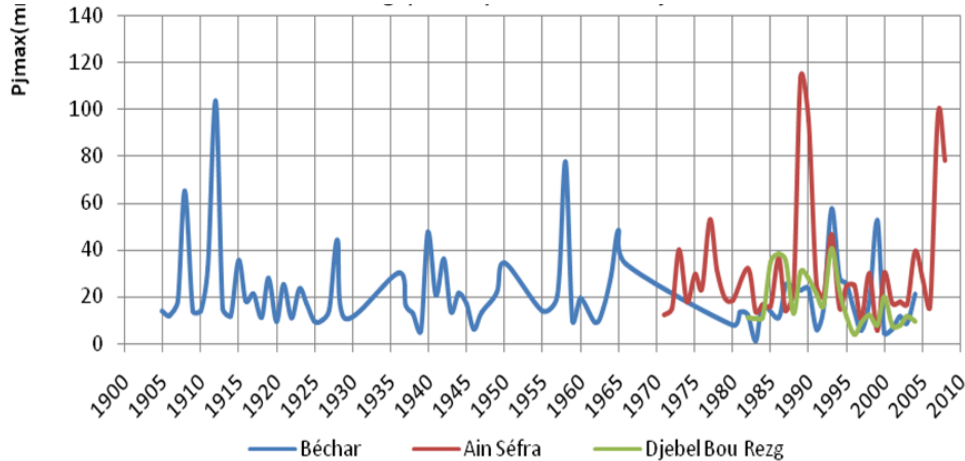


Fig.51 : Variabilité chronologique de pluies maximales journalières (d'après SETOR)

3.3. Intensité de précipitations :

Pluie exceptionnelle de Béni Ounif, du 10/10/2008 :

La zone d'étude est caractérisée souvent par des pluies diluviennes dévastatrices, il s'agit des pluies torrentielles, soit environ 30mm / 24h.

La pluie diluvienne du **10/10/2008**, a duré du 08 au 10 Octobre avec **99.3 mm à Béchar** et **52.3mm à Beni-Ounif**. (Fig. 52), **D'où les pluies diluviennes ont déclenché d'importantes inondations causant d'énormes dégâts humains et matériels, (photos 18, fig. 52).** Faute peut être, d'un mauvais dimensionnement des ouvrages hydrauliques et dalots lors de la conception des plans de l'avant-projet ferroviaire Mécheria-Béchar, tels que densité des dalots moins importante, les railles, la plate forme et la couche de base formant l'assise de la voie ferrée ont été partiellement ravagés par l'eau (soit environ 5km de dégât !).

Dans ce type de région aride, le caractère de pluie est intensif, les précipitations sont quantitativement très faibles, néanmoins elles sont brutales que brèves ; ce caractère génère de forte ruissèlement et d'important apports solides, des sédiments sableux en particulier

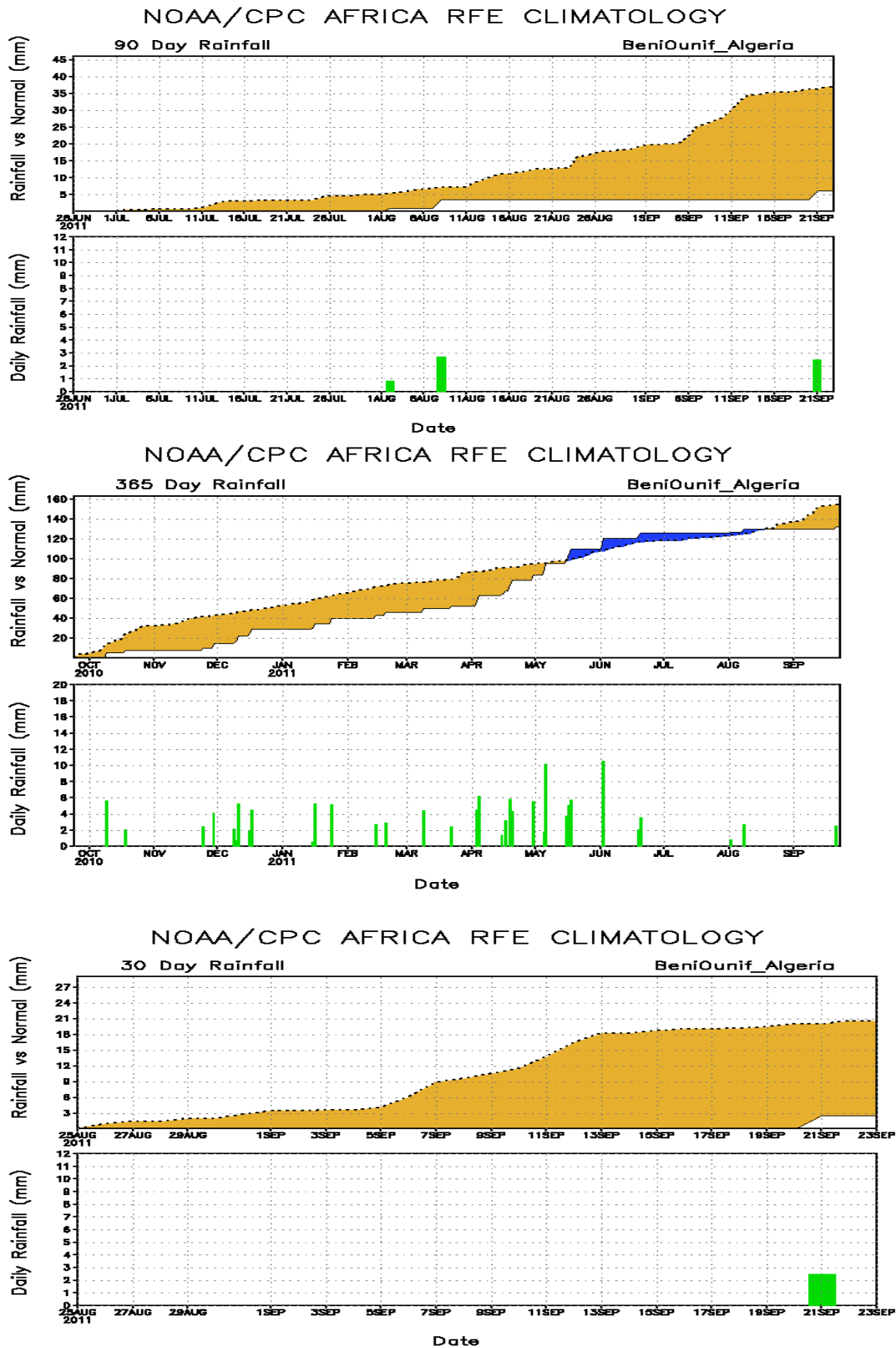
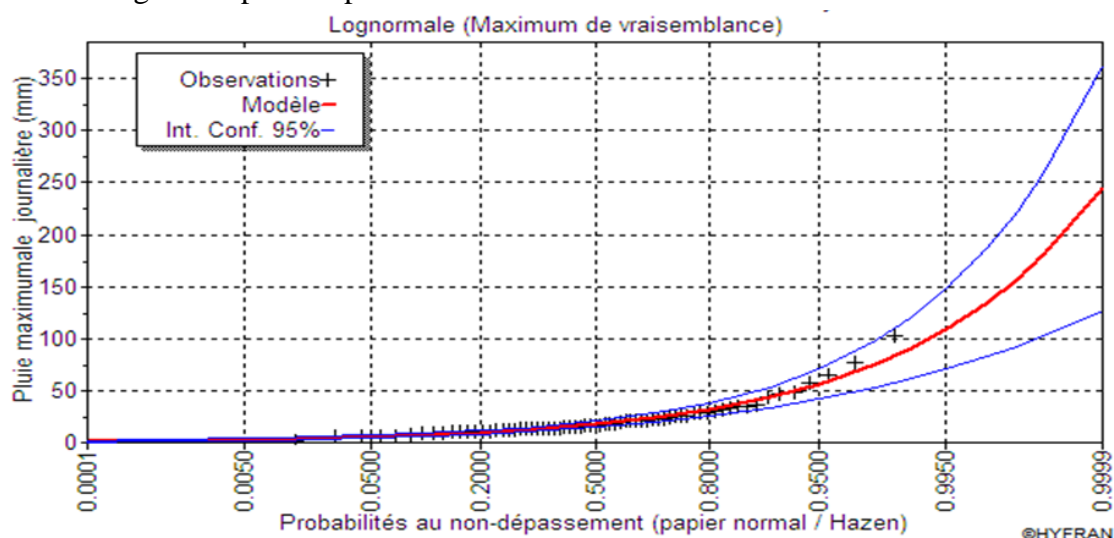


Fig. 52 : Graphiques des pluies torrentielles (2008-2009), données NOAA /USA (2008).



Ph. 18 : Ampleur du phénomène hydrologique (cru de 2008) ; affluent de l'Oued Zouzfana.

L'ajustement des pluies maximales journalières montre que les lois s'ajustent au mieux à la loi log normale. La crue exceptionnelle de l'Oued Zouzfana enregistrée le 28/10/2008, aurait été générée par une pluie maximale de 26.8mm.



4. Analyse des températures :

L'influence de la température sur l'aridité du climat, l'érosion des sols et la désagrégation des roches est considérable, nous disposant seulement des moyennes mensuelles relevées à la station de Béchar (en C°) durant la période allant de (1951-1988) et celles relevées à la station d'Aïn Sefra (1969-2001).

Tableau 20 : Températures mensuelles, station de Béchar (1951-1988).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Aout
T (C°)	27,7	20,9	14,8	10,1	10	12,5	15,9	19,4	24,2	29,3	33,1	31,4

Tableau 21 : Température mensuelles, station d'Aïn Sefra (1969-2001).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Aout
T (C°)	27,2	17,5	11,8	7,8	6,80	9,20	12,1	15,5	20,2	25,7	29,6	28,8

Les températures sont généralement élevées dans la période estivale et basse en saisons hivernales. Le mois juillet reste le mois le plus chaud de l'année et le mois janvier est le mois le plus froid. La température moyenne maximale est de 33,1 C° (station de Béchar) et 29,6 C° (station d'Aïn Sefra).

Les températures sont étroitement influencées par le relief et l'altitude, selon [Seltzer](#) et [Gaussen \(1948\)](#), l'Atlas saharien septentrionale connaît un régime thermique annuel élevé. L'amplitude thermique annuelle dans cette région variée entre 20 et 24°C.

Il a été observé que les températures maximales moyennes se situent entre 21,6°C en mois de janvier et 42,9°C en mois d'août. Tandis que les températures moyennes minimales sont observées en mois janvier et février (-03°C et 1,3°C), caractérisant ainsi que ces deux mois sont les plus froids. Les mois le plus chaud est celui de juillet avec une température moyenne de l'ordre de 19,2°C.

En hiver le phénomène de gelée est non négligeable, le maximum est observé en décembre et janvier avec un total de 12 jours de gelées. La variation brutale de la température, diurne et nocturne, engendre le phénomène de thermoclastie, favorisant ainsi la désagrégation mécanique des roches qui constituent des sources de sable.

La région d'étude est donc soumise à des amplitudes thermiques diurnes importantes (régime continental), l'écart saisonnier peut atteindre plus de 20°C, favorisant ainsi la dégradation de la roche par le phénomène de *thermoclastie* ; décontraction des roches friables en matière d'érosion sous les deux formes hydrique et éolienne.

5. Evapotranspiration (ETP) :

Nous disposant des données relevées de la station d'Ain Sefra, cette dernière borde la zone d'étude par l'extrémité nord. Les données fournies par la FAO, traitées en partie par des méthodes statistiques par l'ANRH. L'évapotranspiration potentielle ETP de la région d'Ain Sefra est estimée par la méthode de Penman-Monteith, la valeur moyenne annuelle est de l'ordre de **1361mm**. D'une façon générale, l'ETP est nettement supérieur à la pluviométrie ; elle est presque 15 fois supérieure à la valeur de pluviométrie d'Aïn Sefra.

Ainsi, les mesures d'évapotranspiration faites au barrage de Djorf Torba durant la période allant de 1978 à 1989, ont permis d'évaluer l'ETP annuelle moyenne qui est de l'ordre de **2623mm**, soit le double de celle de Ain Sefra, source de données, [ANRH \(1996\)](#).

Tableau 22 : Valeurs des Evapotranspiration potentielles (ETP).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Aout
ETP	275	194	102	71,2	62	94,2	178	241	303	346	400	357
Moy. annuelle	2623 mm.											

Ce pouvoir évaporant considérable de l'aire saharien peut être dû principalement à la forte continentalité.

6. Les apports de crues :

La liste exhaustive des crues observées entre 1915 et 1950 sur les oueds sahariens avec parfois leurs hauteurs données par [Debief J., \(1953\)](#) ; dans son essai sur l'Hydrologie

superficielle au Sahara ne renseigne pas sur les volumes transités, surtout dans le cas des oueds sahariens où les lits sont instables et très larges (Ph. 19 et 20).

Il a été souligné qu'une crue exceptionnelle de l'Oued Namous en 1977 qui a atteint un débit de $740\text{m}^3/\text{s}$ dans la partie atlasique sur une superficie de 3950 km^2 . Debief J., (1953)

Dans cette partie atlasique où les apports sont plus au moins notables, le débit de la crue par unité de surface serait donc égal à 187 l/s/km^2 . Admettons que cette valeur est similaire pour les versants sud de l'Atlas saharien, les débits de pointe probables seront donc de l'ordre de $284\text{ m}^3/\text{s}$ à Béchar ville, pour l'Oued Béchar, de $686\text{ m}^3/\text{s}$, pour la Zouzfana aurait un débit exceptionnel de l'ordre de $1100\text{ m}^3/\text{s}$. Ces deux derniers traversent la voie ferrée d'où un dimensionnement des ouvrages d'arts et dalots qui s'y imposent.



Photo 19 : important apport solide charrié par l'Oued Zouzfana.

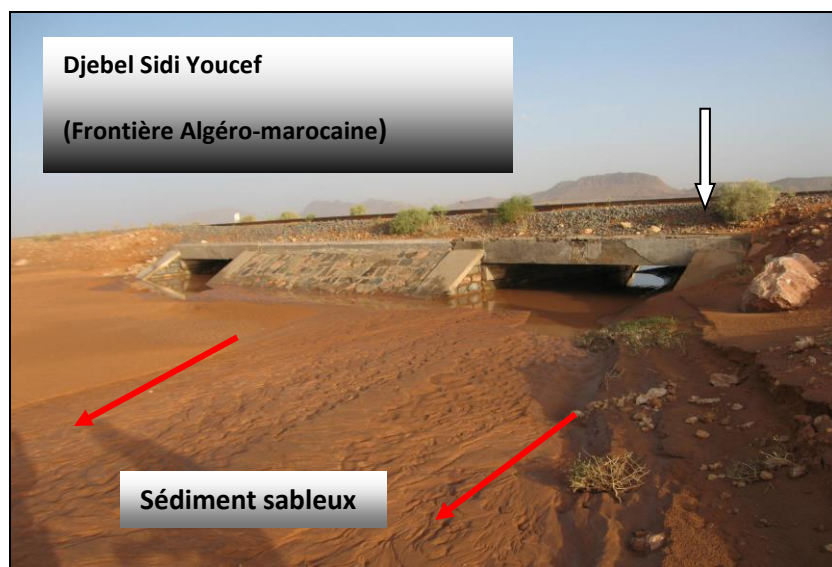


Photo 20 : important apport de sable décanté après une crue (Affluent O. Zouzfana).

6.1. Temps de concentration et vitesse de ruissellement :

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de point hydrauliquement le plus éloigné du bassin pour arriver à l'exutoire considéré, nous exposons ici une synthèse de l'étude menée par de SETOR, (2008).

Les Formules	Temps de concentration (h)		
	<i>Sidi Aissa</i>	<i>Mélias</i>	<i>BV Total</i>
1- Formule de Giandotti	6.03	7.34	8.67
2- Formule de Sokolovski	6.54	6.09	8.24
3- Formule de Kirpich	5.82	4.58	5.92
4- Formule d'Anonyme	4.29	4.50	6.16
5-Formule de Venturra	4.97	5.42	7.90
6-Formule de l'ANRH	4.92	4.58	6.19
Tc moyenne(h)	5.58	5.59	7.3
Vitesse ruissel (Km/h)	4.51	3.22	3.45

6.2. Débits de crues :

La première approche utilisée par SETOR, (2008)., est basé sur les formules empiriques alors que la deuxième approche a été basée sur la modélisation hydrologique de la crue générée par la pluie de durée (tc), et ce en utilisant le modèle hydrologique HEC-HMS

6.3. Estimations empiriques des débits de pointe et hydrogrammes de crue :

Le débit maximum instantané Q_{max} peut être estimé pour différentes fréquences de retour à partir des nombreuses formules empiriques appliquées aux conditions de l'Algérie. Ci-dessous une synthèse sur les résultats de l'estimation du débit de pointe fréquentiel $Q_{max,F}$ ($Q_{max,p\%$ en m³/s) (d'après SETOR, 2008) :

La valeur maximale (**294,17**) du débit de crue centennale de POSSENTI a été retenue pour dimensionner les ouvrages d'arts du faite que ces valeurs sont plus proches du débit observé durant la dernière crue de du mois d'octobre 2008

	Période de retour	<i>MAL- GAUT</i>	<i>TURRAZA</i>	<i>POSSENTI</i>	<i>SOKOLOVSKY</i>	
Sidi Aïssa 10%	10ans	51,25	36,00	55,67	24,24	
	5%	20ans	59.71	46.59	72.05	36.64
	2%	50ans	69.33	72.73	96.37	56.53
	1%	100ans	75.80	88.18	116.84	74.28
	0.10%	1000ans	94.16	173.30	200.92	152.98
Oued Mélias 10%	10ans	89,52	54,68	118,22	32,02	
	5%	20ans	105.09	70.77	153.01	48.39
	2%	50ans	122.67	110.47	204.65	74.67
	1%	100ans	134.46	133.93	248.13	98.10
	0.10%	1000ans	167.76	263.23	426.69	202.06
B. V Total 10%	10ans	122,90	75,14	140,16	46,33	
	5%	20ans	145.73	97.31	181.40	69.37
	2%	50ans	171.30	151.78	242.62	106.18
	1%	100ans	188.35	183.95	294.17	138.94
	0.10%	1000ans	236.32	361.59	505.85	238.75

6.4. Hydrogramme de crue :

C'est une courbe représentant l'évolution des débits en fonction du temps pendant la crue, elle permet d'estimer quelques caractéristiques relatives à la crue telle que, la forme, le volume, temps de montée et temps de basse. (Fig.53, 54).

Tableau 23 : Estimation du volume de crue (d'après SETOR, 2008)

	Période de Retour	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Sidi Aïssa	Q max (m3/s)	57.67	72.05	96.37	116.84
Mélias	Q max (m3/s)	118,2	153.01	204,6	248,13
Total	Q max (m3/s)	140,2	181,4	242,6	294,17

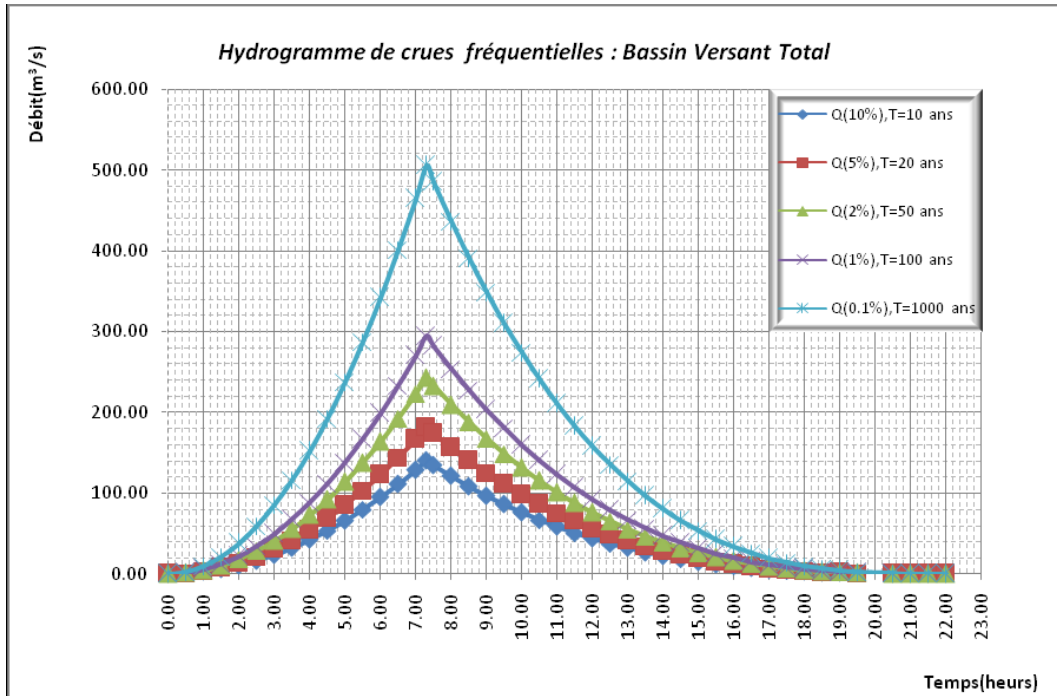


Fig.53 : Hydrogramme de crue fréquentielle (Bassin versant total) (d'après SETOR, 2008)

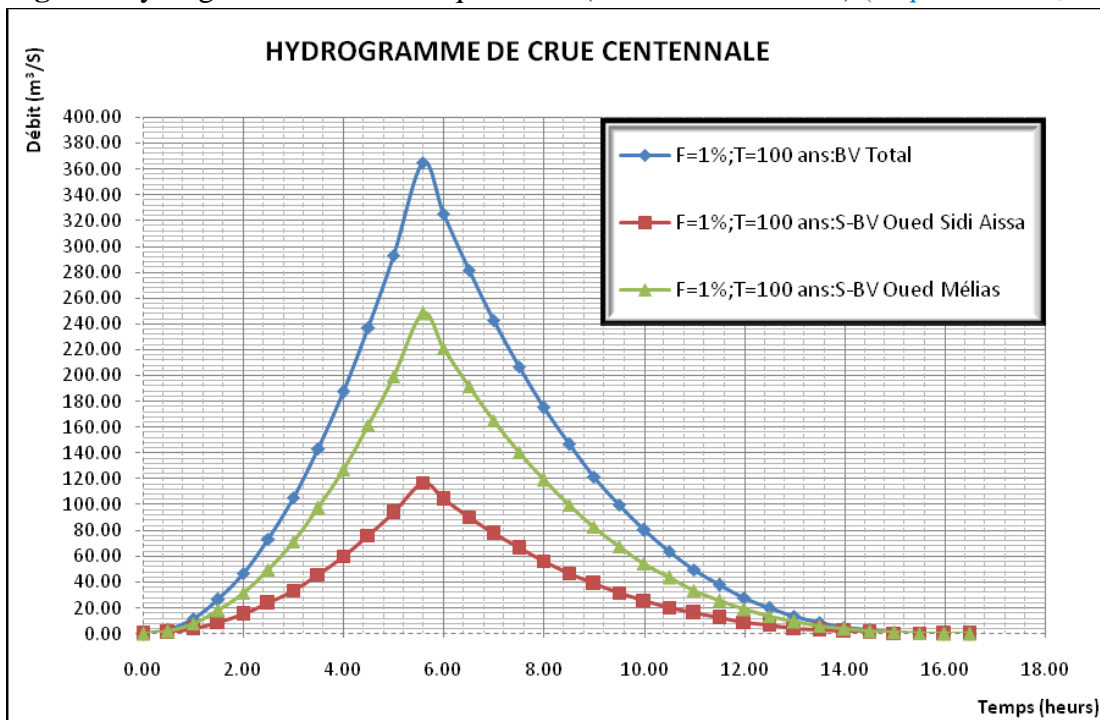


Fig.54 : Hydrogramme de crue centennale (d'après SETOR, 2008)

6.5. Modélisation hydrologique : (Fig. 55)

Nous présentons maintenant les hydrogrammes obtenus par la simulation de l'événement de chaque sous bassin versant, ainsi qu'au niveau de l'exutoire. (d'après SETOR, 2008)

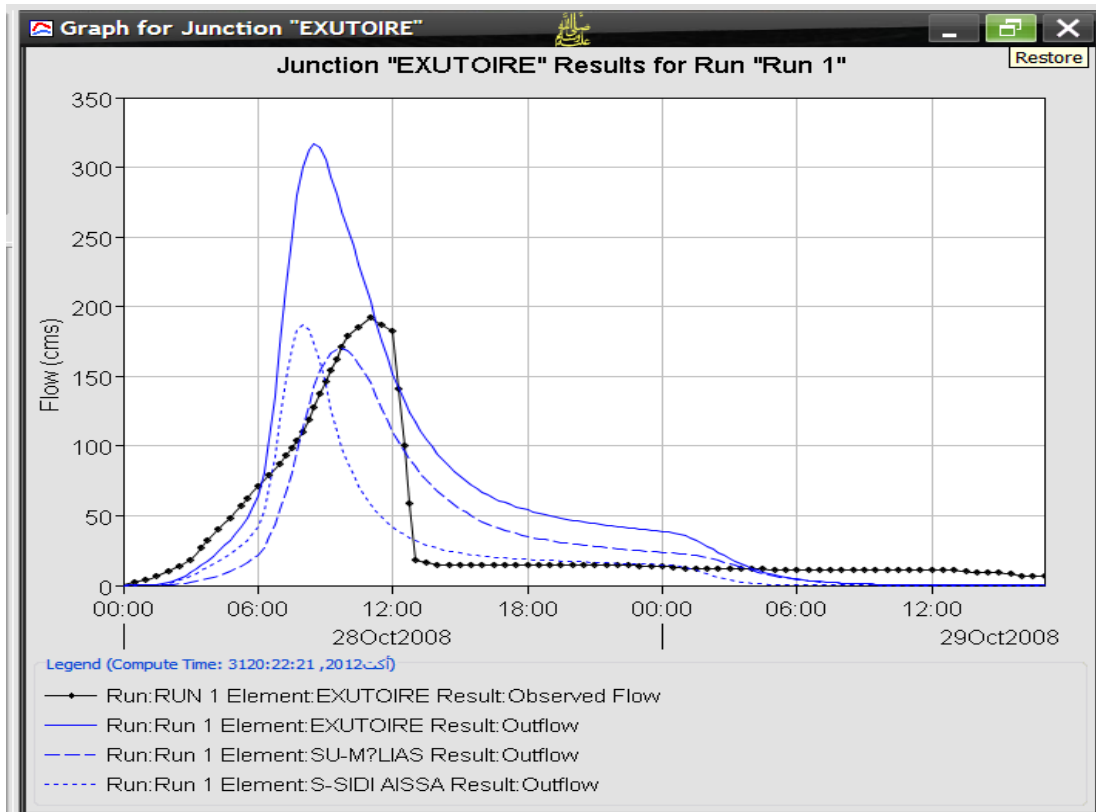


Fig.55 : Hydrogramme de crue totale à l'exutoire (d'après SETOR, 2008)

Les résultats obtenus par le modèle hydrologique HEC-HMS selon l'étude de SETOR, en termes de débits, y sont comparables avec ceux obtenus par les formules empiriques pour la fréquence de 1%. La simulation donne un débit de pointe de fréquence **1%** égale à **316.50 m³/s** relativement assez proche au résultat correspondant obtenu par les formules empiriques (**Q = 294.17 m³/s**).

7. Bassin versant de l'oued Béchar :

La voie ferrée traverse l'Oued Béchar au lieu-dit Hassi Houari, nous avons vu précédemment dans le chapitre II, que deux parcelles témoins ont été installées à ce lieu, le sable est omniprésent de part et d'autre de la voie ferrée, formant un véritable champ de barkhanes. Cet oued prend naissance à 1919m d'altitude dans le Djebel Grouz par l'intermédiaire d'Oued El Biodh. Après une descente rapide, il reçoit dans son parcours les eaux d'Oued R'tem, Oued Roknet El Betoum. Après un parcours d'une cinquantaine de kilomètres, il passe par la ville de Béchar et reçoit les eaux d'Oued Tigheline.

7.1. Caractéristiques morphométriques :

Les principales caractéristiques morphométriques du Bassin de Béchar (d'après SETOR, 2008) sont résumées comme suit :

Paramètres	Valeurs
surface	3575 km ²
périmètre	573.62 km
Longueur de l'oued	140 km
Coefficient de compacité	1.68
Longueur du rectangle	273.75 km
Altitude maximum	1000 m
Altitude minimum	550 m
Altitude moyenne	684.80 m
Densité de drainage	0.33
Coefficient de torrentialité	0.011
Temps de concentration	28 h

7.2. Les débits extrêmes :

Les dernières crues importantes ont été celle de décembre 1999, d'octobre 2007 et octobre 2008, où l'on a enregistré des quantités importantes de pluie durant un laps de temps relativement très court.

- L'inondation de 18-19 octobre 2007

Les journées du 18-19 octobre 2007, une pluie torrentielle s'est abattue sur la région Sud-Ouest du pays, notamment sur la Wilaya de Béchar. La ville de Béchar et ses environs a connu 27 mm de pluie, sous forme de fortes averses.

- L'inondation de 10 octobre 2008

Les précipitations ont commencé le mercredi 08/10/2008 vers 19h00 pour se terminer le vendredi 10/10/2008 vers 08h30. Une hauteur de 84,6 mm d'eau a été recueillie, correspondant à une intensité moyenne de 4,74 mm/heure.

- Les conséquences de l'inondation à Béchar (2008)

« Depuis 1958, affirme-t-on, jamais les eaux de l'oued Béchar n'ont entraîné une aussi importante crue (850 m³ de débit à la seconde). Le pont de la Chouffane emprunté par les passants, a été sérieusement endommagé et menace de s'effondrer » SETOR, (2008).

3.2. Etude des débits :

L'étude des débits considérant les valeurs annuelles et mensuelles des lames d'eau écoulées de station de Béchar (d'après SETOR).

- Débits annuel :

La distribution interannuelle des lames d'eau écoulées, montre une diminution importante à partir de l'année 1997 jusqu'à 2007. Nous remarquons une augmentation brusque de la lame d'eau écoulee durant l'année 2008, causée par les précipitations du mois d'Octobre 2008.

- Ajustement à la loi de Gumbel :

La distribution de cette loi s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp\left\{-\left(1 - c \frac{x-a}{b}\right)^{1/c}\right\} \quad \text{Ou}$$

a est le paramètre de position, b le paramètre d'échelle et c le paramètre de forme.

Le tableau ci-dessous résume les résultats statistiques d'ajustements obtenus par la loi de Gumbel-Méthode de moment (Débits, 1985-2010). (SETOR)

Moyenne =	54.3	[m3/s]				
Ecart-Type =	163.6	[m3/s]				
R ² =	0.4129					
période de retour T=	100	50	25	5	2	[ans]
probabilité de non dépassement de Qp =	0.99	0.98	0.95	0.8	0.57	[-]
variable réduite de Gumbel =	4.6	3.9	3.0	1.5	0.6	[-]
Qp pour période de retour T =	567.3	478.3	288.6	172.0	54.5	[m3/s]

Les débits extrêmes trouvés pour une période de retour T = 100 ans (**567.3 m3/s**) sont beaucoup inférieurs à la crue d'octobre 2008.

8. Classification du climat :

De nombreuses méthodes de classification existent pour synthétiser le climat à partir des données météorologiques, en considérant en particulier des indices climatiques. Dans la conception de certains indices, la température corrige la précipitation. Nous utiliserons pour une classification du climat, les stations d'Aïn Sefra (1969-2001) et de Béchar (1978-1989).

- Des méthodes de visualisation, des périodes sèches et périodes humides.
- Calcul des indices climatiques annuels, et mensuels permettant à partir des précipitations et des températures de caractériser le climat de la région d'étude.

8.1. Méthode de visualisation graphique :

8.1.1. Courbes pluviométriques :

Pour **Gausse et Bangoul**, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimées en (mm) est inférieur au double de la température moyenne exprimée en (°C). Cette relation permet d'établir un diagramme pluviométrique sur lequel, les températures sont portées avec une échelle double de celle des précipitations, (**Fig. 56**).

La station d'Aïn Sefra : période sèche s'étale du mois de mai à octobre. La période qui débute du mois octobre jusqu'au mai est la période humide, (**Fig. 57**). Alors que la station de Béchar montre nettement une période déficitaire (**Fig. 56**).

Tableau 24 : Précipitations et Températures, station de Béchar, (1978-1989).

Mois	J	F	M	A	Mai	J	Jt	At	S	O	N	D	Moy
P(mm)	9,2	8,8	10,7	7,8	4,2	2,8	0,2	2,3	5,2	13,8	13,3	8,2	7,2
T(°C)	10	13,5	15,9	19,4	24,2	29,3	33,1	32,4	27,7	20,9	14,8	10,1	21

Tableau 25 : Précipitations et Températures, station d'Aïn Sefra, (1969-2001).

Mois	J	F	M	A	Mai	J	Jt	At	S	O	N	D	Moy
P(mm)	18	13,7	24,8	22,9	20,3	8	2,9	5	11,11	17,6	19,2	10,4	168
T(°C)	6,79	9,2	12,1	15,5	20,2	25,7	29,6	28,8	24	17,5	11,8	7,7	17,4

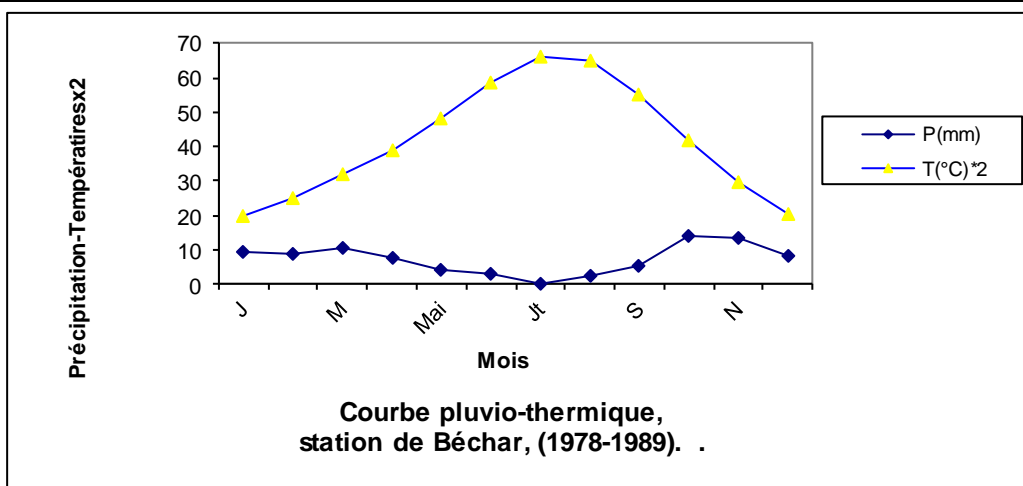


Fig. 56 : Courbe pluviothermique, station de Béchar (1978-1989)

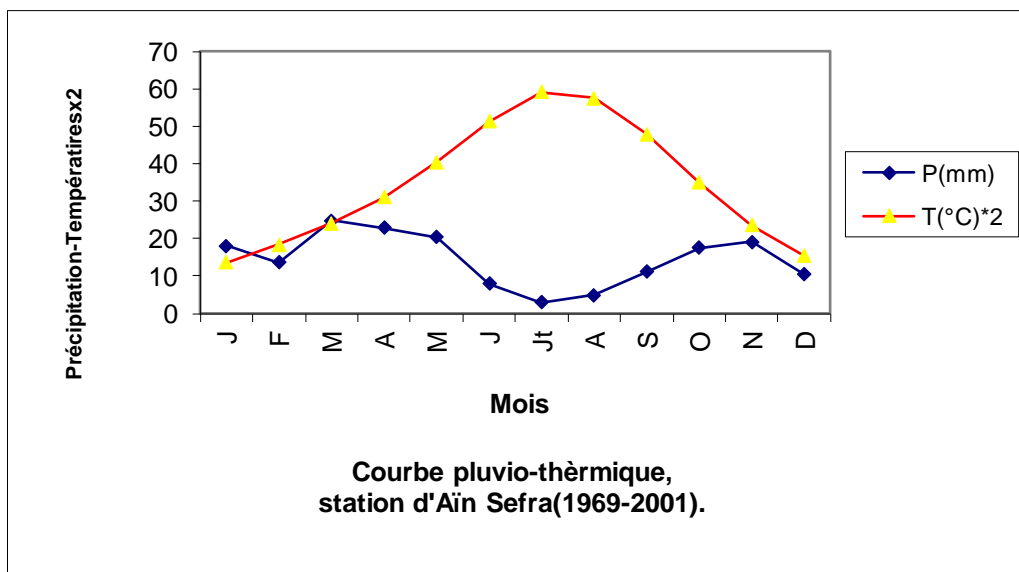


Fig. 57 : Courbe pluviothermique, station Aïn Sefra (1969-2001)

8.1.2. Courbe ombro-thermique:

Elle s'établit en reportant en ordonnées suivant une échelle arithmétique les températures en (°C) et suivant une échelle logarithmique les précipitations en (mm), en abscisse les mois de l'année.

- Si les courbes P et T se superposent, les besoins en eaux sont couverts.
- Si la courbe P passe au-dessous de T, la période est déficitaire.
- Si la courbe P passe au-dessus de T, la période est excédentaire.

Pour la station de Béchar, le graphique montre une période déficitaire sur presque la totalité de l'année contrairement à la station d'Aïn Sefra qui relativement humide du mai à novembre (Fig. 58).

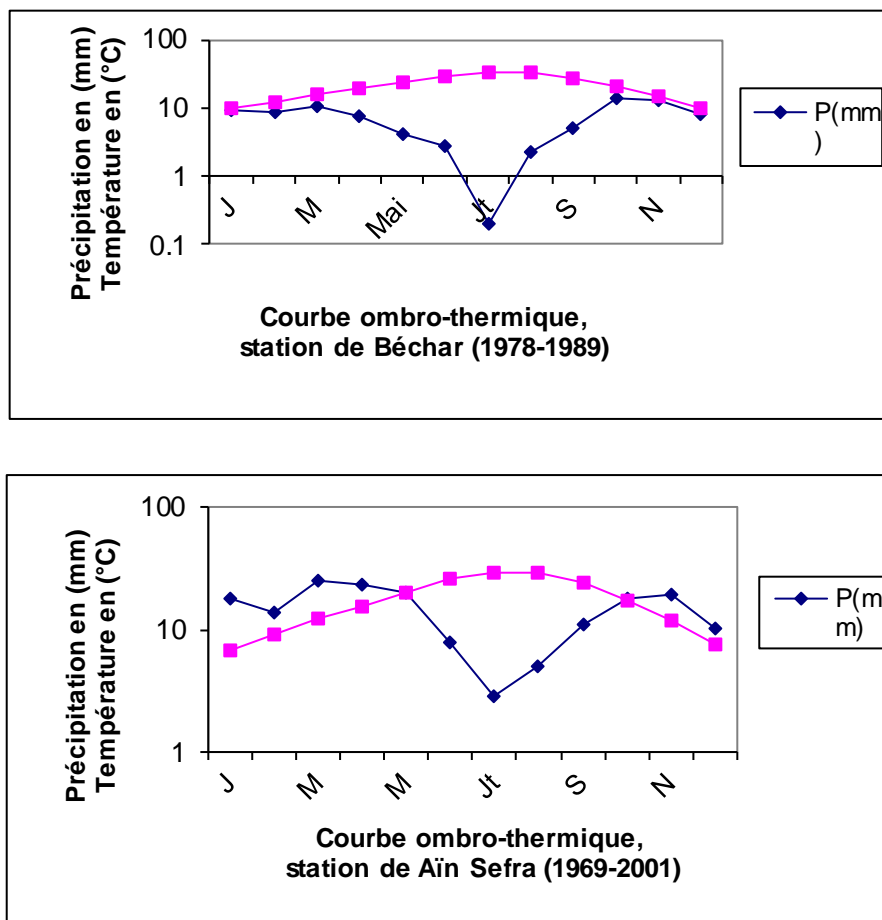


Fig. 58 : Courbes ombrothermiques ; stations ; Béchar (1978-1989) et Aïn Sefra (1969-2001)

8.2. Méthode des indices climatiques :

L'utilisation des indices climatiques définis par plusieurs auteurs est intéressante, car elle permet de mieux cerner le type du climat de la région d'étude.

8.2.1. Indice d'aridité annuel de Emanuele de Martone (1923) :

Elle sert à définir l'indice d'aridité annuel donné par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad \text{avec ;}$$

P : précipitation annuelle,

T : température moyenne annuelle.

Pour la région d'étude : P = 86,5mm, T = 20,85°C, donc I = 2,80.

de Martone, propose la classification suivante ;

Pour $I < 5$: climat hyperaride.

Pour $5 < I < 20$: climat désertique.

Pour $I > 20$: climat humide.

Le climat est de type hyperaride selon la méthode de de Martone avec un écoulement temporel. Le report de précipitations et des températures sur l'abaque de climagramme d'Emberger, nous le confirme, (Fig. 59).

L'indice annuel de de Martonne ne permet d'atteindre qu'une tendance globale de la station. Il est intéressant de considérer également les variations mensuelles de l'indice d'aridité proposé par les élèves de de Martonne.

8.2.2. Indice d'aridité mensuelle de de Martonne:

Cet indice a pour expression : $I = \frac{12P}{T + 10}$

I : indice d'aridité mensuel.

P et T représentent les précipitations et les températures du mois considéré. Le rapport P/T permet de définir trois types de sous-climats.

$P/T < 1$: il s'agit des mois : janvier, février, mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre, novembre et décembre.

Il ressort que tous les mois ont des valeurs $P/T < 1$, selon de Martonne le climat de la zone d'étude est défini comme étant un climat très sec en Méditerranée.

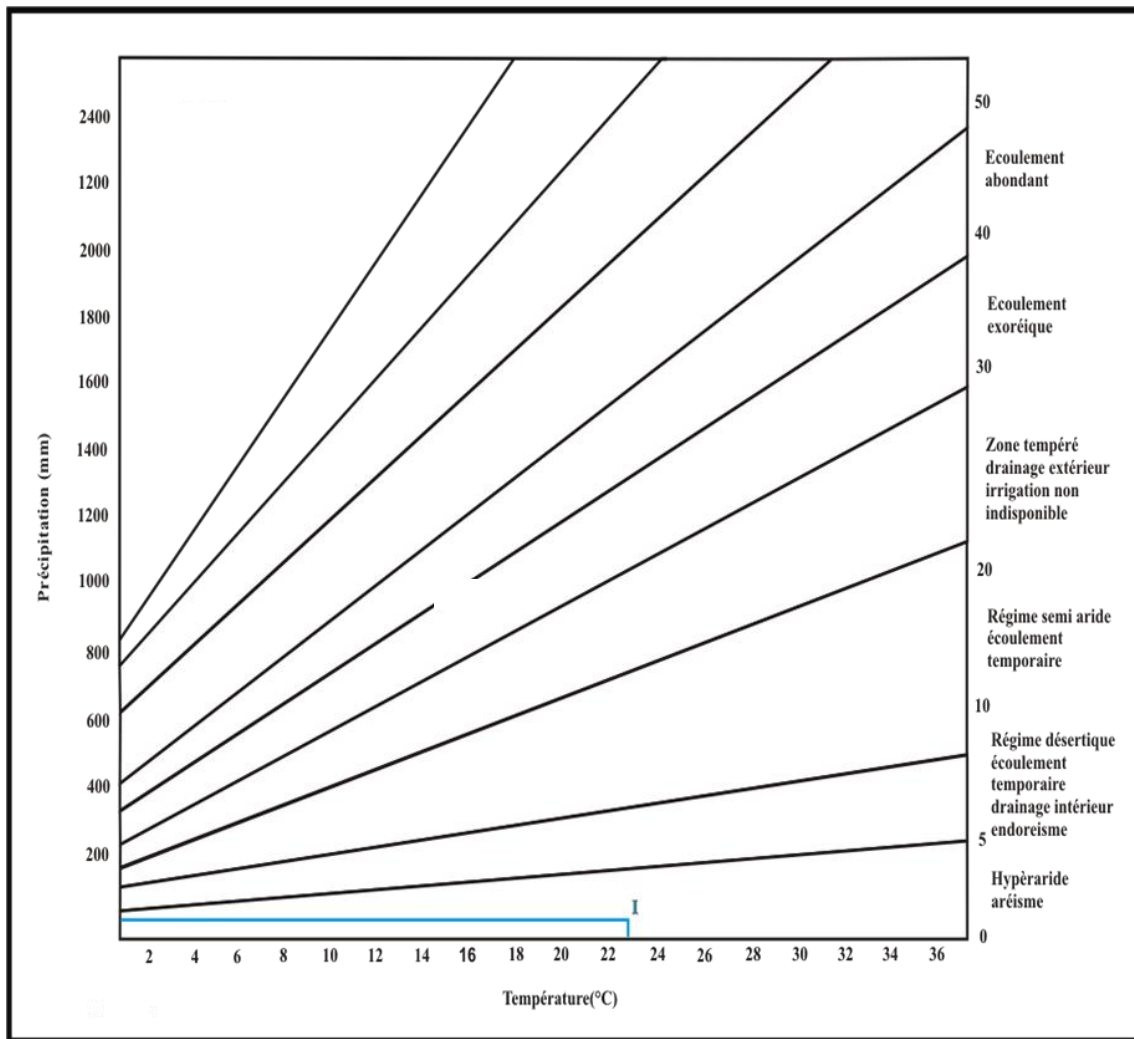


Fig. 59 : Indice d'aridité annuel de de Martonne.

Tableau.26 : rapport P/T et indice d'aridité de (de Martonne) :

Mois	J	F	M	A	Mai	J	Jt	At	S	O	N	D
P(mm)	9,2	8,8	10,7	7,8	4,2	2,8	0,2	2,3	5,2	13,8	13,3	8,2
T(°C)	10	13,5	15,9	19,4	24,2	29,3	33,1	32,4	27,7	20,9	14,8	10,1
P/T	0,92	0,65	0,67	0,40	0,17	0,095	0,006	0,07	0,18	0,66	0,89	0,81
Imens	5,52	4,49	4,95	3,18	1,28	0,85	0,055	0,65	1,65	5,35	6,43	3,96

8.2.3. Indice de continentalité de Kerner :

Dans la zone intertropicale, la courbe de répartition des températures est généralement symétrique par rapport au mois de juillet. Dans la station maritime, par contre, l'effet tampon de la mer entraîne un déplacement du maximum en août, l'automne restant le plus

chaud que le printemps. Partant de ces observations Kerner a défini un indice thermo-isodromique donné par la relation suivante :

$$\theta = \frac{T_0^0 - T_A^0}{A} \times 100, \text{ avec :}$$

T_0^0 : Température moyenne mensuelle du mois d'Octobre, soit 16,01°C.

T_A^0 : Température moyenne mensuelle du mois d'avril, soit 11,95°C.

A : amplitude moyenne annuelle, c'est la différence de température du mois le plus chaud et celui le plus froid, soit ; 23,1°C (station de Béchar). Donc on obtient $\theta = 6,4$.

Si on compare ce degré d'océanisations à celui d'autre stations prises comme stations de références, à savoir Beni-Saf, $\theta = 34,7$ et Mécheria $\theta = 9,8^\circ\text{C}$. On constate que la région d'étude est faiblement influencée par la mer, les monts des ksour constituent une barrière difficilement franchissable par les vents marins.

8.2.4. Indice de Moral :

L'indice de Moral pluviométrique annuel est donné par la relation :

$$I_m = \frac{P}{T^2 - 10 + 200}, \text{ avec ;}$$

P : précipitations moyennes annuelles, station de Béchar, P=86,5mm.

T : Température moyenne annuelle, T=20,85°C. Nous obtenons $I_m = 0,14$. Cette valeur permet de situer le climat de la région comme **aride**.

8.2.5. Climagramme d'Emberger :

L'interprétation du climargamme d'Emberger montre que le climat est subsaharien à hiver frais (station de Béchar), par contre il est aride à hiver tempéré (station d'Aïn Sefra).

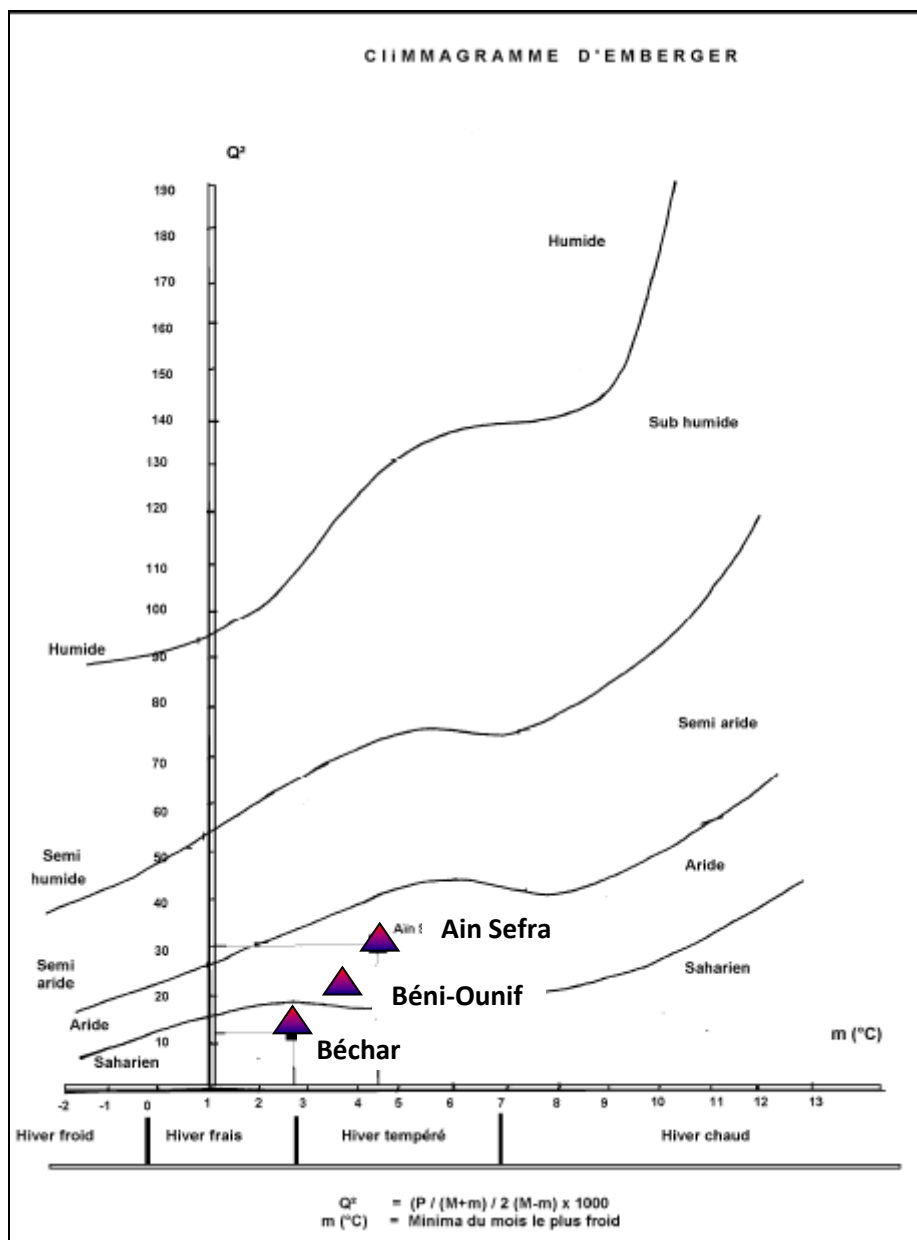


Fig. 60 : Climagramme pluviométrique d'Emberger.

8.2.6. Conclusion sur les calculs des indices :

Les différents indices calculés nous conduisent à des résultats concordants, la région d'étude est soumise à un régime aride à hyper aride.

Conclusion et discussion :

Nous avons vu dans ce chapitre que l'analyse du réseau hydrographique à partir du jeu de carte à des échelles différentes, a fait sortir qu'il s'agit d'un réseau bien dense. Dans les Monts des Ksour, l'ensemble des reliefs est entaillé sous l'effet de l'érosion fluviale engendrant un système d'affluents et de thalwegs légèrement symétriques par rapport à la ligne de partage des eaux. Le réseau est constitué par des oueds à écoulement généralement vers le sud et sud-ouest, guidés parfois par l'allongement de direction nord-est sud-ouest des reliefs. Les principaux oueds sont : au nord de Béni-Ounif ; l'Oued Zoubia, l'Oued Er Rmel et l'Oued Douis. Vers le Sud nous nous sommes basés que sur l'Oued Béchar qui prend sa source depuis le Djbel Antar et Horeit. Nous avons donc sélectionné deux bassins ; Béchar et Béni Ounif dans lesquels sont hiérarchisés d'autres sous-bassins plus au moins denses, l'analyse automatique de ces sous bassins a permis de délimiter plusieurs sous bassins en rapport avec la voie ferrée et en calculer leur morphométrie.

Les précipitations sont variables, à Béchar La moyenne annuelle des pluies est 50,4mm. Les précipitations dépassant les 100mm sont rares et le nombre de jour pluvieux est de l'ordre de 23 jours/an. Les pluies sont concentrées en hiver et en printemps. **Ces valeurs traduisent bien le caractère désertique de la zone d'étude.** Alors que la moyenne annuelle de la précipitation à Aïn Sefra est de l'ordre de 192mm répartie sur 38jours.

Les crues sont imprévisibles, dévastatrices et spectaculaires, nous avons cité le cas des inondations de 2008, se sont ces extrêmes qui favorisent l'érosion de la lithologie des bassins versants, et par conséquent les rendre vulnérables à l'attaque éolienne qui génère un important apport solide riche en sable, ce dernier arraché des grès et des terrasses alluviales, qui est lui-même repris par le vent. La valeur maximale (**294,17**) du débit de crue centennale a été retenue, du fait que ces valeurs sont plus proches du débit observé durant la dernière crue de du mois d'octobre 2008.

Les températures sont généralement élevées dans la période estivale et basse en saisons hivernales. Le mois juillet reste le mois le plus chaud de l'année et le mois janvier est le mois le plus froid. La température moyenne maximale est de 33,1 C° (station de Béchar) et 29,6 C° (station d'Aïn Sefra). Nous avons mis l'accent sur l'amplitude de la température qui responsable à l'éclatement de la roche par thermoclastie, les roches ont tendance à s'effriter.

En fin, les différentes méthodes de visualisation graphique on permet de caractériser le climat de la région étudiée qui soumise à un régime aride à hyper aride...la région d'étude est une zone de transition qui s'ouvre vers le nord aux monts des ksour et vers le sud à la plate-forme saharienne.

Chapitre 4

IV. DYNAMIQUE EOLIENNE :

Introduction :

Dans les Monts des Ksour, ainsi que dans la zone de transition entre l'Atlas Saharien et la plate-forme saharienne, sont multiples les formes de dunes, des accumulations sableuses se faire et se défaire ! *On se pose la question* : quel est l'origine est ce que rend la morphogénèse si passionnante ! Il est aisé de s'en convaincre en observant toutes ces formes, qui montrent la complexité de l'information contenue dans le relief sableux des dunes : quelle est la nature des vents qui ont permis à une telle structure de se former ? Depuis combien de temps existe-t-elle ? Mais ces formes ne sont pas les seules qui contiennent de l'information et qui sont sources d'interrogations pour le géomorphologue.

Ainsi, dans le même esprit que dans la thématique, l'ensablement des infrastructures est la résultante de trois grandes composantes où carrément, ce que nous appellerons un système éolien : dynamique du flux, contexte géomorphologique et la présence de matériel susceptible d'être arraché, transporté et déposé.

Les conditions du vent ne sont pas a priori constantes tout au long de l'année que ce soit dans le désert ou dans un écoulement des oueds. Nous verrons alors dans un premier temps les mécanismes des vitesses et des directions des vents.

Le changement saisonnier de la direction du vent dominant ou les tempêtes ponctuelles doivent également avoir un effet important sur la migration et l'accumulation du sable.

Les paramètres orographiques et géomorphologiques interviennent de façon combinée dans les modalités des directions et des vitesses des vents. Ils ont davantage de prêter à une analyse quantifiée ; mais l'emploi des méthodes de mesures et de calculs correspondantes doivent être mené avec plus de prudence en raison de l'interface des facteurs physiques et l'influence prononcée de certains paramètres.

Devant cette problématique abordée et en l'absence de données anémométriques ou de travaux antérieurement réalisés à une échelle plus restreinte ; (Djenien-Bourezg et Béni-Ounif). Nous étions donc dans l'obligation d'extrapoler les données des stations anémométriques les plus proches, celles de Bechar au Sud et d'Aïn Sefra au Nord.

C'est pourquoi nous avons pu recueillir essentiellement des données anémométriques depuis l'ONM concernant la station de Bechar, sur une série qui s'étale de 1977 à 2006. Ils seront étayés, dans ce chapitre, et comparés dans certains cas par des données d'autres travaux tels que de (Beloufa, 2001, Callot et Oulehri, 1996). Quant à la station d'Aïn Sefra, nous avons pu obtenir les données particulièrement du moi mai 2006, ainsi nous avons passé en revue les travaux régionaux antérieurs, notamment ceux de (Beloufa, 2001, Stambouli, 1998, et, Bensaid, 2007).

1. Déplacement du sable :

La première question qui vient à la tête ; sur pourquoi les grains de sable sont emportés par le vent ? Considérons un grain de sable, standard de 200 μm de diamètre pour un poids de l'ordre de 0,01 milligrammes. Imaginons maintenant que l'on souffle dessus de plus en plus fort. Au tout premier soufflement, le grain ne bouge pas. En forçant un peu plus, pour une vitesse du vent de l'ordre de 5 km/h, c'est pratiquement ce seuil qu'on l'appelle vent efficace. Il commence à rouler et pour des vitesses plus importantes, il peut décoller légèrement et ce, à cause des défauts de la surface qui lui servent de tremplin. Une fois en l'air, le vent pousse le grain, qui reste cependant soumis à la gravité et donc finit par retomber. Lors de l'impact, celui-ci rebondit, s'élevant ainsi à quelques centimètres du sol ; et plus il s'élève plus il est entraîné par un vent rapide. Ce qui ne l'empêche pas de retomber encore et à chaque fois de rebondir. Chaque saut, s'effectue sur quelques centimètres de hauteur tout au plus, pour une dizaine de centimètre de longueur. C'est ce qu'on appelle le mouvement de saltation.

Comme la surface du sol est, *a priori*, constituée d'autres grains de sable, le grain en saltation, à chaque fois qu'il rebondit, éjecte d'autres grains qui se déplacent en roulant ou en faisant des petits bonds puis, s'arrêtent en attendant un nouvel impact. Ces derniers grains ont un mouvement dit reptation. On appelle respectivement ; saltons et reptons les grains en saltation et en reptation (Pascal, 2004).

Lorsque la vitesse du vent devienne plus importante (environ 100km/h), les grains de sable sont mis en suspension, les tourbillons de l'écoulement de l'air étant assez forts pour contrebalancer la gravité, ils ne retombent pas au sol et peuvent être transportés sur de très grandes distances. C'est généralement le cas pour les grains les moins lourds et les petits, qui peuvent être transportés sur des milliers de kilomètre atteignant l'Europe. Au contraire les plus gros grains ne peuvent être maintenus très longtemps en suspension à cause de leurs poids. En fin lorsque le vent s'arrête le transport de sable s'arrête aussitôt. Or, les milieux granulaires comme le sable, ont des propriétés étonnantes : ils peuvent aussi bien couler comme l'eau, que se comporter comme un solide. Ainsi, les formes parues, rides, dunes, ne disparaissent pas en l'absence de vent (Pascal, 2004).

2. L'agent principal :

Nous avons vu plus haut, qu'un grain de sable ne peut être déplacé sans l'intervention du vent...mais quel vent ? Les vents ont joué et jouent toujours un rôle primordial dans l'érosion des reliefs et des sols, dans la dégradation de la végétation et par conséquent l'accentuation du phénomène d'ensablement. (Ouleher, 1992) affirme que le « *le régime éolien s'impose comme principal dans la description de la région* ».

Par son mécanisme complexe et dangereux au cours de sa phase initial, l'homme ne peut pas déceler les dommages et les dégâts qu'il engendre. Ces derniers deviennent visibles et décelables généralement à un stade avancé de dégradation (Manguet, 1995).

Le vent est considéré dans ces types de régions arides comme l'unique agent dynamique de l'érosion éolien. Sa vitesse varie en fonction de l'altitude. A ras du sol, niveau situé entre

0,03 et 2,5 mm, la vitesse du vent est nulle. Au-dessus de ce niveau et sur une très faible hauteur, la circulation de l'air est laminaire ; par contre au-dessus de cette couche la circulation devient turbulente. C'est cette dernière qui engendre les forces qui entraînent les mouvements des particules de sable (FAO, 1960).

2.1. Complexité de la dynamique éolienne :

La dynamique éolienne est étroitement liée par tout un système éolien appelé ; système éolien ; il comprend trois grands « complexes » ou « ensembles de paramètres », (K. Remaoun et *all*, 2006) qui sont :

2.1.1. Dynamique de flux :

Il s'agit d'une masse d'air en mouvement qui peut être assimilée à un fluide ou à un son en propagation. Cette masse d'air possède un volume, des caractéristiques physico-chimiques et une vitesse qui peuvent changer, se modifier au cours de son déplacement (Remaoun et *all*, 2006).

2.1.2. Contexte géomorphologique :

Les reliefs et l'hydrographie actuels des monts des ksour sont le fruit d'une longue genèse qui s'est produite au cours des temps géologiques. Cette genèse a fait changer le paléoclimat, le contexte géologique, structural et bioclimatique à des milieux où l'aspect anthropique règne aboutissant ainsi au changement, aménagement, occupation, transformation dans lequel circule le *flux qui est le vent*.

Le vent, prend naissance grâce à des conditions météorologiques relevant de la circulation générale des masses d'air ou particulières favorisées par un contexte géographique, orographique particulier ou continentalité.

Le déplacement et le mouvement du vent est conditionné par les facteurs orographiques et anthropiques ainsi que l'état de surface (végétation, formations superficielles dont les divers dépôts et les sols, les zones humides et les bas-fonds, les cours d'eau quel que soit leur taille). Ces facteurs cités ci-dessus influent étroitement sur le sens de déplacement du vent ; remontée ou descente, vitesse de circulation et le mode d'écoulement du vent, soit laminaire, turbulent, en forme de tornade, etc...).

Dans le contexte régional, le flux vent pratiquement fluctue d'un endroit à l'autre et rend souvent difficile l'application des lois physiques et en particulier la dynamique éolienne. En outre, la susceptibilité d'arrachement du matériel éolien ou l'érosivité éolienne est conditionnée du paramètre vent où l'étude du système éolien ou de la dynamique éolienne s'avère complexe et pluridisciplinaire.

2.2. Traitement des données anémométriques :

Pour les deux stations choisies ; Béchar et Aïn Sefra, nous avons opté pour deux approches pour étudier les vents basés essentiellement sur le traitement des données anémométriques de la station de Béchar s'étalant du 1977 à 2006, et pour la station d'Aïn Sefra, nous nous contenterons des données du mois de mai 2006 obtenues depuis l'ONM. Outre qu'une comparaison avec les travaux antérieurs (Beloufa, 2001, Stambouli, 1998

et, Bensaid, 2007). Le but final de ces approches est l'extrapolation des résultats de la dynamique éolienne sur la région de Djenien Bourezg -Béni Ounif, étant que cette dernière se trouve dans une position médiane entre les deux stations.

La première approche, ou classique :

Basée essentiellement sur l'étude fréquentielle des vents par directions et vitesses en tenant en compte des vents calmes dites vents inefficaces.

La seconde approche :

Cette approche consiste à l'évaluation des déplacements de sable DPS et la quantification du matériel éolien susceptible à être déplacé. Elle est basée sur des formules empiriques de *Lettau* revues et simplifiées par *Fryberger*.

2.3. L'approche classique : Traitement fréquentiel des vents :

Cette approche est basée essentiellement et fondamentalement sur des classes des vitesses et des directions des vents selon huit (8) relevés quotidiens, soit un (1) relevé tous les trois (3) heures. Comme nous l'avons déjà abordé sommairement plus haut, un vent est efficace que si sa vitesse attend ou dépasse $V \geq 5$ km/h (5m/s), au-dessous de laquelle les vents sont dits calmes ou vents inefficaces (V oscille entre 0,1 et 4,9 m/s). Néanmoins, ces derniers ont été pris en compte pour un double objectif ; d'une part, les calmes nous permettent de caractériser l'activité éolienne en précisant les mois par apport au vent ; les mois les plus venteux, les modérément venteux et les moins venteux. A cette optique, nous avons choisi cinq classes, les calmes inclus, à savoir :

- Du 0,1 à 4,9 m/s. (vents calmes).
- 5 à 7,9 m/s. (à partir de là, le vent devient efficace)
- 8 à 11,9 m/s.
- 12 à 15,9 m/s.
- 16 m/s.

2.3.1. Régime des vents calmes (inefficaces) :

Il s'agit de déterminer un taux de calme (%) qui représente le ratio des calmes par apport au total des relevés des vents. Dans la station de Bechar nous avons obtenu un taux de 17% sur le total des relevés de la série anémométriques du 1977 à 2006 et par analogie un taux de 22.32% sur le total des relevés allant de 1985 à 1996 (*Beloufa, 2001*). Tandis que pour la station d'Aïn Sefra, le taux de calme est 56% (*Stambouli, 1998*), (Cf. Tab.27)

Nous remarquons d'une façon générale avec plus de prudence, que les saisons de l'hiver et l'automne sont les plus calmes et le printemps et l'été sont les plus venteux, et ce, pour les deux stations. Cependant, les vents inefficaces (calmes), station de Béchar représentent 2,8 fois moins que ceux de la station d'Aïn Sefra, ce qui laisse à penser que Béchar est beaucoup plus ventilée que Aïn Sefra (**Fig. 61**).

Pour la station d'Aïn Sefra (1986 à 1996), le taux annuel des calmes 56% parait non significatif, il est difficile d'en tirer une conclusion directe, alors que les taux mensuels sont les plus représentatifs, à savoir :

-Les mois avril, mai et juin sont comme étant assez venteux où le taux des calmes < 45%.

-Pour le reste de l'année, le taux de calmes est > 51% (**Fig. 61**).

Le passage d'une période calme à une autre relativement ventilée s'effectue entre février avec un taux de 61,8% et mars avec 51,3%. Le vent souffle dans la station d'Aïn Sefra moins durant la période d'octobre à février.

Pour la station de Bechar (1985 à 1996), le taux des calmes est significatif, car on peut remarquer que le taux des calmes se situe entre 17% (minima) et 27% (maxima), l'écart entre les différents taux mensuels est aussi faible, chose qui rend difficile la distinction entre les mois les plus venteux et ceux qui le sont moins. On peut quand même subdiviser l'année en deux périodes distinctes, à savoir :

-Une période de six mois correspondants aux saisons de l'automne et l'hiver (septembre à février) où nous distinguons que les calmes sont les plus élevés (23.35 à 26.42%).

-Une autre période de six mois qui correspond aux saisons du printemps et de l'été, qui s'étend de mars à août, où nous pouvons constater que les calmes sont légèrement plus faibles, les taux sont compris entre 17.15 et 21.87 %. On peut conclure, que les mois ; novembre avec 26,02%, décembre avec 26,42% et janvier avec 26,22%, auxquels on peut y rajouter le mois février avec 24,80% ; comme les moins venteux. Cependant, les mois les plus venteux sont ; avril avec 18,59%, mai avec 17,15% et juin avec 17,92% auxquels on peut y rajouter juillet avec 20,79%. (Fig. 61)

Pour la station de Bechar (1977 à 2006), Il en est de même presque, un pic de vents calmes au mois janvier (30.4%) qui est le moins ventilé, et un minimum de 0.1% au mois mai considéré comme le plus fortement ventilé. On peut y subdiviser l'année d'octobre à février avec un taux de calme supérieur à 23% et de mars à septembre avec un taux de calmes inférieur à 19%. Cette légère différence entre les deux séries (1986 à 1996) et (1977 à 2006) est expliquée peut-être par la présence de lacunes ou de mauvaise transcription des données anémométriques. D'une manière générale, le vent souffle en moyenne les $\frac{3}{4}$ du temps en automne - hiver et un peu plus au printemps - été.

Tableau 27 : Comparaison des vents calmes pour les deux stations (Béchar et Aïn Sefra).

Station de Béchar (1977-2006), (par ce travail)												
	Jan.	Fév.	Mar.	Av.	Mai	Juin	Jui.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
% vents calmes	30.4	25.6	19	12.1	0.1	9.5	11.8	12.9	16.1	23.2	25.8	27.7
% vents efficaces	69.7	74.3	80.9	88.1	90.6	84.2	88.2	87.2	83.9	76.8	74.2	72.4
Selon les données de la station de Béchar (1985-1996), (Beloufa, 2001).												
% vents calmes	26,22	24,80	21,30	18,59	17,15	17,92	20,79	21,87	23,44	23,35	26,02	26,42
% vents efficaces	73,78	75,20	78,70	81,41	82,85	82,08	79,21	78,13	76,56	76,65	73,94	73,58
Selon les données de la station d'Aïn Sefra (1985-1996), (Stambouli, 1998).												
% vents calmes	62,3	61,8	51,3	42,2	44,6	43,0	53,9	55,6	57,4	63,2	67,4	69,5
% vents efficaces	37,7	38,2	48,7	57,8	55,4	57,0	46,1	44,4	42,6	36,8	32,6	30,5

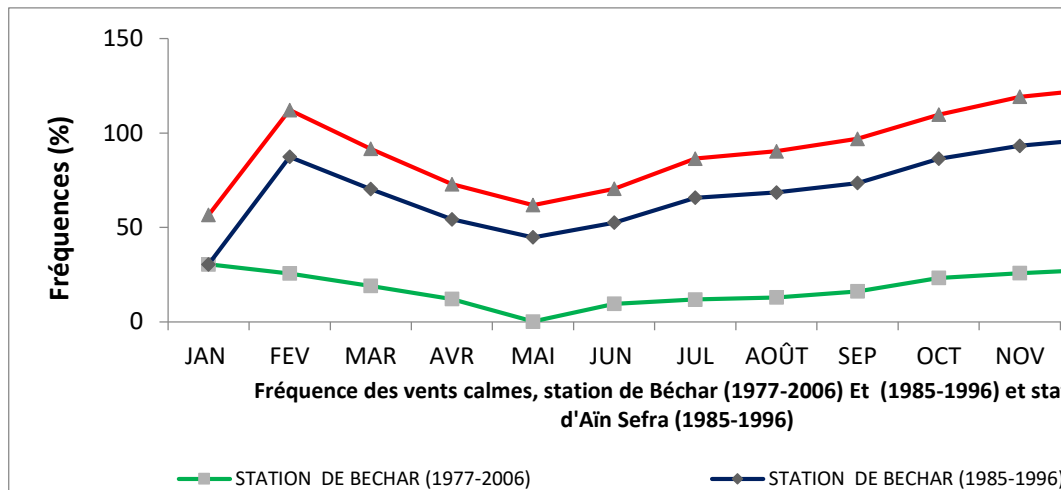


Fig. 61 : Comparaison des fréquences des vents calmes mensuelles calculés pour la période de 1977 à 2006 par ce travail avec celles étalées du 1985 à 1996 pour les deux stations ; Béchar et Aïn Sefra, (d’après les données de Beloufa, 2001 et Stambouli, 1998).

2.3.2. Régime des vents efficaces :

L’analyse des vents calmes pour la période de 1977 à 2006 avec comparaison avec celle de 1985 à 1996 (Beloufa,2001), ainsi qu’à Aïn Sefra a permis de comprendre que la station de Béchar est la plus ventilée par apport à Aïn Sefra. (Fig. 62)

L’approche de traitement fréquentiel des données anémométriques des stations Béchar et Aïn Sefra fait intervenir les vitesses, les directions et les heures de relevés. Nous avons opté plus haut au choix de cinq classes de vitesse y compris les calmes. Le raisonnement des vents efficaces est systématiquement conditionné par une vitesse égale ou supérieure à 5 m/s.

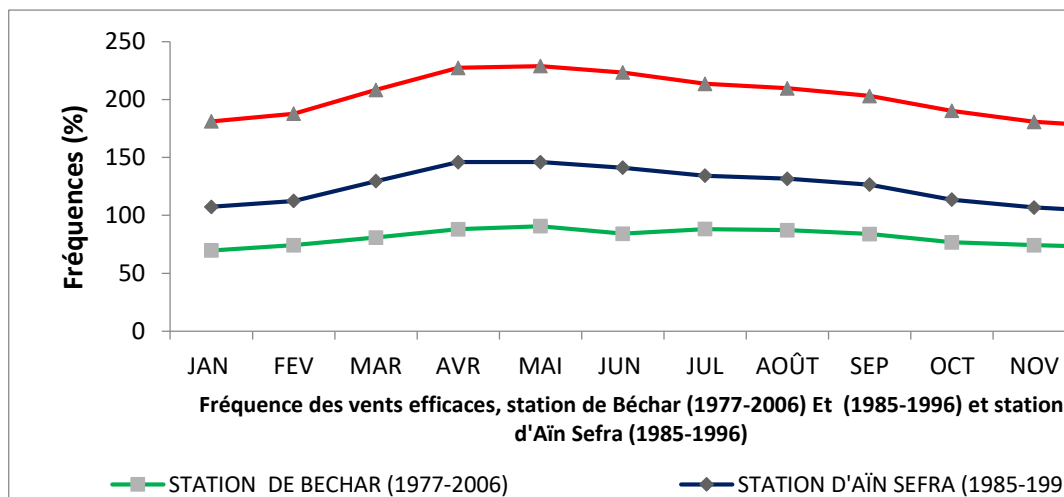


Fig. 62 : Comparaison des fréquences des vents efficaces mensuelles calculés pour la période de 1977 à 2006 par ce travail avec celles étalées du 1985 à 1996 pour les deux stations ; Béchar et Aïn Sefra, (d’après les données de Beloufa, 2001 et Stambouli, 1998).

2.3.3. Vents efficaces à Aïn Sefra :

Un classement annuel des vents par efficacité décroissante, directions et vitesses. Les directions des vents efficaces sont portées par ordre d'importance, à savoir ;

Les vents d'Ouest avec 12,03%, d'Est avec 10,94% et ceux du Nord avec 10,42%. La rose des vents correspondante (**Fig. 63**), (**Tab. 28**) ; illustre nettement qu'il y a une concurrence ou convergence d'au moins deux directions opposées ; l'Est et l'Ouest ; bien que ces derniers soient un peu plus les plus fréquentés.

Tableau 28 : Répartition annuelle moyenne des vents efficaces, station d'Aïn Sefra (1985-1996), d'après (**Stambouli, 1998**).

V/D	Z	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
4-7 m/s	747	574	352	372	895	452	177	226	334	435	334	563	865	335	309	495
8-11 m/s	183	85	61	54	119	56	24	53	109	135	105	121	180	102	63	126
12-15 m/s	45	27	4		14	4	1	4	16	24	25	18	74	20	16	31
> 16 m/s	4			1					2	4	5	2	12		1	2
Total relevés	979	686	417	427	1028	512	202	284	461	598	469	704	1131	457	389	654
Taux	10.42	7.30	4.43	4.54	10.95	5.44	2.14	3.02	4.9	6.36	5	7.5	12.03	4.86	4.14	6.95

Total des relevés : 9398 données de vent.

Les vents du Nord sont aussi importants avec 10,42%, ils confèrent à Aïn Sefra l'aspect de carrefour éolien. Soit donc trois convergences de vent par ordre d'importance ; O, E et N.

Ensuite arrivent les vents efficaces d'WSW avec un taux de fréquence de 7.50 %, du NNE avec un taux de fréquence de 7.29%, auxquels on peut ajouter les vents du NNW avec un taux de fréquence de 6.94% et du SSW, avec un taux de fréquence de 6.35% : on note la dominance des vents de secteurs W (SSW à NNW), la direction NE vient renforcer le NNW.

Les vents d'ESE (5.44%), SW (5%), NE (4.44%), ENE (4.53%), S (4.90%), WNW (4.86 %) et NW (4.14%) : les vents de secteurs E (S à ENE) avec ceux de direction WNW et NW confirment le trait « carrefour éolien » du site de Aïn Sefra. Les vents du SSE (3.02 %) et SE (2.15 %) sont les moins fréquents.

Enfin, si nous prenons en considération les classes de vitesses des vents efficaces les plus fréquents de la série, nous constatons que les vents d'W sont les plus dynamiques puisqu'ils peuvent atteindre des vitesses > 16 m/s. De même pour les vents d'WSW, SW, SSW, NNW et N. Paradoxalement, les vents les moins fréquents (ceux du SSE et du S) enregistrent des vitesses > 16 m/s 1 ou 2 fois en 12 ans (**Discutions K. Rémaoun., 2006**).

En général, les vents d'ouest sont généralement engendrés par les vents atlantiques qui constituent l'élément prédominant de la circulation atmosphérique ainsi qu'un régime des vents venu de l'Atlas Tellien. Les vents du nord témoignent l'influence et les fluctuations

de l'anticyclone des Açores, ensuite ces vents cèdent la place à ceux d'est. En revanche les composantes nord et nord est sont les plus importantes, cela pourrait avoir une origine des protubérances de l'orographie particulière de la région d'Aïn Sefra.

En fin les vents du sud (siroco) sont d'amplitudes faibles avec des fréquences ne dépassant guère les 5%. Ces vents se manifestent sous forme de tempête de sable qui dure quelques jours. D'après les mesures effectuées par Dubief., (2001) ; les vents de sable les plus fréquents ont des directions ouest et nord-ouest.

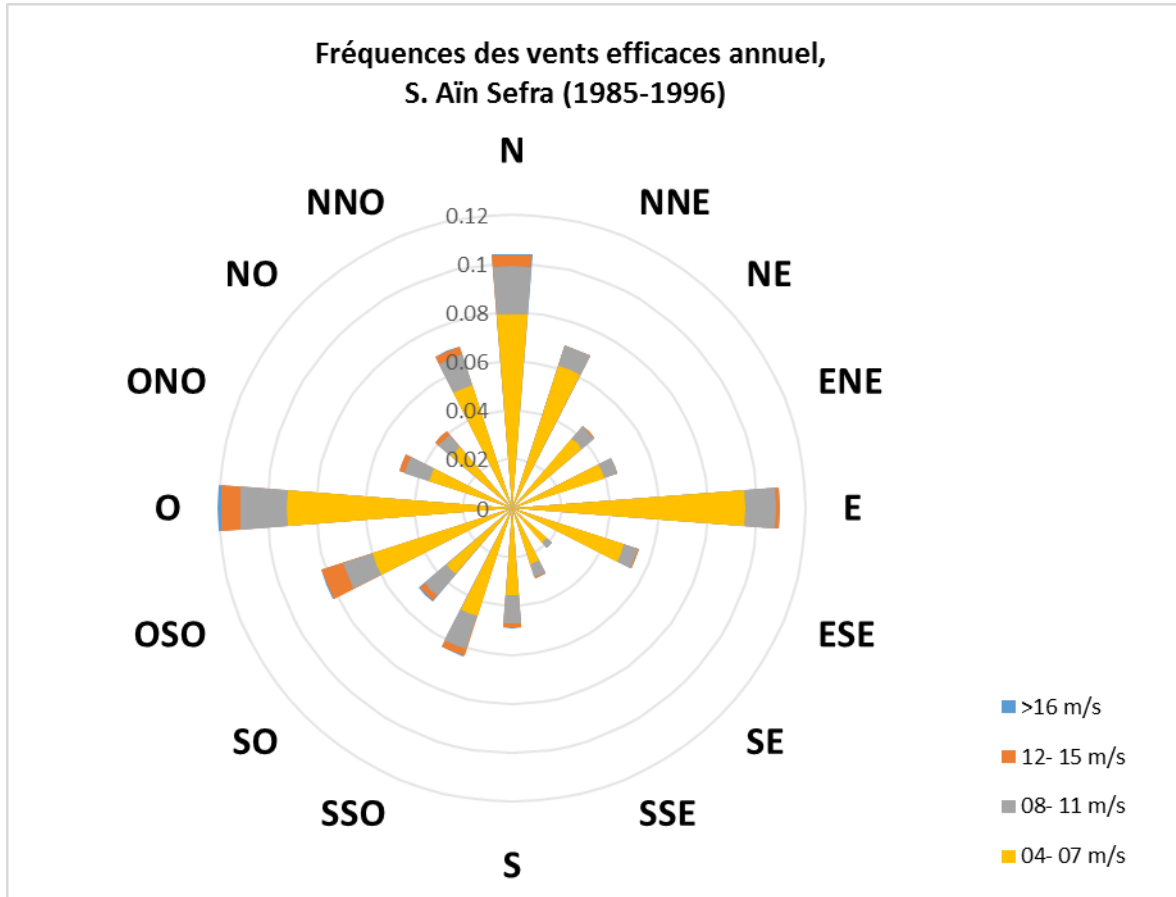


Fig. 63 : Rose des fréquences des vents efficaces annuels, station d'Aïn Sefra (1985-1996).

2.3.3.1. Analyse mensuelle de la répartition et fréquence des vents efficaces :

Le régime des vents efficaces mensuelles ; l'analyse des données anémométriques, mois par mois, a permis le découpage de la série en saisons ; même si ce découpage ne correspond pas aux saisons classiques. Il ressort de cette analyse ce qui suit :

-de septembre à février, saison de 6 mois et pendant laquelle ce sont les vents d'W qui sont les plus fréquents. Ces derniers sont suivis, par ordre d'importance en fréquence par :

- les vents d'WSW et du N,
- les vents d'E et,
- les vents du SSW.

En fait, les vents qui atteignent des vitesses supérieures à 16m/s et qui ont une certaine fréquence, donc les vents ayant un dynamisme certain sont :

- les vents du S, SSW et SW.

-Du mars à mai. Ce découpage correspond bien à la saison classique (printemps) : Les vents du N, NNW, NNE, W et E, sont les plus fréquents. Ceux du N et NNW sont les plus dynamiques. On y ajouter ceux du SW avec des vitesses > 16 ms et des fréquences moins importantes.

Le mois de juin. se distingue par :

- une grande fréquence des vents d'E, suivis par ceux du N.
- en seconde position, on trouve les vents d'W puis du NNE et du SSW.

Les caractéristiques du mois de juin font ressortir l'aspect «carrefour» d'Aïn Séfra.

En Juillet et août :

- les vents d'E sont les plus fréquents,
- En seconde position, ce sont ceux du S,
- Puis nous trouvons en fréquence moins élevée : les vents d'ESE, W, WSW, N et ENE. Là aussi, les 3 directions se retrouvent avec des fréquences égales ou similaires (W-E-N).

2.3.3.2. Les vents efficaces en mai 2006, station d'Aïn Sefra :

Tableau 29 : Exemple des fréquences et de dynamisme des vents en mai 2006, d'après les données anémométriques obtenues de l'ONM d'Aïn Séfra.

Le tableau 28 et la rose des vents efficaces du mois mai 2006 (**Fig. 64**) illustrent en gros : *Du point de vue fréquences* : Les vents d'est sont les plus fréquents, viennent en premier place les vents du nord est avec de 25 relevés, suivi par les vents d'est aussi dominants avec de 21 relevés.

En deuxième place, les vents NNE, est NE et S est, auxquels on peut rajouter ceux d'ESE et SSE. En dernière position, apparaissent les vents de secteur W : WNW et W.

Du point de vue dynamise : les vents ayant une vitesse supérieure à 5 m/s. La rose du vent Fig. 31 montre clairement que les vents du NE qui sont les plus fréquents, ensuite ceux de l'Est en dernier arrivent les vents du SSW et l'ouest.

Dir. Classes vitesse	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Totaux
V<5 ms	4	9	15	7	14	5	8	7	6	4	2	2	2	6	2	7	100
5-7 ms	0	3	10	4	7	4	2	2	5	0	2	4	2	3	2	0	51
> 7 ms	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3
Nb Relevés Vents	4	13	25	11	21	9	10	9	7	9	2	4	7	8	5	8	241
Calmes		+															87
% de V>5ms	0	4	10	4	7	4	2	2	1	5	0	2	5	2	3	1	

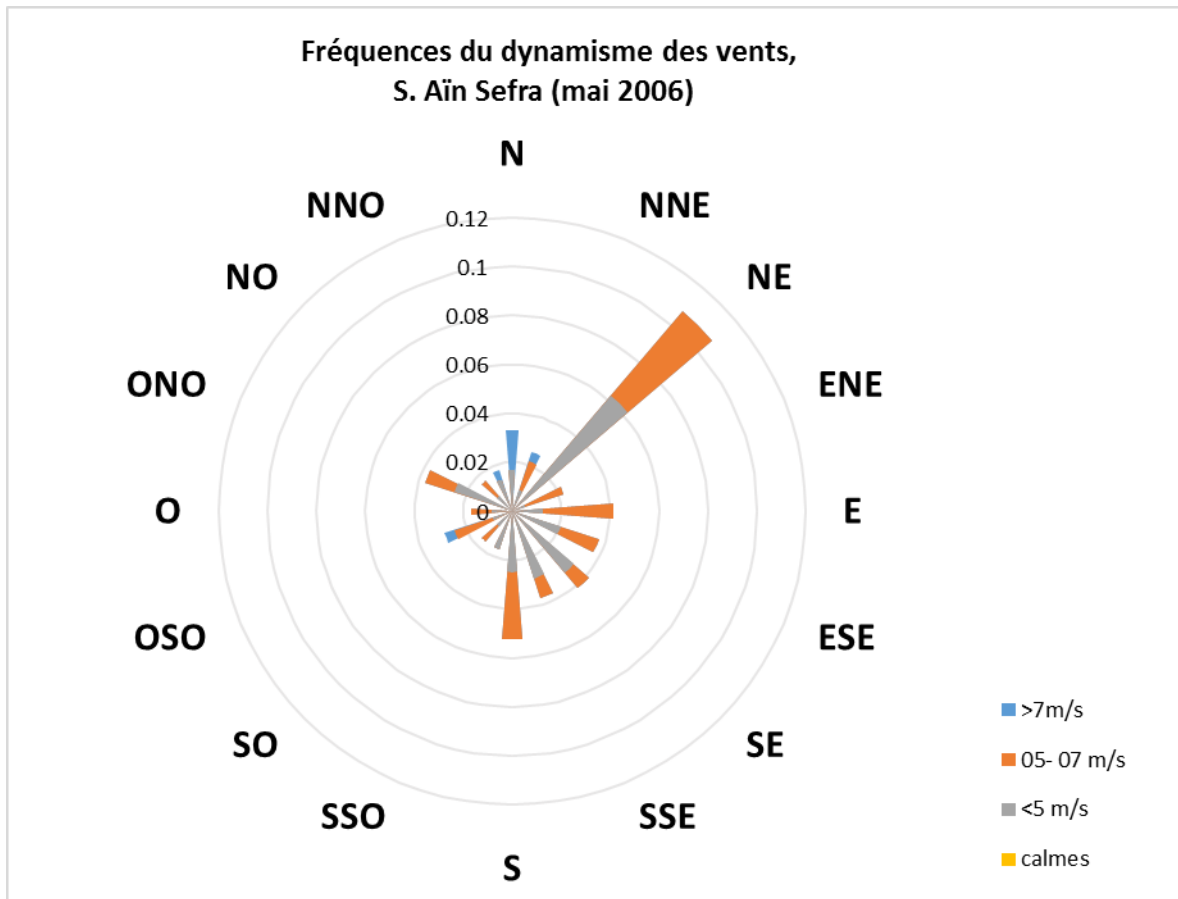


Fig. 64 : Rose des fréquences des vents efficaces du moi mai 2006, station d'Aïn Sefra.

2.3.4. Régime des vents efficaces à Bechar :

2.3.4.1. Analyse mensuelle de la répartition et fréquence des vents efficaces :

L'analyse mensuelle et annuelle des roses des vents efficaces a révélé qu'au niveau de la station de Béchar (1977-2006) la résultante est de direction SE-NO. Cependant, dans la station d'Aïn Sefra, la dominance des vents est de direction NNO à SS.

Néanmoins, les directions des résultantes des deux régions présentent des variabilités à l'échelle mensuelle.

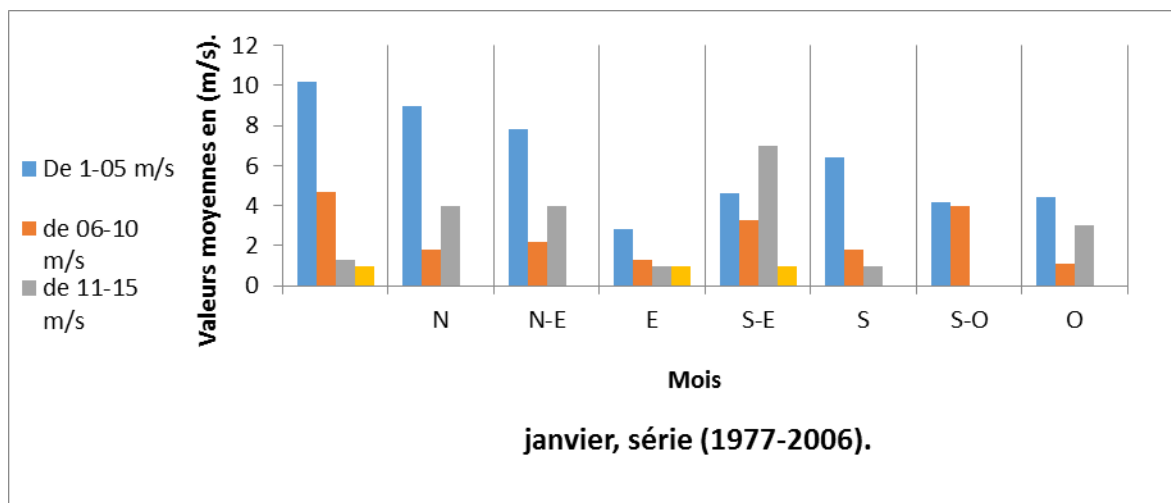


Fig. 65 Vitesses en fonction des directions des vents, mois janvier, station de Béchar (1977-2006).

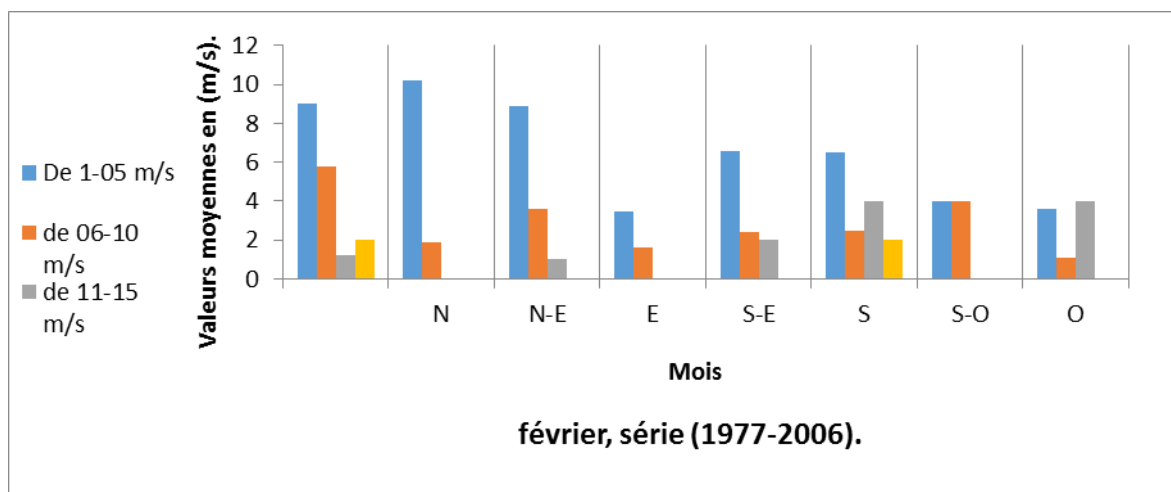


Fig.66 Vitesses en fonction des directions des vents, mois février, station de Béchar (1977-2006).

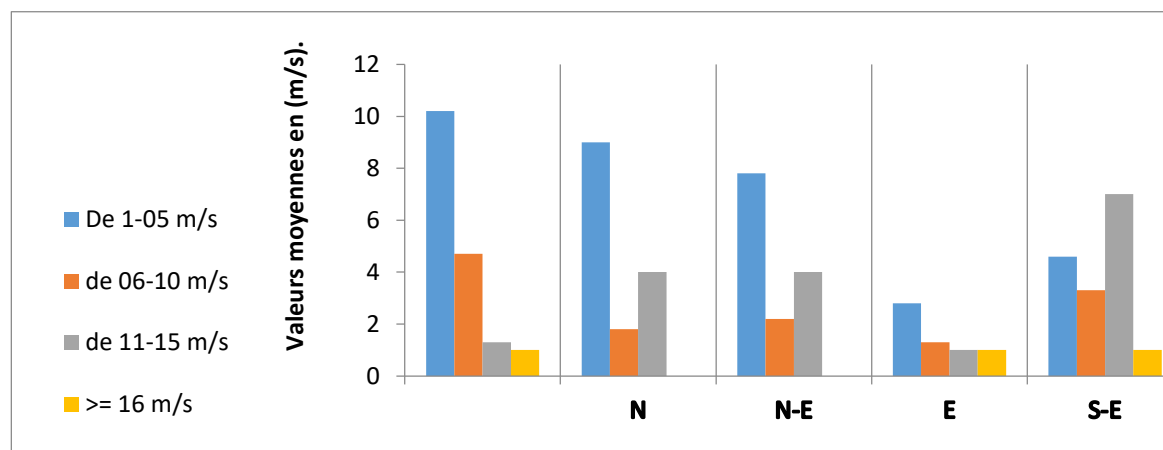


Fig. 67 Vitesses en fonction des directions des vents, mois mars, station de Béchar (1977-2006).

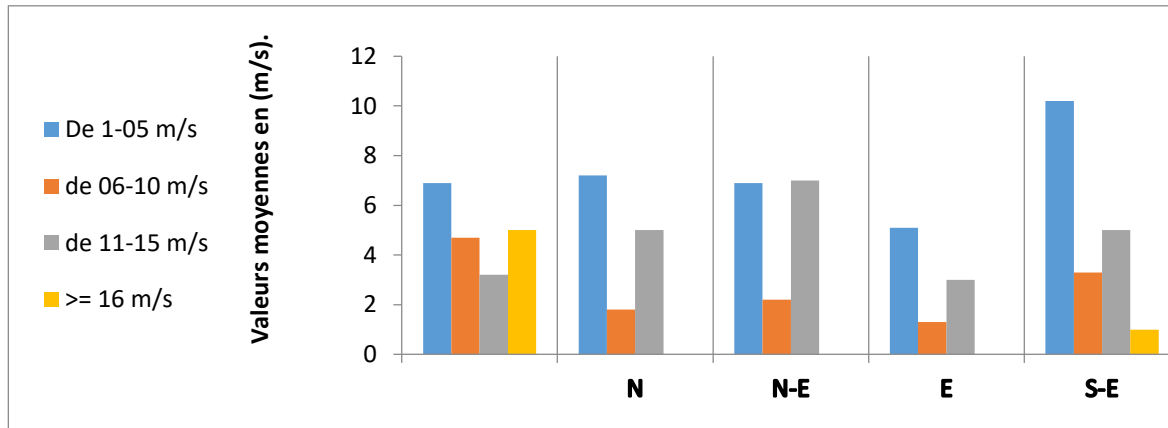


Fig. 68 Vitesses en fonction des directions des vents, mois avril, station de Béchar (1977-2006).

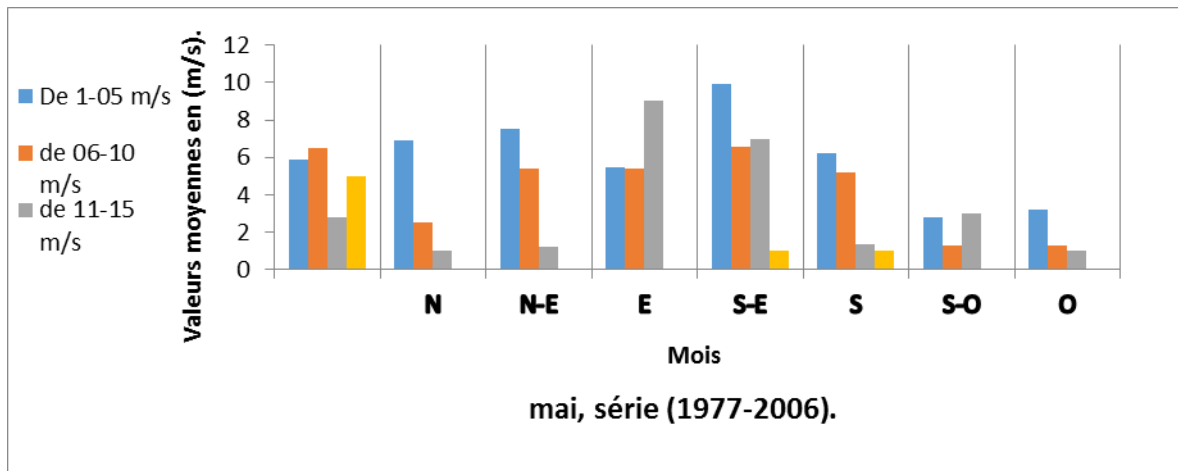


Fig. 69 Vitesses en fonction des directions des vents, mois mai, station de Béchar (1977-2006).

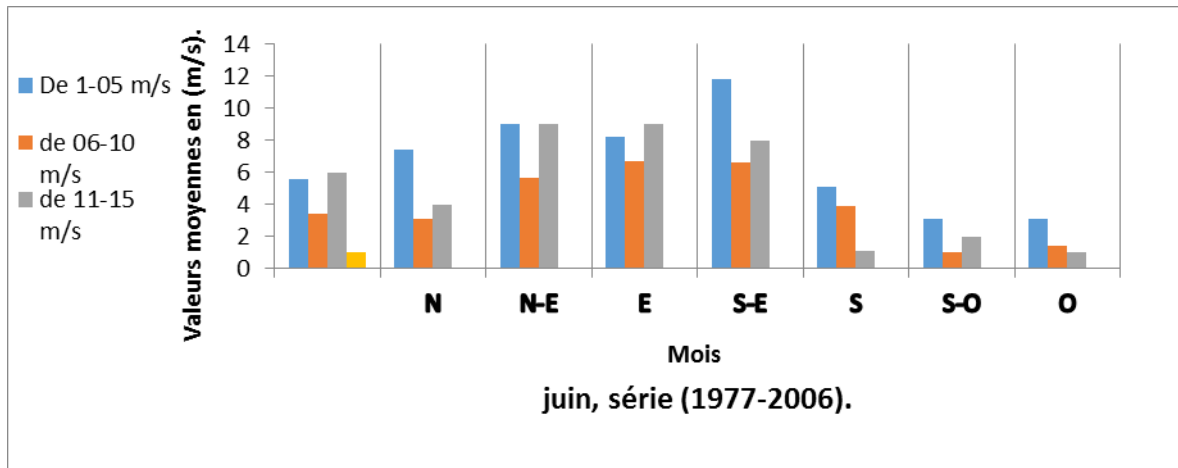


Fig. 70 Vitesses en fonction des directions des vents, mois juin, station de Béchar (1977-2006).

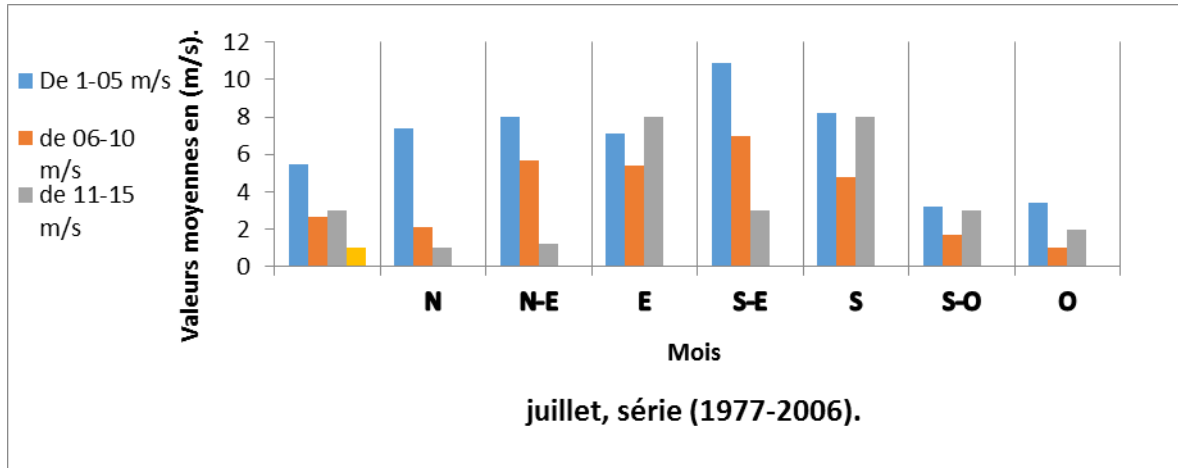


Fig. 71 Vitesses en fonction des directions des vents, mois juillet, station de Béchar (1977-2006).

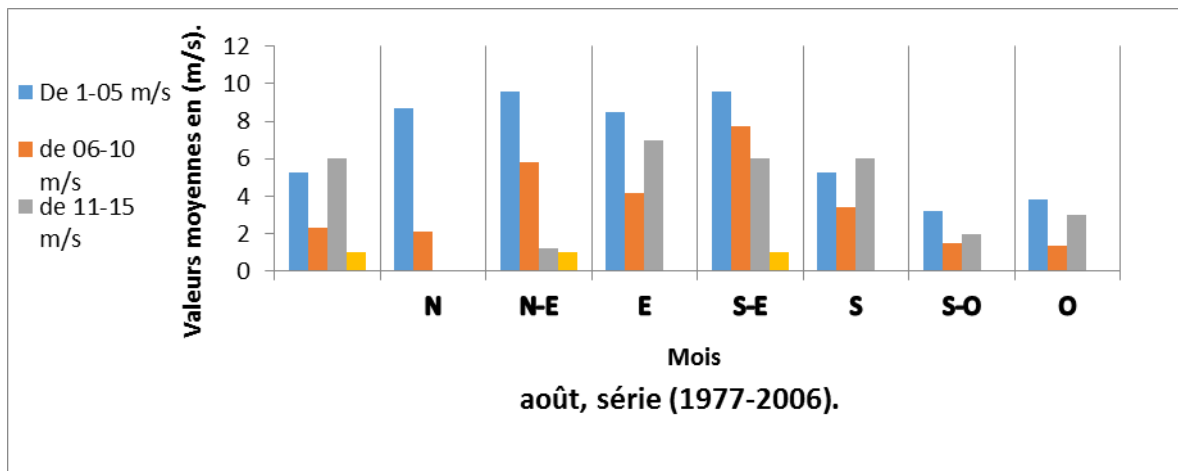


Fig. 72 Vitesses en fonction des directions des vents, mois août, station de Béchar (1977-2006).

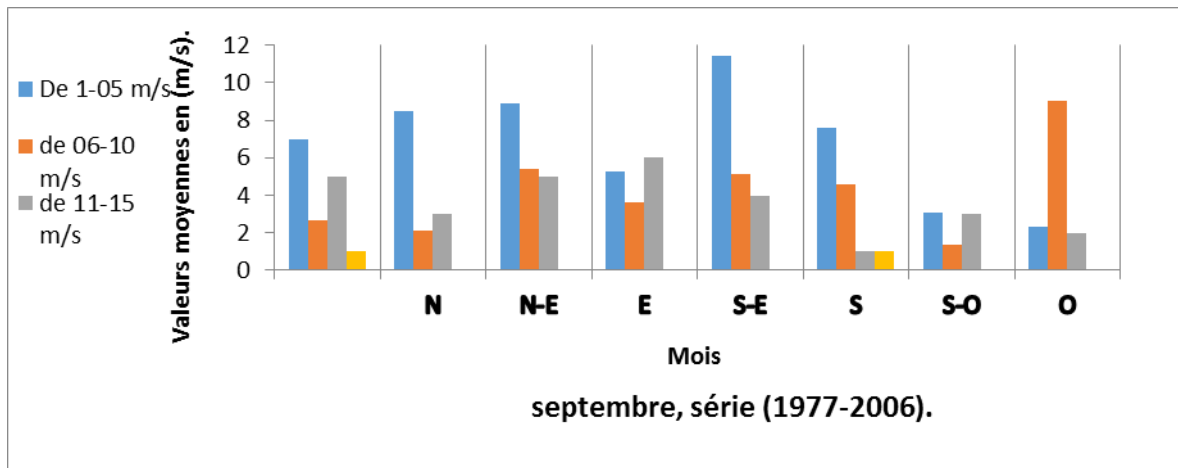


Fig. 73 Vitesses en fonction des directions des vents, septembre, station de Béchar (1977-2006).

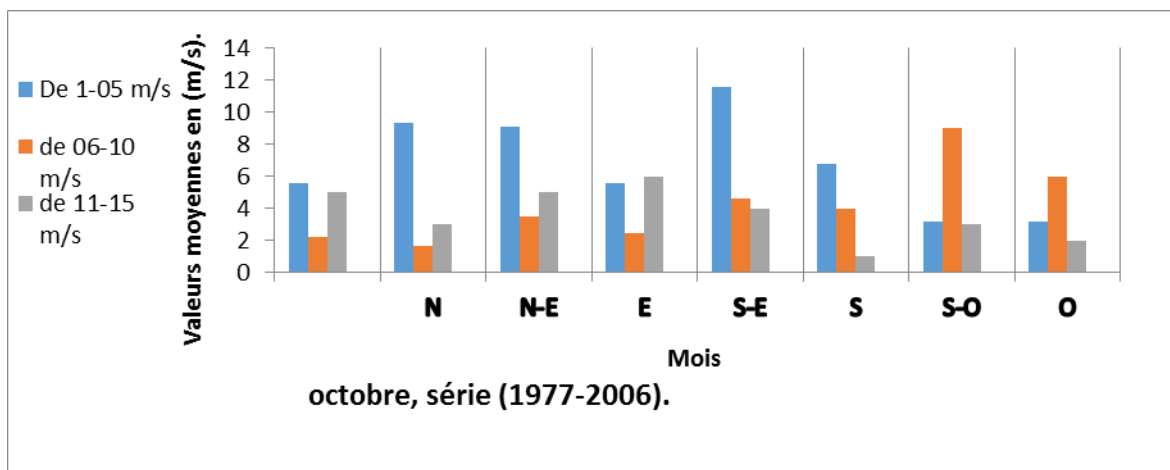


Fig.74 Vitesses en fonction des directions des vents, mois octobre, station de Béchar (1977-2006).

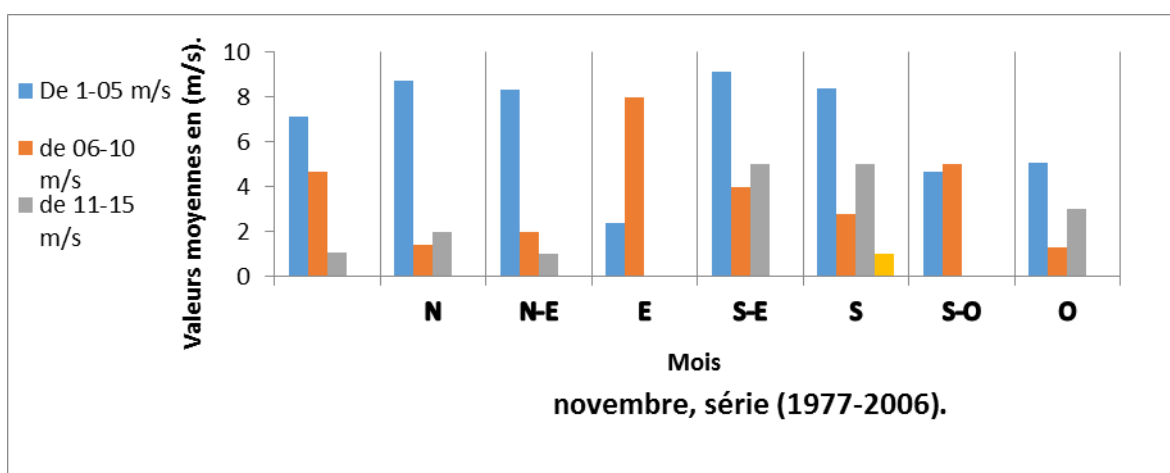


Fig.75 Vitesses en fonction des directions des vents, novembre, station de Béchar (1977-2006).

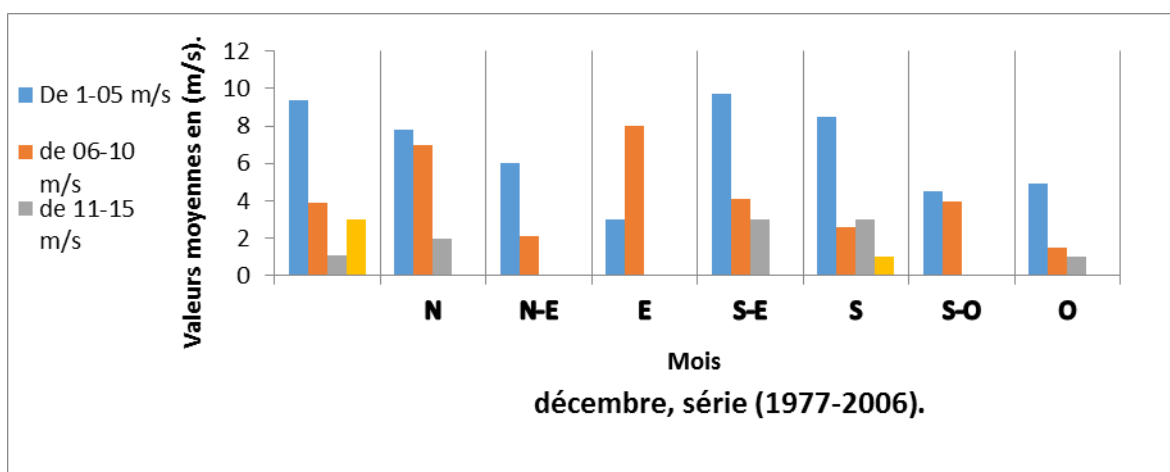


Fig.76 Vitesses en fonction des directions des vents, décembre, station de Béchar (1977-2006).

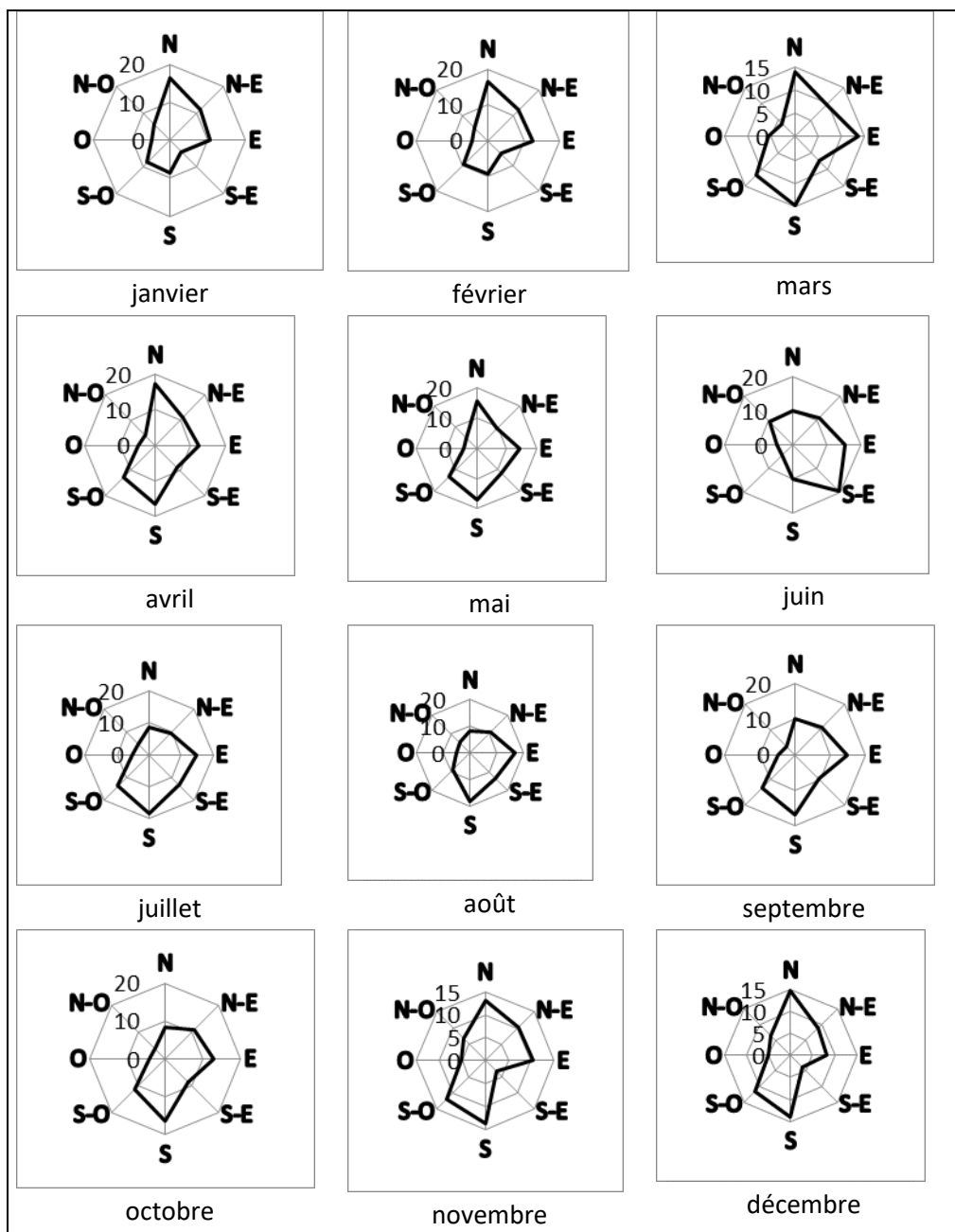


Fig.77 : Rose des fréquences des vents efficaces mensuels, du (1977 à 2006).

Tableau 30 : Répartition annuelle moyenne des vents efficaces, station de Béchar (1985-1996). (Beloufa, 2001).

vitesse	DIRECTION															
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
4-7 m/s	860	569	815	1416	900	538	748	1963	1251	542	413	471	193	208	632	1306
8-11 m/s	224	88	147	625	374	198	213	577	439	227	175	92	48	58	199	655
12-15 m/s	62	12	20	161	85	34	15	86	111	82	53	31	16	14	87	241
> 16 m/s	9		2	30	8	1		10	25	15	11	4	4	2	12	51
Total	1155	669	984	2232	1367	771	976	2636	1826	866	652	598	261	282	930	2253
Taux %	6.26	3.62	5.33	12.09	7.40	4.177	5.28	14.28	9.892	4.69	3.532	3.24	1.474	1.52	5.038	12.20

Le tableau 29 et la Fig.78, montrent que les fréquences des vents efficaces qui sont à priori par ordre d'importance ; SSE avec un taux de fréquence de 14,28% du nombre total des relevés, NNW avec un taux de fréquence de 12,20% et ENE avec un taux de 12,09%.

Toutefois, les vents du sud sont en première position ; SSE et S avec taux des fréquences respectueusement 14,8% et 9,89%, soit un total de relevés de 4462. Ensuite viennent les vents de l'est qui sont relativement dominants ; ENE et E avec des taux de fréquence respectivement 12,09% et 7,40%, ce qui correspond à un total de relevés de 3589.

En dernier, arrivent les vents du nord, les moins fréquents NNW et N avec des taux de fréquences respectivement 12,20% et 6,26%, soit un taux de relevés de 3408.

Les vents du NW et ceux du NE sont en concurrence ; convergence avec des taux de fréquence qui sont respectueusement 5,038% et 5,33%

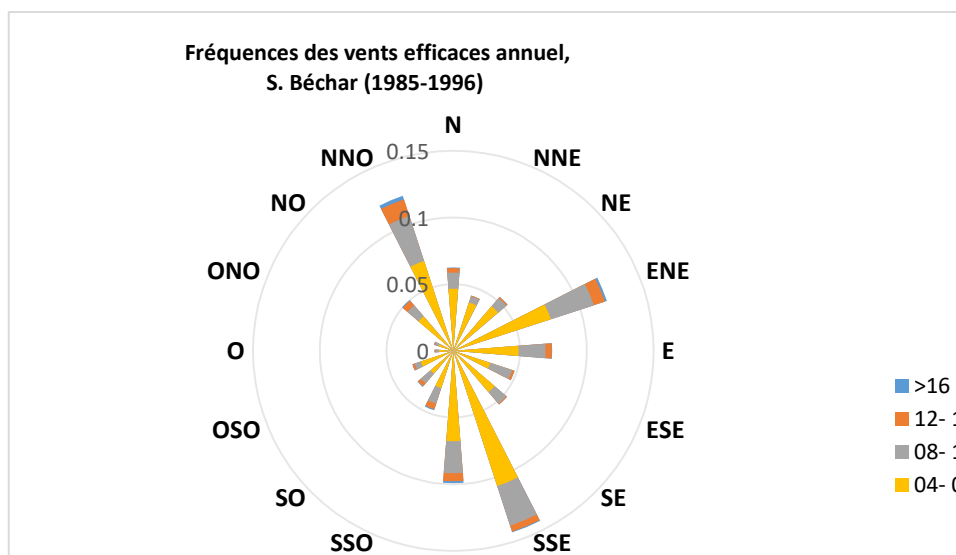


Fig. 78 : Rose des fréquences des vents efficaces annuels, station de Béchar (1985-1996) (recalculées d'après les données de Beloufa, 2001).

2.3.4.2. Régime saisonnier :

L’analyse des graphiques des vents efficaces mensuels (Fig. 32), déduites à partir des données anémométriques (1985-1996), station de Béchar, selon les critères de vitesses et des directions, a permis de subdiviser le régime saisonnier en deux groupes : de mai à octobre et de novembre à avril. (K. Remaoun, Beloufa R., 2001).

Régime mai à octobre :

Ce régime correspond à la saison de l’été où les températures sont très élevées, dépassant parfois les 45C°. D’une façon générale, les directions des vents efficaces les plus fréquents en fonction de la fréquence et du dynamisme sont par ordre d’importance, Les vents les plus dominants sont NNW, on peut y ajouter les vents du NW et N. ensuite viennent de suite les vents SSE et ceux du S, enfin les arrivent les vents les moins dominats ENE et E . (Fig. 79, tab. 30).

Tableau 31 : Répartition moyenne des vents efficaces de Mai à Octobre

VITESSES	DIRECTION															
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
4-7 m/s	421	246	292	567	358	171	233	826	540	253	162	211	88	118	334	737
8-11 m/s	117	40	42	212	12	55	50	247	185	84	44	26	24	31	123	429
12-15 m/s	40	4	9	67	25	8	1	28	54	24	11	5	6	9	59	150
V> 16 m/s	7	0	2	17	2	0	0	5	11	7	4	0	4	1	7	35
Total	585	290	345	863	506	234	284	1106	790	368	221	343	122	159	522	1371
Taux %	7,32	3,63	4,32	10,80	6,33	2,93	3,56	13,85	9,89	4,61	2,77	3,03	1,53	1,99	6,53	16,91

Ceci donne un certain « balancement » entre deux directions opposées (mobilité des sables probable, mais sans déplacements sur de longues distances si le contexte ou milieu le permet).

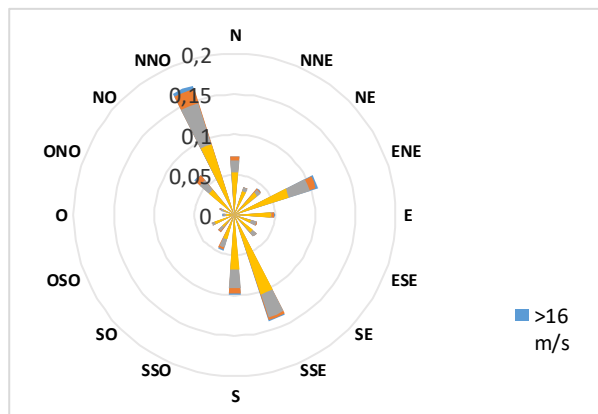


Fig. 79 Rose des fréquences des vents efficaces de mai à octobre, station de Béchar (1985-1996)

Régime novembre à avril :

Tableau 32 : Régime moyen des vents efficaces de novembre à avril

VITESSES	DIRECTION															
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
4-7 m/s	439	323	523	849	542	367	515	1137	711	289	251	260	105	90	298	566
8-11 m/s	107	48	105	413	553	143	163	330	254	143	131	66	24	27	77	226
12-15 m/s	22	8	11	94	60	26	14	58	57	58	42	26	10	5	28	91
V> 16 m/s	2			13	6	1		5	14	8	7	4		1	5	16
Total	570	379	639	1369	861	537	692	1530	1036	498	431	356	139	123	408	899
Taux %	545	3,62	6,10	13,08	8,23	5,13	6,61	14,62	9,90	4,76	4,12	3,40	1,33	1,18	3,90	8,59

Les vents efficaces les plus fréquents sont par ordre d'importance les vents du SSE et du S avec des taux de fréquence respectivement 14,62 et 9,90 ensuite viennent les vents les vents d'ENE et E. Les vents du secteur nord ont cédé la place à ceux du secteur est et sud. **(Fig. 80, tab. 31).**

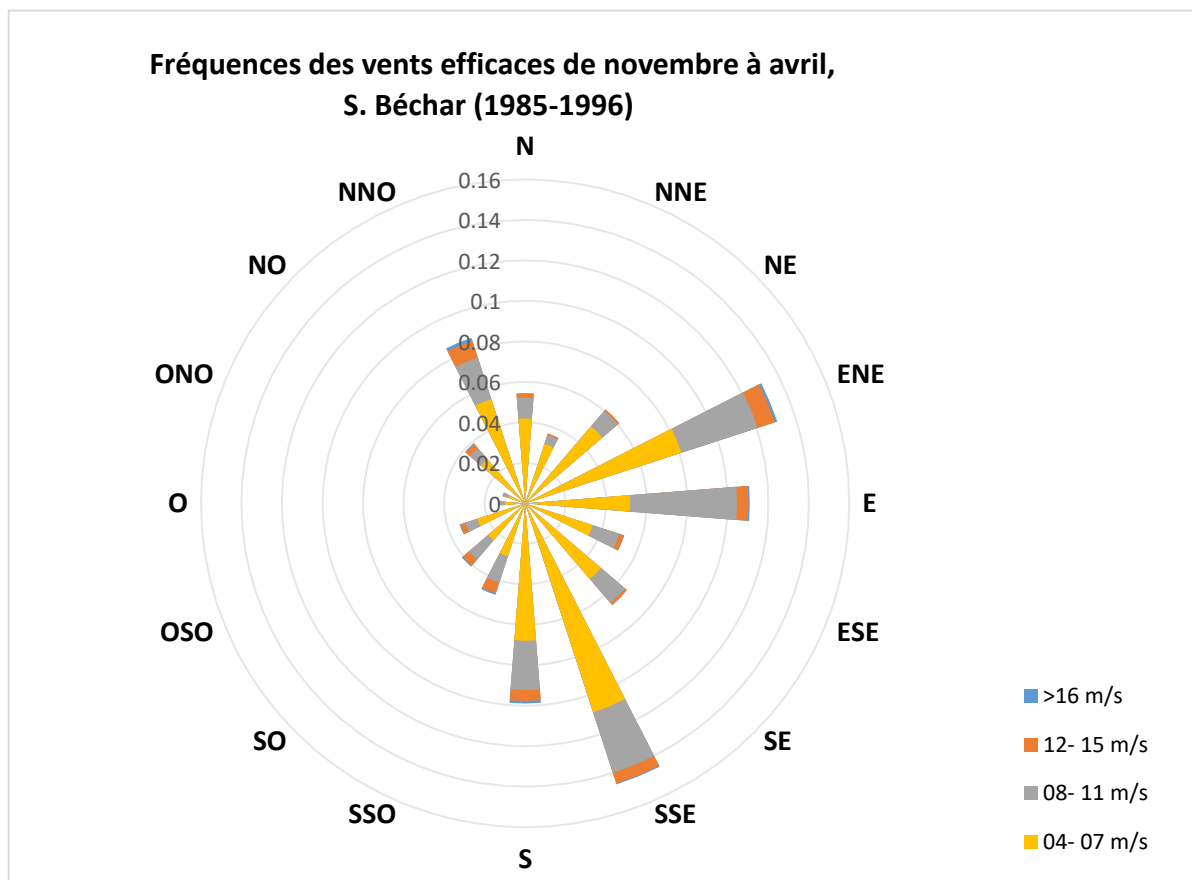


Fig. 80 : Rose des fréquences des vents efficaces de novembre à avril, station de Béchar (1985-1996)

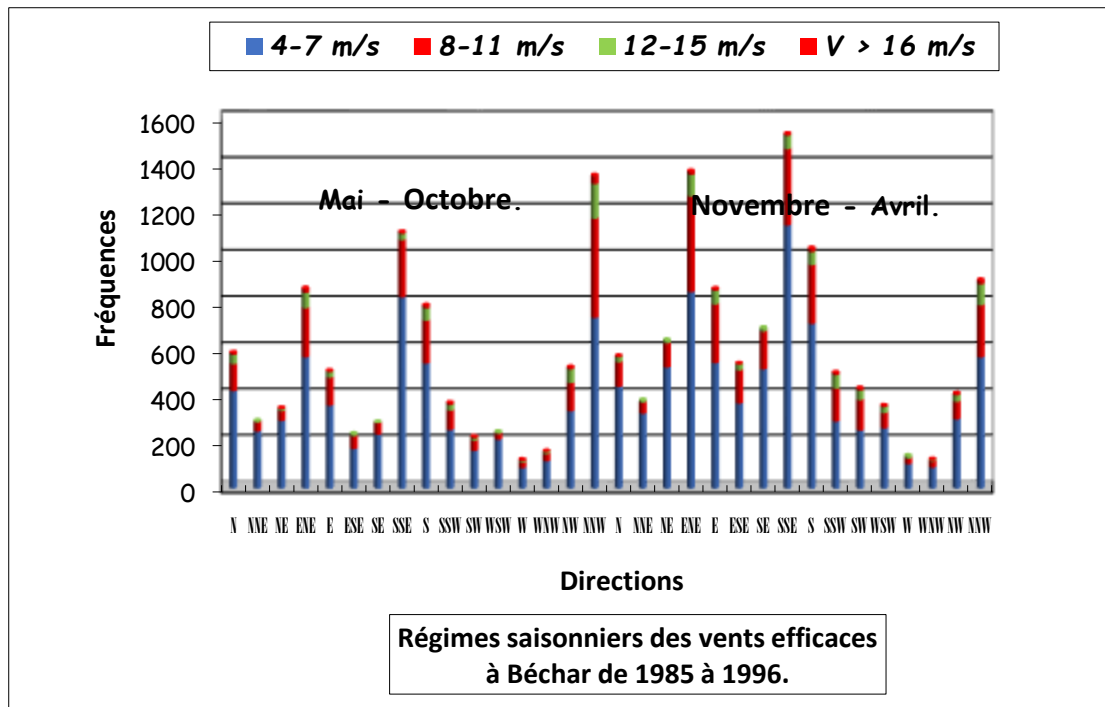


Fig. 81 : Répartition saisonnière moyenne des vents efficaces par direction et vitesse, station de Béchar (1985 à 1996), (d'après les données de Beloufa, 2001).

2.3.4.3. Régime journalier :

Le but de l'analyse du régime journalier est de rechercher s'il existe des variations au niveau des régimes saisonniers parmi les 8 relevés horaires (Beloufa, 2001).

L'analyse dégagée par Beloufa, 2001 a fait ressortir deux régimes journalier similaires pour les deux saisons passés en revue, à savoir :

- Régime diurne entre 03 du matin et 12h,
- Régime nocturne compris entre 15h et 00h. (Cf. Fig. 82)

Il en découle que l'omniprésence de la direction SSE dans les deux types de régimes journaliers, la prévalence du NNW dans les deux régimes journaliers de novembre à avril, la direction SSE opère avec l'ENE de jour et avec le S de nuit de novembre à avril. (Beloufa, 2001).

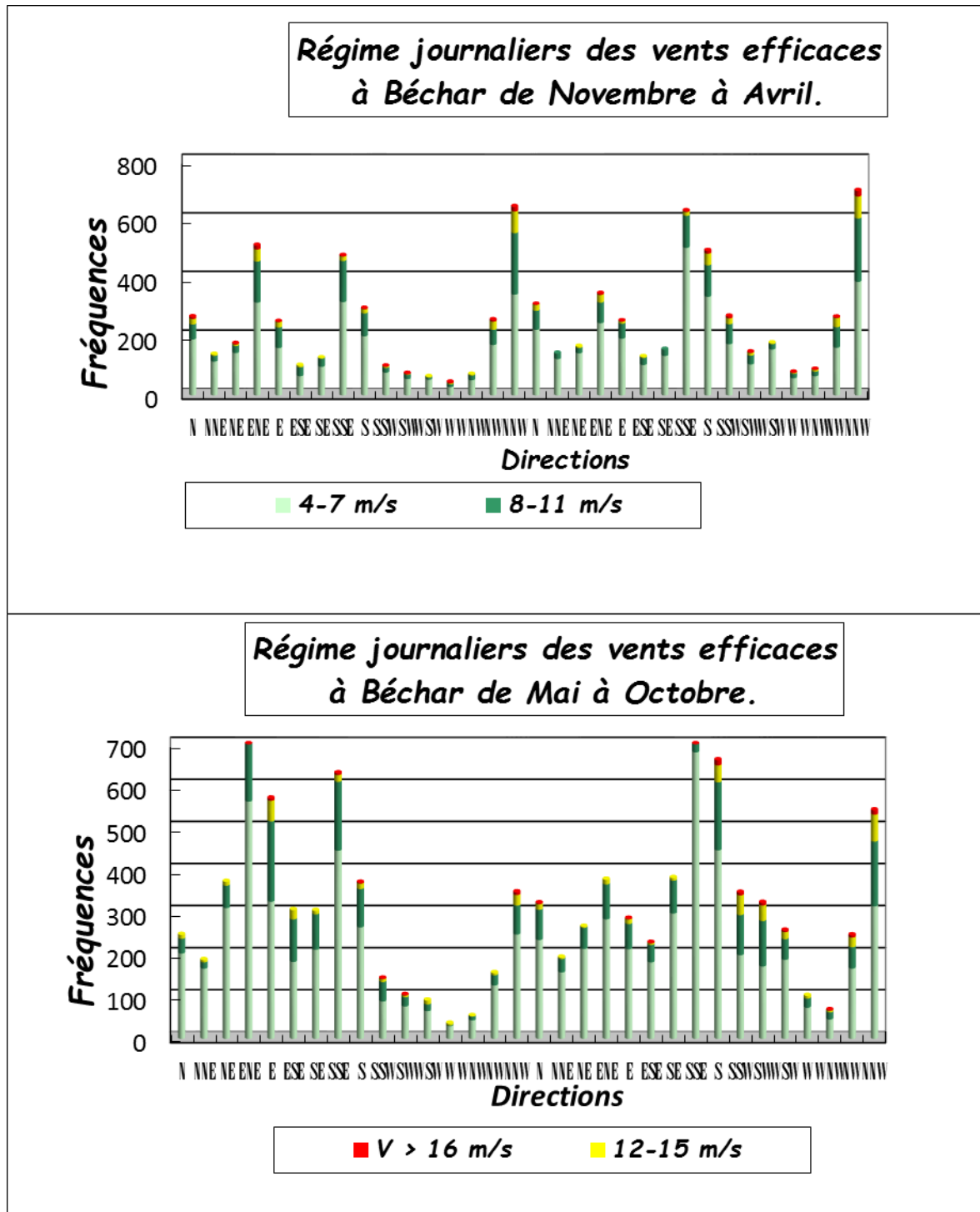


Fig. 82 : Régime journalier des vents efficaces, station de Béchar (1985 à 1996), (Beloufa, 2001).

2.4. Deuxième approche : évaluation théorique des déplacements potentiels de sable et quantification du matériel potentiellement déplacé :

Le model du déplacement potentiel des sables **DPS** ou **DP** (Drift potentiel), est le plus pratique pour exprimer la capacité de transport des sables en mouvement, durant lequel le flux du sable est directement proportionnel au cube de la vélocité du vent (Pye et Tsoar, 2009).

2.4.1. Notion de vitesse seuil d'arrachement du sable :

La vitesse limite d'entraînement est une grandeur essentielle à la quantification du déplacement potentiel du sable DP et des processus d'érosion éolienne (Bergametti G.,1997). Cette vitesse critique est dépendante de la taille et de la densité des grains, Bagnold (1941) suggère la formule suivante :

$$V_c = A \sqrt{\frac{d_s - d_f}{d_f} g D_{50}}$$

Ou, V_c : vitesse critique

A : coefficient dépendant de la taille de grain

d_s : densité de l'air

d_f : densité des grains

g : constante de gravité

D_{50} :diamètre médian de grain

Il n'est pas évident de calculer la vitesse seuil de mise en mouvement des sables car elle dépend de paramètres granulométriques qui nécessitent des analyses laboratoire, état de la végétation et rugosité du sol qui, souvent sont difficiles à déterminer avec exactitude (Belghorba,N., 2018). Pour cela, Fryberger et Dean (1979) suggèrent d'adopter la valeur de 12 nœuds (6 m/s) pour estimer le déplacement des grains de sable ayant diamètre moyen de 0.23 à 0.27, en environnements secs et de faible couvert végétal.

2.4.2. Méthodologie de l'évaluation théorique :

La recherche bibliographique a montré qu'il existe plusieurs méthodes théoriques ou modèles de quantification des DPS (déplacements potentiels de sable). Or, en géodynamique externe des régions arides, plus précisément dans le nord-ouest saharien, et grâce aux travaux de Callot Y., et *all*. Il s'avéré que le model de S. G. Fryberger (1979) est le plus adapté. Nous exposerons ici la genèse des quelques méthodes théoriques afin de mettre aux claires le déplacement potentiels de sable ou DPS.

Bagnold (1941) et Kawamura (1951) ont mis au point une formule pour estimer le poids (q) du sable se déplaçant le long d'un couloir d'une largeur uniforme et pendant un temps connu, ou mesuré, soit :

$$q = C-(d/D)^{0.5} \cdot U^3 p / g \dots\dots\dots \text{Bagnold (1941)}$$

$$q = k_k (U_* - U_{*i}) (U_* + U_{*i})^2 p / g, \dots\dots\dots \text{Kawamura (1951)} \quad d'ou :$$

q : Taux de transport de sable (g/s)

C : Constante empirique, égale à 1.5 pour un sable bien trié, 1.8 pour un sable moyennement trié et 2.8 pour un sable peu trié. Elle est de 3.5 environ quand le sable est transporté sur une surface présentant un certain nombre d'obstacles.

d : diamètre moyen de grain (Md)

D : diamètre standard de grain (à 0.25 mm, poids =0.00648gr)

ρ : densité de l'air

g : constant de gravité

K_k : Constante (2.78)

U_{*f} : vitesse seuil d'entraînement de grain (vitesse du vent efficace sur une surface atteinte par l'érosion éolienne)

ρ / g : 0.125 en 51 unités ;

Il est à noter que la formule de Bagnold (1941) prédise des valeurs considérées comme trop basses pour des valeurs élevées de la vitesse seuil d'arrachement. Cependant, l'expression de Kawamura (1951) est plus précise quant aux faibles valeurs de la vitesse seuil [Sarre \(1987\)](#).

[Zingg \(1953\)](#) : a mis au point une formule à partir d'expériences de souffleries en laboratoire. Elle donne des valeurs plus basses que la précédente :

$$Q = C_2 \cdot (d / D)^{3/4} U^3 \cdot \rho / g, \quad \text{d'où}$$

Q : quantité de sable déplacé ;

$$C_2 = 0.83 ;$$

Les autres paramètres sont similaires à ceux de la formule précédente.

[Owen \(1964\)](#) a démontré que cette expression est plus précise sur une plus large gamme de tailles de particules que la formule de Bagnold (1941).

[Lettau et Lettau \(1975\)](#) : ont proposé une formule de calcul du transport potentiel des sables qui se présente comme suit :

$$q = V_*'^2 (V_*' - V_*') \frac{C'' \theta}{g}$$

q : quantité du sable transporté

g : constante de gravité

c'' : constante empirique liée à la taille des grains

Θ : densité de l'air

V^* : vitesse du vent

V^t : vitesse seuil d'arrachement du sable, avec :

$$c'' = c' \left(\frac{\phi}{\phi^*} \right)^n$$

c' : constante universelle pour le sable

ϕ : diamètre des grains de sable transporté

ϕ^* : diamètre standard = 0.25

n : constante empirique

Fryberger et Dean (1979): ont simplifié une formule élaborée par **Lettau et Lettau (1975)**, par une équation pondérée, car largement utilisée et vérifiée pour analyser la relation entre le régime éolien et les formes dunaires dans différents environnements au monde ; (e.g., Wasson et Hyde, 1983; Callot et Oulehri, 1996; Bullard et al., 1996; Pearce et Walker, 2005; Al-Awadhi et al., 2005; Hereher, 2010; Jewell et Nicoll, 2011; Hereher, 2014). La formule pondérée de Fryberger et Dean (1979) ne considère que les enregistrements des vents à vitesses égales ou dépassant le seuil d'arrachement (12 nœuds), elle se présente comme suit :

$$(q \cdot g) / (C'' \cdot \rho) = V^2 \cdot (V - V_s) \text{ [cm-gr-seconde]}$$

q : quantité de sable transporté ;

g : constante de gravité ;

C'' : constante empirique basée sur la taille des grains de sable $C'' = C' (\delta / \delta^*)^{0.5}$, dans laquelle C' : constante universelle pour le sable (≈ 6.7) ;

δ : diamètre des grains transportés ;

δ^* : 0.25 mm est le diamètre standard des grains de sable ;

n : constante empirique (≈ 0.5)

On peut calculer aussi C'' ainsi : $C'' = C' (\mathcal{L} / \mathcal{L}^*)^n$ dans laquelle C' , constante universelle pour les sables (≈ 6.7), \mathcal{L} = diamètre des sables transportés et \mathcal{L}^* = sable de 0.25 mm de diamètre et n = constante empirique (≈ 0.5) :

ρ : densité de l'air,

V : vitesse d'arrachement et V_s : vitesse limite d'arrachement ou vitesse minimale d'arrachement nécessaire pour maintenir le sable en saltation.

Fryberger simplifié : a rendu la formule de Lettau plus simple, et ce, afin de la rendre plus utilisable avec les seules données des vents, ne cherchant plus à estimer la quantité de sable transporté mais le potentiel d'arrachement du sable, exprimable avec les relevés des vents tirée. A noter que, CALLOT Y., et OULEHRI T., (1996) l'ont appliquée pour l'étude géodynamique de sables éoliens dans le nord-ouest saharien.

$q \propto V.V.(V-V_s)$, ainsi le paramètre temps y a été ajouté.

V_s : vitesse d'arrachement proportionnelle à la vitesse du vent à une hauteur donnée. Elle peut être calculée en appliquant une équation de Bagnold (1941) ;

$$V(10\text{ m}) = 5.75 V^*t - \log Z/Z' + V't, \text{ où}$$

$V(10\text{ m})$: vitesse du vent mesurée à 10 m ;

$V't$: vitesse limite d'arrachement du vent à la hauteur Z estimée à 274 cm/s (environ 10 km/h)

V^*t : vitesse-seuil à 10 m. Elle est égale à 16 cm/s ou 6 m/s, soit 21 km/heure ;

Z' : facteur de rugosité de la surface estimé par Belly à 0.3048 cm pour une surface où les sables ont une granulométrie de 300 μm (Md).

Ensuite, Fryberger remplace la vitesse limite d'arrachement par la vitesse du vent à 10m (hauteur standard des anémomètres normalisée par l'ONM. La formule de Lettau devient alors :

$$Q = \alpha V.V. (V-V_s), \text{ où}$$

V : vitesse du vent à 10 m de hauteur (en nœuds) ;

V_s : seuil d'impact du vent à 10 m (vitesse minimale en nœuds à 10 m pour maintenir le sable en saltation). La vitesse minimale du vent à 10m pour produire une saltation dans des conditions « moyennes » de rugosité sur des sables de 300 μm , en admettant que la vitesse minimale d'arrachement est de 16 cm/s, est estimée à 11.6 nœuds (arrondies par Fryberger à 12 nœuds) soit 21 km/h ou 6m/s. Cette formule peut être exprimée en nœuds ou en m/s.

Elle a été ensuite simplifiée ainsi par S.G.Fryberger (1979) :

$$q = V^{*2} (V^* - V_t) C'' . S / g$$

q : quantité de sable transporté

V^* : vitesse du vent

V_t : vitesse seuil (vitesse minimale d'arrachement du sable)

S : densité de l'air

g : constante de gravité

C'' : constante empirique proportionnelle à la taille des grains de sable = $C' (\ell / \ell^*)^n$

C' : constante universelle pour le sable (= 6.7)

ℓ^* : diamètre standard des grains de sable (0 ; 25 mm)

ℓ : diamètre des grains de sable échantillonné (Md) : il est de 0.600 mm dans cette étude

n : constante empirique (= 0.5)

Le déplacement potentiel de sable est exprimé en Unité Vectorielle UV, comme il peut l'être en mètre cube, sachant que 1'UV de déplacement potentiel est l'équivalent de 0.07 m³ de sable transporté à travers 1 m de terrain (Fryberger et al., 1984).

Ces équations permettent d'avoir des données anémométriques qu'on peut comparer quantitativement en direction et en intensité avec ceux d'autres zones ou régions différentes grâce à ce qui suit :

2.4.3. Le module de la résultante, ou MR, RDP (*Resultant Drift Potential*) :

Correspond à la magnitude du déplacement potentiel, c'est la somme de transport des sables des 16 directions, Al-Awadhi et al. (2005) :

$$RDP = \sqrt{C^2 - D^2}$$

Avec :

$$C = \sum(UV) \sin \theta \quad \text{ET} \quad D = \sum(UV) \cos \theta$$

Où UV : Déplacement potentiel pour chaque direction en UV

θ : Milieu de la classe de direction.

2.4.4. L'angle d'orientation ou résultante de direction, RDD (*Resultant Drift Direction*) :

Exprimé en degré, c'est l'angle de déplacement de sable, donnée selon Al-Awadhi et al. (2005), par la formule suivante :

$$RDD = a \tan (C / D)$$

2.4.5. Le coefficient de migration des sables (MR/CT) :

Il s'agit d'une ration RDP/DP, exprime la variabilité directionnelle des vents efficaces est compris entre 0 et 1 : les valeurs proches de 0 indiquent une importante variabilité tandis

que les valeurs proches de 1 signifient une faible variabilité, et que les vents efficaces soufflent d’une seule direction dominante (résultante).

2.4.6. Rose de migration des sables :

Il s’agit d’une classification de l’environnement éolien, selon l’énergie éolienne en fonction de la valeur du déplacement potentiel DPS (DP) : environnement à faible énergie éolienne ($DP < 200$ UV), moyenne ($200 < DP < 400$ UV), et haute ($400 < DP$), Fryberger et Dean (1979). D’une manière générale, le régime des vents efficaces de tout système dunaire est le facteur principal qui contrôle le type et la forme des accumulations sableuses dominantes :

- **Unimodal** : caractérisé par une faible variabilité directionnelle ($0.7 < RDP/DP$) : formation de dunes transverses et barkhanes.
- **Bimodal** : d’une variabilité intermédiaire ($0.3 < RDP/DP < 0.7$) : dunes du type linéaire (appelée Sif).
- **Complexe** : d’une importante variabilité des vents efficaces ($0.3 > RDP/DP$) : dunes pyramidales appelées dunes du type Ghourd ayant la forme en étoile (Tab. 32, fig. 83).

Tableau 33 : Classification de l’énergie éolienne et régime du vent en fonction du déplacement potentiel et la variabilité directionnelle du vent, selon Fryberger et Dean (1979) et Lancaster (1995)

DP (UV)	RDP/DP	Variabilité directionnelle	Environnement éolien	Régime du vent	Forme dunaire
<200	<0,3	Forte	Faible énergie	Complexe, bimodal, large	Pyramidale
200-400	0,3 – 0,7	Moyenne	Moyenne énergie	Bimodal étroit, large	Linéaire
>200	>0,7	Faible	Forte énergie	Unimodal étroit large	Barkhanique

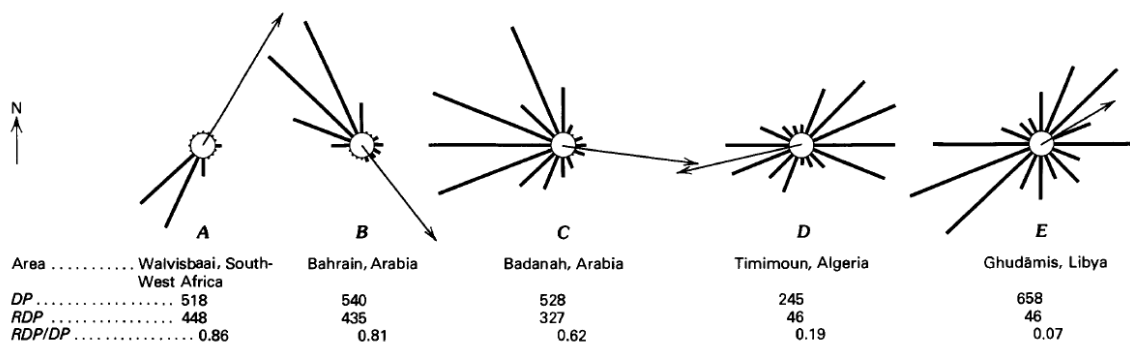


Fig. 83 : Principaux types de roses de déplacement potentiel des sables et régimes des vents selon Fryberger et Dean (1979) : (A) Unimodal étroit ; (B) Unimodal large; (C) Bimodal étroit ; (D) Bimodal large ; (E) Complexe (McKee, 1979).

L'élaboration des roses non plus des vents efficaces mais de déplacements potentiels de sable ou **DPS**, appelée aussi rose de mobilisation des sables ou rose de migration des sables, selon la démarche suivante :

-On calcule pour chaque direction des vents et pour chaque classe de vitesse, dans une direction donnée, il y aura normalement plusieurs classes de vitesse pour chacune des 16 directions de vent ;

La capacité proportionnelle de transport du vent (C_v) :

$$C_v = Q.t.100/T \text{ (en \%)} \text{ ou :}$$

C_v : capacité de transport pour la classe de vitesse considérée (en %) dans une direction donnée ; [Zingg A.W \(1953\)](#).

Q : coefficient de transport par classe de vitesse considérée, Q peut être obtenu en multipliant les relevés annuels pour chaque vitesse par le coefficient correspondant à la vitesse moyenne de la classe de mesure. Il peut être aussi estimé ainsi :

$Q \propto (V'.V')/(V'-V's)$ où V' = vitesse du vent mesurée et $V's$ = vitesse limite mesurée d'arrachement.

t : durée du vent dans la direction et à la vitesse considérée (nombre d'observations) ;

T : durée totale d'observation (nombre total) ;

-La somme des C_v pour toutes les classes de vitesse d'une direction donnée permet d'estimer la capacité totale du transport du sable dans cette direction. Elle est représentée par un vecteur.

La rose de migrations de sable ou DPS est un graphique représentant les capacités de transport pour les 16 directions de la rose des vents. Il y a 5 types de roses de migrations des sables :

- **Unimodale étroite** avec plus de 90% du potentiel de transport situé dans deux directions adjacentes à l'intérieur d'un angle de 45°
- **Unimodale large** avec un seul pic de direction de transport mais où la distribution est plus large,
- **Bimodale aigüe** avec une distribution à deux modes et où les pics des deux modes forment un angle aigu.
- **Bimodale obtuse**, là les deux pics de deux modes forment un angle obtus.
- **Complexe** : la rose comporte plus de deux modes soit il n'y a pas de mode bien défini.

-On calcule ensuite les coefficients d'énergie potentielle de transport. Ce sont :

- La capacité de transport total, ou **CT** obtenue par addition des C_v de transport de toutes les vitesses de toutes les directions. Elle permet de caractériser les milieux.

Ainsi quand $CT < 200$, c'est un milieu à faible énergie ; $200 < CT < 400$, le milieu est à énergie moyenne et $CT > 400$, le milieu est à forte énergie.

- La direction résultante de migration ou **MR** obtenue par combinaison de la totalité des vecteurs de la rose de migration. Son intensité est exprimée par le potentiel résultant de migration.
- Le coefficient de migration : c'est le rapport des deux coefficients précédents **MR/CT**. Il a une valeur qui varie de 0 à 1 et permet de caractériser la mobilité potentielle des sables ainsi :

$MR/CT < 0.3$, il y a mobilité des sables sans déplacement notable,

$0.3 < MR/CT < 0.8$, il y a transport sur de longues distances et $MR/CT > 0.8$, il y a un transport important sur de longues distances.

- Enfin, on peut estimer la quantité de sable mobilisée ou susceptible de l'être selon les roses des DPS ainsi :

$Q' = 0,0692q$ ou quantité de sable transportée en $m^3/m/an$ et

$Q'' = 1670 Q'$ ou quantité de sable transportée en $kg/m/an$.

q étant = $V^2 (V-Vt)$ (Cf. formule ci-dessus).

2.5. Application de la méthode de Fryberger et détermination des paramètres d'énergie potentielle de déplacement de sable (DPS) :

L'approche classique ne tient pas en compte la migration du sable, il traite seulement les fréquences et les directions des vents dont la résultante donne le vent dominant. La méthode de Fryberger., (1979) permet au contraire d'établir des roses de déplacement du sable DPS qui montre la direction des migrations du sable et non la direction des vents dominants. Selon Callot., (1987) ; la méthode des vents efficaces n'intègre pas le paramètre le plus important concernant la variation de la quantité du sable déplacé en fonction du vent.

2.5.1. Les DPS à Aïn Séfra :

2.5.1.1. Les DPS et coefficients moyens de transport éolien étudié sur 10 ans (Stambouli, 1998) :

- La capacité de transport moyenne CT est de 943.37 U.V, ce qui implique que la région d'Aïn- Sefra est de haute énergie éolienne.
- Le coefficient de migration des sables (Mr/CT) : 0.264 ;
- DPS : la résultante a une direction $284^\circ N$, soit proche d'WNW ;
- La rose de migration des sables est de type bi-modale à complexe, s'y dégagent deux pics, à savoir : le Nord et l'Ouest auxquels s'ajoutent des directions contraires : SSW-WSW et NNE (Cf. Fig. 87).

Tab. 34 : Coefficients moyens de DPS à Aïn Séfra, (Stambouli, 1998).

Capacité de transport (CT)	943.37 UV
Module de la résultante	22430.12 UV
MR/CT	0.264
Angle moyen d'orientation	284°N

La quantité de sable potentiellement déplacée est de 587.5 m³/m/an soit 981125 kg/m/an.

2.5.1.2. DPS et coefficients de déplacement : variabilité interannuelle de 1988 à 1996 à Aïn Sefra :

-CT a une valeur > 400 U.V toutes les années. Cependant, on constate qu'elle a atteint de fortes valeurs en 1994, 1993 et 1992 (1216.96 ; 1046.88 et 1064) et une valeur faible en 1991.

-Mr / Ct permet de dégager les années où il y a eu déplacement potentiel de sable. Ce sont : 1988, 1991, 1995 et 1996 ;

-L'angle moyen d'orientation ou le déplacement varie peu : de 222° N (SW), 258 ° N (WSW), 277° N (W), 284° N - 289° N (W à WNW), 302 – 306 - 317° N (NW) .(Fig. 87)

2.5.1.3. Régime saisonnier des DPS :

Les mois où le coefficient de migration des sables (Mr / CT) est supérieur à 0.3 et inférieur à 0.8 sont : septembre à avril, les plus fortes valeurs ayant été atteintes en octobre (0.4), décembre (0.46), février (0.47) et surtout avril (0.52). Il y a par conséquent, déplacement notable de sable. Les directions de déplacement potentiel :

-sont de SSW à WSW en septembre-octobre-novembre (angles de 245-248 et 218°N) et

-d'W-WNW à NW-NNW de décembre à avril (angles de 285-337-321-319-327°N) ;

De mai à août, Mr / Ct < 0.3 : il y a mobilité de sable mais sans déplacement notable. Cependant, on note qu'en juin cette valeur est de 0.29.

Par conséquent, de septembre à avril il y a déplacement potentiel de sable sur de longue distance selon les directions suivantes : 218° N, 248° N, 245° N (de septembre à novembre) soit SSW à WSW ; 285° N, soit W en décembre et 337° N, 321° N, 319° N et 327° N, soit WNW à NW de janvier à avril, la direction résultante étant 300° N, soit WNW à NW (Cf.Fig.85). La quantité de sable susceptible d'être déplacée est : Q' = 23.37 m³/m et Q'' = 39041 kg/m. De mai à août, il y a une forte mobilité des sables (maximale en mai) sans déplacement notable ; les directions concernées étant WSW à W et SSW (263° N, 262° N, 268° N et 198° N).

Tab. 35 : Coefficients de transport de sable mensuels moyens à Ain Sefra de 1988 à 1996.

Mois	CT			MR	Direction résultante (°N)	MR/CT
	U.V	m ³ /m/an	kg/m/an			
Janvier	467,5	32,3	54026	186,2	337	0,39
Février	600,7	41,5	69421	287,2	321	0,47
Mars	1044,5	72,2	120706	371,2	319	0,35
Avril	925,9	64	107000	490	327	0,52
Mai	1017,6	70,4	117607	157,4	253	0,15
Juin	685	47,4	79165	302,6	262	0,29
Juillet	560,4	38,7	64762	84,5	268	0,15
Août	459,8	31,8	53140	106,1	198	0,23
Septembre	618,4	42,7	71474	247,3	218	0,39
Octobre	537,2	37,1	62080	218	248	0,4
Novembre	369,9	25,5	42749	113,9	245	0,3
Décembre	302,6	20,9	34974	140	285	0,46

2.5.2. Les DPS à Béchar :

Nous exposerons une synthèse des coefficients utilisés dans l'ensemble de la série qui s'étale de 1985 à 1996 selon [Beloufa., H. \(2001\)](#) :

Tab. 36 : Les coefficients moyens de DPS à Béchar (1985- 1996).

Capacité de transport	26722
Module de la résultante	2790,4
MR/CT	0,104
Angle moyen d'orientation	64° N

La capacité de transport (CT) : est de 26722 U.V, la zone de Béchar est considérée comme étant une zone à forte énergie éolienne.

Le module de la résultante (MR) : est la résultante des seize directions de la force potentielle de la migration (2790,48 UV).

Le coefficient de migration (MR/CT) : est faible (0,104) donc, il y a mobilité de sable sans qu'il en résulte de déplacement notable.

La direction résultante : L'angle moyen d'orientation de la série est de 64° N, soit une direction de la résultante ENE.

Les roses de migration : La rose de sable de la série de 1985 à 1996 est de type bi-modal aigu, indiquant une mobilité de sable selon deux directions dominantes NNW et ENE. (Fig. 85 et 86)

La masse sableuse susceptible d'être déplacée de 1985 à 1996 est de 1849.16 m³/m/an, soit 3088.09 T/m/an.

2.5.2.1. Les DPS annuels de Béchar :

Tab. 35 : Les coefficients annuels de transport de sable à Béchar de 1985 à 1996 (Beloufa, 2001)

La capacité de transport (CT) annuelle à Béchar varie entre 1586.32 U.V en 1993 et 3027.28 U.V en 1996, ce qui permet de classer la zone parmi les milieux à haute énergie éolienne.

Afin de mieux cerner les variations annuelles de la capacité de transport en unités vectorielles, en volumes ou en masses, il a été procédé à un classement des 12 années d'observations, grâce à un choix arbitraire de classes tenant compte de l'importance de cette même capacité potentielle de transport, avec $CT < 2100$ U.V et $CT > 2100$ U.V, le classement a donné lieu aux deux catégories suivantes :

-Première classe (1990 à 1995) : la CT a une valeur maximale de 2080.08 U.V en 1995, donc inférieure à 2100 U.V.

-Deuxième classe (1985 à 1989 et 1996), la CT minimale est de 2388.32 U.V en 1986 alors que la capacité de transport maximale est enregistrée en 1996 avec 3027.28 U.V, soit un volume de 209,49 m³/m/an ou encore une masse de sable mobile de 349844,59 kg/m/an.

Ainsi, après une capacité potentielle de transport des sables assez importante de 1985 à 1989, cette dernière a connu une légère baisse de 1990 à 1995 avant de connaître une nouvelle ascendance en 1996 enregistrant la capacité de transport la plus élevée sur les 12 ans de la série (Beloufa, 2001).

2.5.2.2. Le coefficient de migration (MR/CT) : à l'exception de 1992 avec un coefficient de migration de 0.33 significatif d'un transport de sables sur de longues distances, l'ensemble de la série présente un coefficient < 0.3 : mobilité des sables sans qu'il en résulte de remarquables déplacements.

La direction de la résultante du déplacement de sable varie de 10° N à 130° N, soit N et SE à l'exception de 1987 : une direction de résultante de 206° N a été enregistrée (SSW).

Tab. 37 : Coefficients de transport de sable mensuels moyens à Béchar de 1985 à 1996.

Mois	CT			MR	Angle moyen (°N)	MR/ CT
	U.V	m ³ /m/an	kg/m/an			
Janvier	1279,44	88,54	47857,20	310,80	349	0,24
Février	2059,12	142,49	237960,14	688,80	0	0,33
Mars	2981,84	206,34	344593,36	1057,44	359	0,35
Avril	3807,28	263,46	439984,51	397,60	19	0,10
Mai	3692,56	255,53	426727,00	36,72	165	0,01
Juin	3663,44	253,51	423361,78	1024,16	111	0,28
Juillet	2011,20	139,18	232422,32	507,36	108	0,25
Août	2051,28	141,95	237054,12	705,44	105	0,34
Septembre	1743,84	120,67	201525,13	379,12	162	0,22
Octobre	1381,60	95,61	159663,22	244,16	145	0,18
Novembre	1271,52	87,99	146941,94	169,60	354	0,13
Décembre	779,04	53,91	90028,98	114,48	133	0,15
1985-96	26722,00	1849,16	3088097,2	2790,48	64	0,104

CT : capacité de transport

U.V : unité vectorielle

MR : module de la résultante

MR / CT : coefficient de migration

2.5.2.3- Variations de la capacité de transport mensuelle moyenne des sables :

La capacité de transport maximale est de l'ordre de 3807.28 U.V pour le mois d'avril, alors que sa plus faible valeur a été enregistrée en décembre (779,04).

Là aussi, deux classes de capacité de transport retenues pour les variations annuelles :

- CT < 2100 U.V
- CT > 2100 U.V

Et ce, afin de déterminer s'il existe différentes catégories de capacité de transport, le classement a donné lieu aux deux catégories suivantes :

-Première classe (*Juillet à Février*) : la valeur de CT varie de 2059.12 U.V (février) à 779.04 U.V (décembre) : période de relative « faiblesse » de CT.

-Deuxième classe (*Mars à Juin*), la valeur la plus petite de CT est de 2981.84 U.V en mars et sa plus grande valeur a été enregistrée en avril (3807.28 U.V,) soit un volume de sable potentiellement déplacé de 263,46 m³/m/an et ou de 439984,51 kg/m/an.

2.5.2.4. Variations mensuelles du coefficient de migration des Mr/CT :

Les variations des coefficients de migration des sables dans la zone de Béchar permettent de distinguer deux types de migrations :

-des coefficients > 0.30 en février, mars et août (respectivement 0.33, 0.35 et 0.34) : il y a donc déplacements potentiels de sable sur de longues distances.

-D'autre part, les autres mois de l'année présentent des coefficients de migration < 0.3 indiquant que le sable est soumis à des turbulences ou une mobilité plus ou moins grande, mais sans qu'il en résulte de déplacement notable.

2.6. La direction de la résultante de DPS mensuel moyen :

A partir de la direction résultante de DPS mensuel moyen, nous pouvons subdiviser l'année en trois saisons distinctes :

-Une première « saison » ou période englobant les mois de janvier, février, mars, avril et novembre avec une direction qui varie de 349° N soit NNW et 19° N soit NNE ;

-Une deuxième catégorie de mois (mai, septembre, octobre et décembre) dont la direction résultante de DPS est comprise entre 133° N (SE) et 165° N (SSE) ;

-Une troisième catégorie comprend les mois chauds (juin, juillet et août) dont la direction résultante de DPS est de 105° N à 111° N, soit une direction ESE.

Néanmoins, si nous devons nous intéresser uniquement à deux principales directions de déplacements, à savoir les déplacements s'effectuant du nord au sud en général et vice-versa, les déplacements mensuels potentiels de sables devraient diviser l'année en deux saisons seulement.

-Une première « saison » ou catégorie de mois où les déplacements potentiels ont tendance à s'effectuer du nord au sud : janvier, février, mars, avril et novembre.

-La seconde saison, avec des déplacements qui s'opèrent dans le sens inverse à celui de la saison précédente, s'étend de mai à octobre ainsi que durant le mois de décembre.

2.7. Roses mensuelles de migration des sables :

D'après l'analyse graphique des déplacements mensuels de sable, nous pouvons distinguer trois types de roses de migration des sables :

-Roses bi-modales aiguës : Les plus importants déplacements sableux se font selon deux principaux modes ou directions et forment entre eux un angle aigu. Il s'agit des mois de Janvier à Avril (*NNW et ENE*) ainsi que les mois d'Août (*ENE et SSE*) et Septembre (*SSE et S*).

-Roses bi-modales obtuses : Les plus importants déplacements de sables se font toujours selon deux principales directions mais cette fois-ci, ces deux dernières forment un angle obtus.

Elles concernent les mois de Mai et Novembre (*NNW et S*) le mois de Juin (*ENE et S*) et le mois de Décembre (*SSE et NNW*).

-Roses complexes : Elles caractérisent les mois de Juillet et Octobre avec une distribution du transport des sables complexe, car il n'existe pas de mode bien défini concernant les déplacements.

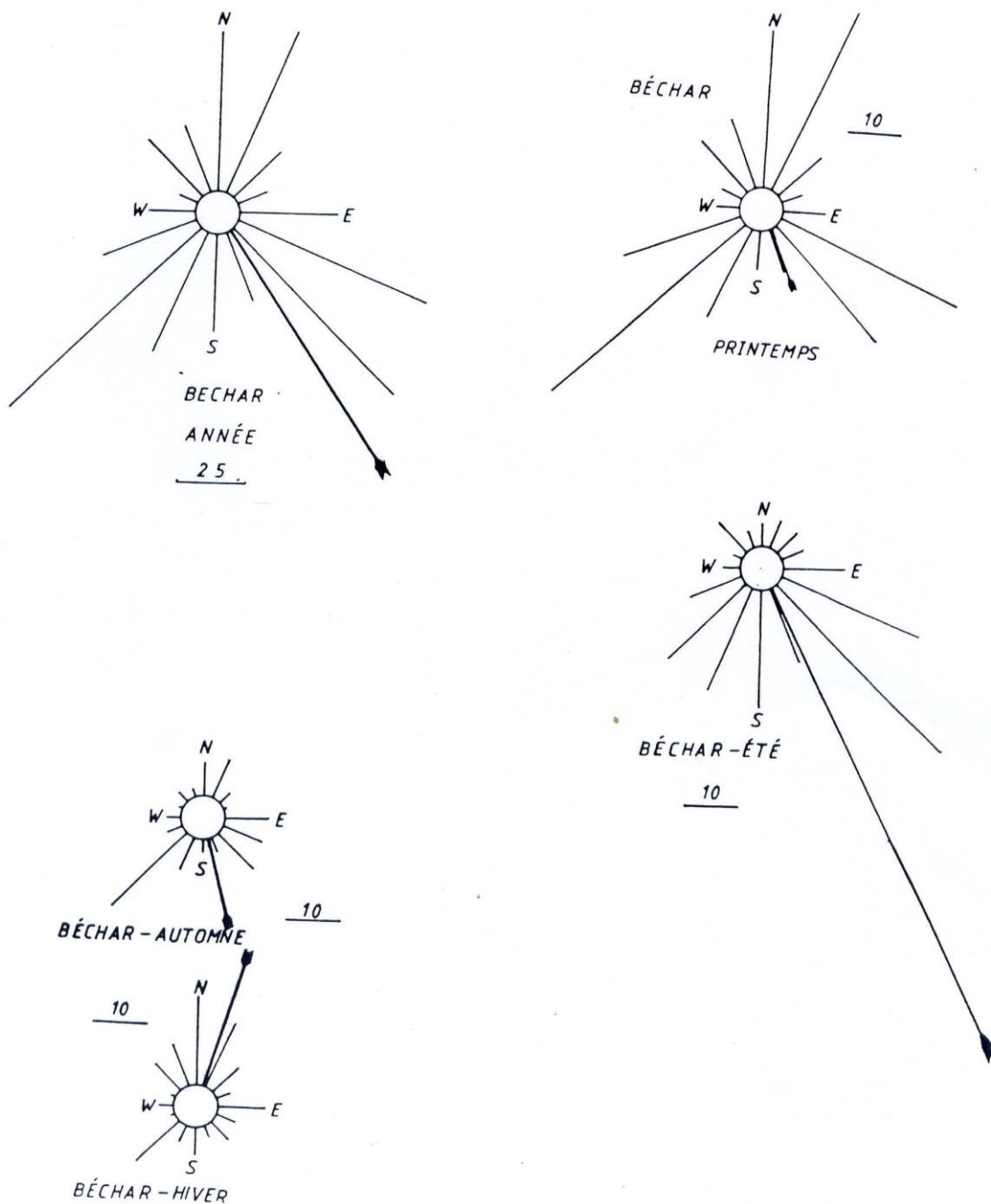


Fig. 84 : DPS saisonnier à BECHAR, période 78-82 (Y. Callot, 1985).

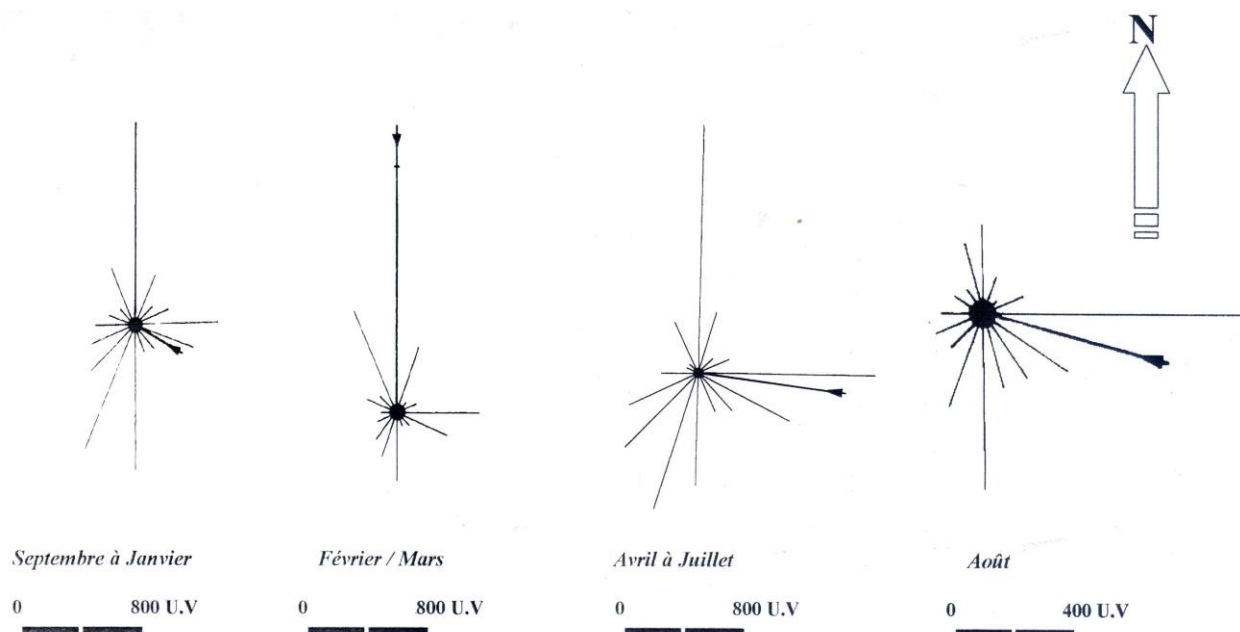


Fig. 85 : DPS saisonnier à Béchar 85/96 (Beloufa, 2001).

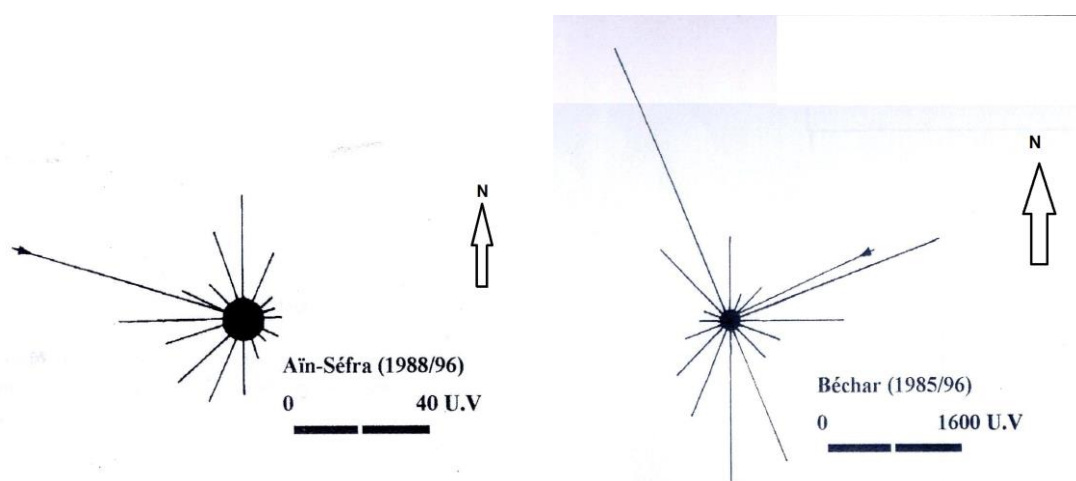


Fig. 86 : DPS saisonnier à Béchar (Beloufa, 2001), et Aïn Sefra 85/96 (Stambouli, 1998).

Synthèse et discussions :

En premier lieu, afin de rendre les résultats obtenus dans les différentes zones, compatibles, nous devons adapter le découpage saisonnier de ces dernières à celui des quatre saisons adoptées dans l'étude de l'Erg occidental par Y. Callot (1985) :

- L'hiver de Décembre à Février.
- Le printemps de Mars à Mai.
- L'été de Juin à Août.
- L'automne de Septembre à Novembre.

En second lieu, dans un souci de compatibilité de la durée et de la fréquence des relevés entre les différentes stations, les coefficients de migration des sables seront ramenés à la portion des observations.

De là, la représentation graphique sous forme de roses de migration des sables devra traduire les résultats de cette migration en pourcentages.

La station de Béchar, l'étude couvre la période de 1985 à 1996 (Beloufa, 2001), d'où le nombre total de relevés équivaut à $12 \text{ ans} \times 8 \text{ relevés} \times 365 \text{ jours}$ soit, 35040 relevés, il faut donc diviser les coefficients obtenus par 350.40 pour ces coefficients en pourcentages. Alors que pour les deux études qui ont été réalisées sur la station de Aïn-Séfra, nous avons d'une part, 5475 relevés pour une période de 5 ans entre 1978 et 1982, à raison de 3 relevés quotidiens (Y.Callot, 1987) et d'autre part, 26280 relevés qui résultent de $9 \text{ ans} \times 8 \text{ relevés} \times 365 \text{ jours}$ et ce, de 1988 à 1996 (S.Stambouli, 1998).

L'application des méthodes du traitement fréquentiel des données anémométriques a été effectuée d'une part sur la base des données que nous avons pu les obtenir depuis l'ONM, s'étalant de 1977 à 2006, station de Béchar, ainsi que celles du mois de mai 2006 obtenues exclusivement depuis l'ONM, station d'Aïn Sefra. D'autre part, dans le souci d'une comparaison et extrapolation sur la zone étudiée, nous avons exploité les données issues des travaux régionaux couvrant une période de 1985 à 1996 (Beloufa, 2001) ainsi que ceux de (Stambouli, 1998) couvrant une période allant de 1988 à 1996, tout en actualisant les visualisations graphiques.

Le taux de fréquence le plus élevé est enregistré dans la station de Béchar avec un total de 18458 relevés et un taux annuel moyen de vents efficaces de 22, 32 % alors qu'à Aïn Sefra le taux de fréquence des vents s'avère relativement très faible avec 9513 relevés ainsi que le taux moyen de calmes le plus élevé avec 65,5%, et ce, sur une période de 1988 à 1996.

Il s'est avéré que la région de Béchar présente deux types de régimes : un régime saisonnier et un régime journalier (diurne et nocturne) alors qu'Aïn Sefra constitue un cas particulier d'où la difficulté de le faire.

Deux régimes saisonniers à Béchar, allant de novembre à avril et de mai à octobre qui se concordent presque parfaitement avec les régimes journaliers, à savoir :

-De novembre à avril et de 03h à 12h :00, une prédominance des vents du NNW marque bien une efficacité et un dynamisme, ensuite viennent les vents d'ENE puis ceux du SSE.

-De novembre à avril et de 15h :00, les vents du NNW prennent toujours la première place avec des fréquences importantes dans les 4 classes de vitesses, ensuite viennent les vents du SSE et du Sud.

-De mai à octobre, et de 03h :00 à 12h :00, les vents efficaces sont ceux d'ENE avec d'importantes fréquences pour les 4 classes de vitesses, qui s'en suivent par les vents SSE et ceux d'Est d'importance secondaire, avec des fréquences représentatives pour les classes de vitesses de 12-15 m/s.

-De mai à octobre et de 15h : 00, les vents du SSE sont les plus efficaces, ensuite viennent ceux du Sud pour les classes de vitesses de 5-15 m/s et en dernier ceux du NNW, à partir de 12m /s.

L'application du model de Fryberger et Dean (1979), ayant recours aux stations de Béchar et Aïn Sefra pour les périodes respectivement de 1985 à 1996 et 1988 à 1996, a permis l'appréciation des aptitudes de ces régions au transport de sable, et la caractérisation de l'environnement éolien à partir des données antérieures.

Nous avons jugé utile de procéder à une comparaison synthétique des deux régions Béchar et Aïn Sefra, étant que ces dernières bordent du Sud au Nord le domaine d'étude ; Djenien-Bourezg et Béni Ounif.

Tab. 38 : Comparaison avec les travaux régionaux antérieurs.

STATION	PERIODE	CT	MODULE RESULTANTE (MR)	COEF. DE MIGRATION (MR/CT)	DIRECTION RESULTANTE (°N)
AÏN-SEFRA (S.Stambouli, 1998)	1988-96	8490,4	2243	0,26	284
AIN SEFRA (Y.Callot, 1987)	1978-82	625.4	171.3	0.27	336
BECHAR (Y.Beloufa, 2001)	1985-96	223.1	232.4	0,10	64
BECHAR (Y. Callot, 1987)	1978-82	663.2	105.2	0.16	146

D.P.S pour une vitesse d'arrachement de 6 m/s.

Les déplacements potentiels de sable selon d'autres chercheurs et dans les deux régions ; Béchar et Aïn Sefra, permettent en premier lieu de considérer ces dernières comme étant toutes des zones **à haute énergie éolienne** puisque les capacités de transport sont toutes supérieures à 400 U.V.

Proportionnellement, MR et CT dont les valeurs sont les plus faibles sont enregistrés au niveau de Béchar (1978-1982) et (1985-1996) avec une vitesse seuil de 6 m/s, alors que les CT et MR les plus élevés, sont enregistrés à Aïn Sefra (1978-1982) et (1988-1996). Les coefficients classent ainsi Aïn Sefra (1988-1996) en première position devant la station de Béchar, (1985-1996).

Les faibles coefficients de migration de l'ordre de 0,26 et 0,10 caractérisent respectivement Aïn Séfra et Béchar d'où, **il y a une mobilité des sables qui s'effectue sans déplacement notable.**

Les deux stations présentent trois différentes directions de résultante puisque d'une part, la station d'Aïn-Séfra avec 284° N, a des résultantes proches, comprise entre WNW et NW. D'autre part, la station de Béchar avec 64° N, a une direction de résultante comprise entre NE et ENE (cf. fig. 87).

Les déplacements potentiels saisonniers :

Les déplacements potentiels de sable donnent lieu à des saisons assez proches entre certaines stations mais aussi assez différentes par rapport à d'autres.

Les D.P.S à Aïn Sefra de 1988 à 1996 :

La valeur mensuelle de CT au niveau de la station d'Aïn Séfra varie de 302,6 U.V en Décembre à 1044,5 U.V en Mars. Elle permet donc, de distinguer une période de Novembre à Décembre où, **la zone est considérée à moyenne énergie éolienne**, le reste de l'année, **la zone est à haute énergie éolienne**.

Les principaux MR sont enregistrés dans l'ordre en Avril, Mars et Juin.

Les coefficients de migration mensuels, même en étant moins importants aboutissent à un découpage saisonnier :

-**Septembre à Avril** : MR / CT oscillant entre 0,3 en Novembre et 0,52 en Avril. La saison est caractérisée par des **déplacements potentiels de sables sur de longues distances**.

Les déplacements s'effectuent entre SSW et WSW de Septembre à Novembre. Ils sont de direction W en Décembre (285° N) alors que de Janvier à Avril, cette mobilité s'opère entre 319° N et 337° N soit, une direction NW à NNW.

-**Mai à août** : Cette saison est caractérisée par des coefficients de migration inférieurs à 0,3 donc, les sables sont soumis à **une mobilité sans qu'ils soient déplacés**, malgré la présence d'importantes capacités de transport des sables comme en témoigne le mois de Mai à titre d'exemple.

De Mai à Juillet, cette mobilité s'effectue selon une direction comprise entre 253° N et 268° N soit, WSW à W alors qu'en Août la direction est SSW (198° N). La résultante de la saison est **de 300° N soit WNW**.

Les D.P.S à Béchar de 1985 à 1996 :

La valeur mensuelle de CT est toujours supérieure à 400 U.V et classe la station parmi **les zones à haute énergie éolienne**. La plus faible capacité de transport est enregistrée en Décembre avec une valeur de 779 U.V alors que les plus fortes CT reviennent aux mois d'Avril (3807,2), Mai (3692,5) et Juin (3663,4 U.V). Les modules de résultantes MR les plus élevés sont observés par ordre d'importance, au cours des mois de Mars, Juin, Août et Février.

Les coefficients de migration mensuels des sables permettent de distinguer quatre périodes pendant l'année :

-**Février à Mars** : MR/CT est moyen avec 0,33 en Février et 0,35 en Mars donnant lieu à un déplacement potentiel de sable avec **transport sur de longues distances**. Ce déplacement s'effectue entre 0 et 360° N soit, **une résultante de direction Nord**.

Avril à Juillet : Cette saison est caractérisée par d'importantes quantités de sables qui sont potentiellement mobilisées mais **sans transport notable**. Ce type de déplacement résulte du fait que MR / CT est faible, puisqu'il varie de 0,01 en Mai à 0,28 en Juin mais aussi à cause des CT élevées durant cette période.

La mobilité se fait selon une direction NNE en Avril (19° N), SSE en Mai (165° N) et ESE en Juin et Juillet avec respectivement 111 et 108° N. **La résultante est 97° N**

-**août** : Un mois de transition qui présente un coefficient de migration moyen (0,34) durant lequel il y'a déplacement potentiel de sable **sur de longues distances selon une direction ESE (105° N)**.

-**Septembre à Janvier** : Une période de l'année caractérisée par une mobilité des sables **sans remarquable déplacement** en raison des faibles coefficients de migration allant de 0,13 en Novembre à 0,24 en Janvier. Les directions de cette mobilité sont comprises entre SE et SSE en Septembre, Octobre et Décembre (162, 145 et 133° N) et entre NNW et N en Novembre (354° N) et en Janvier (349° N). La résultante saisonnière est 122°N soit SE.

Récapitulatif du déplacement potentiel des sables : quantité potentielle de sable déplacé (par m et par an) :

Aïn Sefra : 65.3 m³/m/an, soit 109014 kg/m/an

Le déplacement le plus important se produit en

-mars : $72.2/9 = 8.02$ m³/m, ou $120706 /12 = 10059$ kg/m

-avril : $64/9 = 7.11$ m³/m, ou $107000 /9 = 11889$ kg/m

-mai : $70.4/9 = 7.82$ m³/m ou $117607 /9 = 13067$ kg/m

Béchar : 154 m³/m/an ou 257341.7 kg/m/an. Le plus fort déplacement se produit en :

-avril : $263.4/12 = 21.94$ m³/m ou $439984 /12 = 36665$ kg/m

-mai : $255.5/12 = 21.3$ m³/m ou $426727 /12 = 35561$ kg/m

-juin : $253.5/12 = 21.225$ m³/m ou $423361 /12 = 35280$ kg/m

En seconde position (par ordre d'importance) on trouve :

-mars : $206.3/12 = 17.19$ m³/m ou $344593/12 = 28716$ kg/m ;

-juillet : $139.1/12 = 11.60$ m³/m ou $232422 /12 = 19368$ kg/m

- août : $141.9/12 = 11.82$ m³/m ou $237054 /12 = 19754$ kg/m.

Le vent peut être caractérisé par sa direction, orientation et vitesse exprimée généralement en m/s, km/h ou en nœud (1 nœud= 0,514444 m/s).

On peut conclure que l'analyse de la dynamique des vents, notamment le traitement fréquentiel des vents à partir de nos données recueillies depuis l'ONM de Béchar (1977 à 2006), ainsi celles du mois mai 2006, comparant avec les données étalant sur la série allant du 1985 à 1996 issues de la station de Béchar (**Beloufa, 2001**), et de 1988 à 1996 (**Stambouli, 1998**) ont montré que le taux de fréquence des vents efficaces à Béchar (22, 32 %) est plus important que celui obtenu à Aïn Sefra où le taux annuel des calme avec (65,5%), ce qui signifie que la région de Béchar est à forte énergie éolienne comparant par la région d'Aïn Sefra.

Du point de vue DPS, il est bien clair que les deux régions Béchar et Aïn Sefra sont considérées à haute énergie $CT > 400UV$, CT et MR dont les valeurs les plus faibles enregistrées à Béchar, classe Aïn Sefra en première position. Les faibles coefficients de migration (0,26 et 0,10) indiquent qu'il y a une mobilité des sables sans déplacements notables, avec des directions des DPS de l'ordre : Aïn Sera (284° N), Béchar (64° N).

En fin, le rapprochement de nos résultats basés principalement sur les mesures effectuées sur des véritables indicateurs de sable (chapitres II), avec les données anémométriques des stations proches ; Aïn Sefra et Béchar est fort satisfaisant.

On peut admettre que les transects d'études : Oued Lakhdar, Djenien.-Bourezg, Béni-Ounif et même Moghrar sont sous l'influence de **l'anticyclone des Acores**, alors que la zone de Hassi Houari par **les alizés**. (Cf. Fig. 88 et 89).

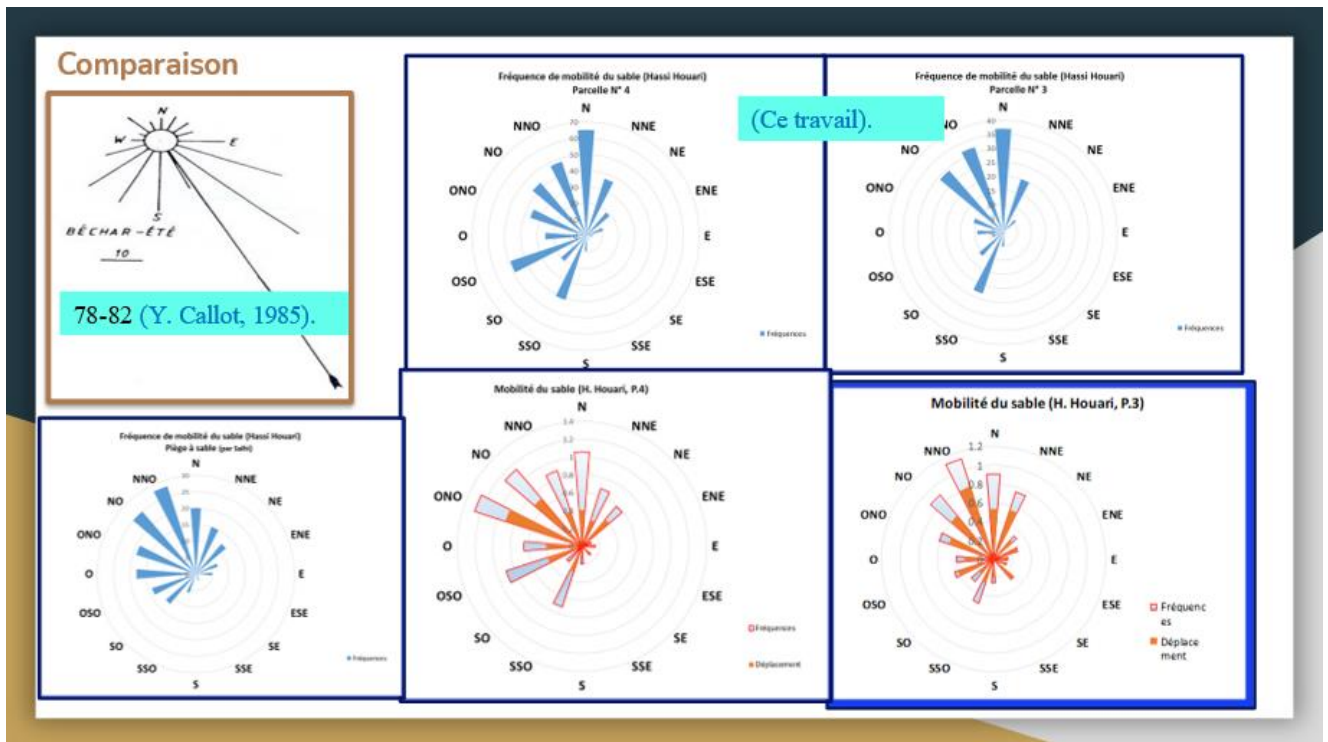


Fig. 87 : Synthèse caractérisant l'influence des *alizés* (migration d'Est vers l'Ouest)

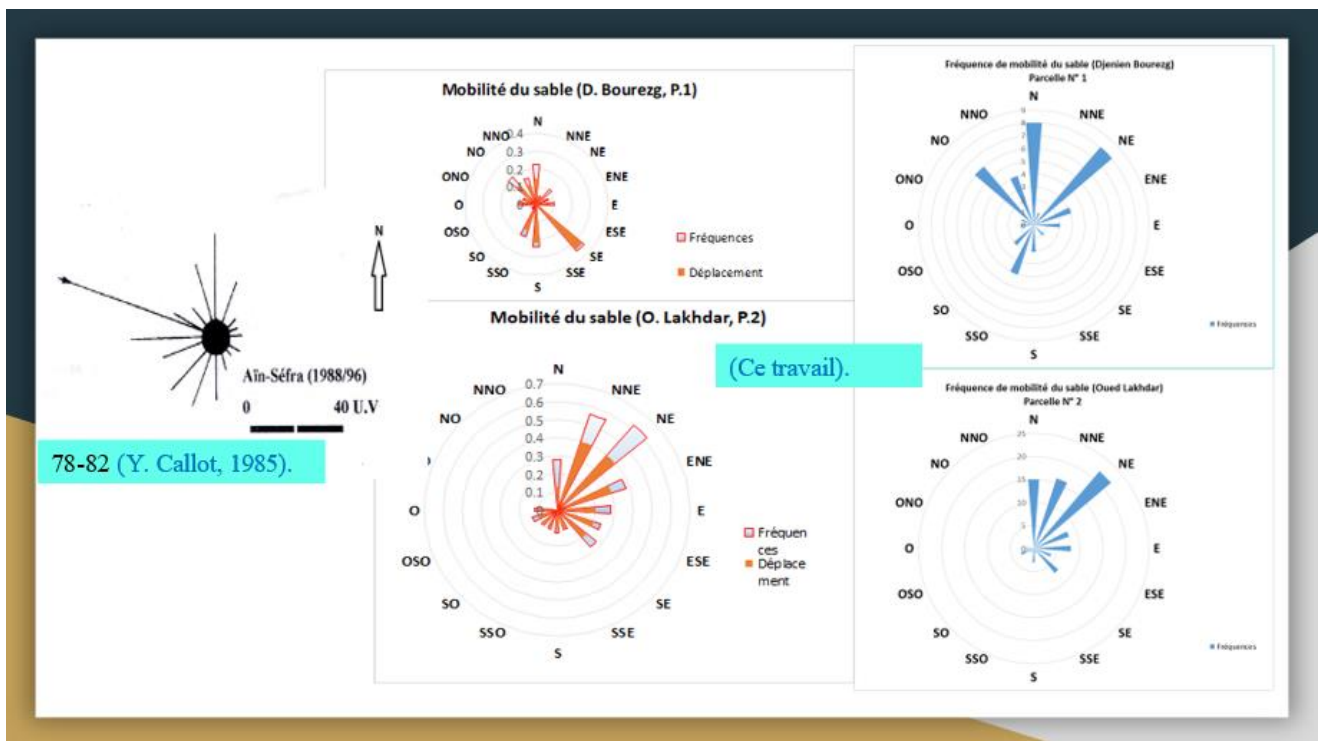


Fig. 88 : Synthèse caractérisant l'influence des *Acores* (migration d'Ouest vers le l'Est)

CONCLUSION GENERALE :

En guise de conclusion, et pour cerner les effets du phénomène d'ensablement des infrastructures dans les monts des ksour, et comme étude de cas le tronçon ferroviaire depuis Djenien Bourezg jusqu'au sud de Béni Ounif. Nous avons vu dès le début l'importance de l'analyse cartographique qui a permis de caractériser la zone d'étude Djenien Bourezg - Béni Ounif ; montagneuse fermée au nord-est (Djenien Bou Rezg) et plus ouverte au sud et au sud-ouest (Béni Ounif). Sorte d'un grand col ou couloir orographique dans lequel s'effectue une confluence d'oueds se rattachant à la Zouzfana. En fait, c'est la zone amont de son bassin versant. Elle est bordée par des chaînes de montagnes appartenant aux Monts des Ksour occidentaux de direction prédominante sud-ouest nord-est, formant une barrière qui se dresse au droit vers la Hamada de Bet eoudjine.

Le Djebel Grouz de formation jurassienne, se prolonge au sud de Béni Ounif jusqu' au point où il embrasse les formations paléozoïques au sud de Béni Ounif ; le Djebel Béchar et Horeit, où se raccordent la plate-forme saharienne avec le domaine préatlasique. Parallèlement, les tronçons ferroviaires étudiés jalonnent ces reliefs qui dessinent presque la frontière algéro-marocaine et qui épousent la flexure sud-atlasique SSW-NNE. Ces gigantesques chainons qui marquent une structure complexe, géomorphologiquement et structurellement propices à engendrer le sable, le transporter, le déposer, et ce, à la faveur des facteurs de la géodynamique externe ; vent, précipitations, crues, architecture des sous bassins versants, thermoclastie, gélifraction, corrasion, érosion...

La reconnaissance sommaire de la lithostratigraphie des monts des ksour, notamment les affleurements qui y sont en étroite relation avec la voie ferrée, a permis de dégager le faciès géologique qui contrôle le phénomène d'ensablement, par la présence des sources potentielles de sable ou encore stocks de sable ; terrains quaternaires constitués essentiellement de terrasses alluviales et de fortes portions de grès. Ces formations géologiques vulnérables à l'érosion alimentent l'agent principal qui est le vent, ce dernier cède la place au travail de l'eau. Ces sources pourvoyeuses de sable traduisent à la fois, la relation entre le relief et les accumulations sableuses, mais surtout, la conformité de leurs orientations et morphologie avec l'étude de la dynamique éolienne et calcul de DPS.

Grace à une méthodologie toute particulière et le déploiement de parcelles témoins, à proximité de la voie ferrée, délimitées sur les 16 directions par des piquets géoréférencés, au niveau de Djenien Bourez, Oued Lakhdar et Hassi Houari. Nous avons pu effectuer des mesures de déplacement de directions du sable, vitesse de migration, échantillonnage et relevés de terrains quotidiens avec géoréférencement ; dunes, rides (*ripple marks*), amas, nappage, voile sableux, cordons...ainsi un état des lieux sur l'ensemble du tronçon ferroviaire étudié (178km), ceci a permis d'en connaître les points kilométriques (Pk) à risque d'ensablement de la voie ferrée, et donc de déraillement du train, ce diagnostic a permis de mettre en évidence les types d'accumulations sableuses et leur morphologie.

A l'évidence, et contrairement aux méthodes classiques et descriptives à caractère régionale, les résultats ainsi obtenus sur une période de 3 mois (mai au juillet 2006), ont

permis de conclure que la vitesse de mobilité du sable au niveau du champs de barkhanes à Hassi Houari (sud-ouest) est largement supérieur par rapport à celles mesurée au lieu-dit Oued Lakhdar et Djenien Bourezg (nord-est). Le traitement des relevés a révélé qu'il n'y a aucune relation entre les taux de fréquences pour chaque direction dominante et les valeurs de la vitesse de migration du sable ; à titre d'exemple, à Djenien Bourezg on y trouve d'importants taux de fréquences avec des vitesses minimales, tels que **les directions N et NE** qui ont des taux de fréquences élevés égal à **18,6% et 2,23%** et respectivement des vitesses ; **0.06 m/h (1,44 m/j) et 0.48 m/j**. Il s'est avéré ainsi que le taux de fréquence à la parcelle de l'Oued Lakhdar est prédominé par la direction **NE, NNE** avec une mobilité plus au moins dynamique, suivant les mêmes directions dominantes presque avec une égale vitesse pour les deux ; **4.02 m/j** et des taux de fréquences différents, **16%** pour la première direction et **22%** pour la deuxième.

L'attention est attirée au niveau du champ barkhanique (barkhanoïdes) de Hassi Houari, les mesures quotidiennes ainsi que le traitement effectué sur les relevés déduits des deux parcelles témoins dont une est dotée d'un piège à sable, a fait apparaître qu'il y a une forte dynamique du sable, et donc une forte énergie éolienne. D'une part, les fréquences **N, NNW, NW, SSW et NNE** avec des mobilités dominantes des barkhanes observées vers **NNW, NW, WNW ; NNE, N** avec une vitesse qui atteint **8,64 m/j (NNW) !**. D'autre part, les fréquents **WNW et NW** ont une vitesse de migration de sable qui arrive à **9,6 m/j (WNW)**. A y retenir, la direction majeure **nord-ouest** obtenue par le traitement et le graphisme des rosaces, qui enregistre le déplacement le plus important, et le plus redoutable, car le risque de déraillement des trains (marchandises et passagers) n'est pas à écarter ! Nous nous sommes même familiarisés avec ces barkhanes, un travail quotidien jour en jour, matin et soir, nous a amené à observer cette rapidité en bel et bien, d'avancer l'hypothèse, à l'aide des mesures de boussole systématiques. On peut assimiler ce déplacement du sable tel une reptation de ces barkhanes magiques ! individuelles ou conjuguées ont une trajectoire, un alignement et une mission où l'intervention de l'homme en bâtissant des obstacles, les a peut-être dérangés... !

Il importe de préciser que la comparaison de ces résultats avec d'autres similaires mais régionaux, qui utilisaient une méthodologie différente à la nôtre, citons, ceux de Callot Y. (1985), dans la région de Béchar ; la résultante du DPS (Déplacement Potentiel du Sable), se concorde parfaitement avec nos résultats (sud-est nord-ouest). Il en est de même avec Beloufa (2001), avec des légères différences.

A notre humble point de vue, dans l'approche classique ou théorique basée sur le traitement des vents efficaces (fréquences, directions et vitesses), les calculs se réfèrent essentiellement aux données anémométriques, ensuite, et en principe la vérification s'effectue sur terrain. De même en télédétection, le traitement de l'image s'effectue au laboratoire qui se suit par une vérification VT (Vérité de Terrain) afin d'établir des images corrigées. Dans notre thématique, c'est tout à fait le contraire ; les mesures s'effectuaient directement sur le terrain en sélectionnant des parcelles témoins qui peuvent être assimilées

à des mailles élémentaires tel est le principe de modélisation, ensuite la comparaison des résultats avec les DPS.

La distribution granulométrique sur la totalité des parcelles a indiqué qu'il s'agissait d'un sable moyen à fin, les particules grossières sont quasiment absentes, et ce sur les flancs des rides, les amas sableux et les cordons dunaires

Nous avons tenté d'aborder les éléments d'explication du phénomène d'ensablement dans le troisième chapitre, sachant que le paramètre de la lithologie qui en est responsable des apports des stocks de sable, dites sources potentielles de sable a été abordé dans le cadre physique de la région d'étude, deuxième chapitre, où il a été conclu que la portion importante du grès ainsi que les affleurements du quaternaires alluvionnaires, sont les fournisseurs ou les sources pourvoyeuses de sable.

Le jeu de cartes à des échelles différentes, a fait sortir que le réseau hydrographique est bien dense. Dans les Monts des Ksour, l'ensemble des reliefs est entaillé sous l'effet de l'érosion fluviale engendrant un système d'affluents et de thalwegs légèrement symétriques par rapport à la ligne de partage des eaux. Le réseau est constitué par des oueds à écoulement généralement vers le sud et sud-ouest, guidés parfois par l'allongement de direction nord-est sud-ouest des reliefs. Les principaux oueds sont : au nord de Béni-Ounif ; l'Oued Zoubia, l'Oued Er Rmel, Zouzfana et l'Oued Douis. Vers le Sud nous nous sommes basés uniquement sur l'Oued Béchar qui prend sa source depuis le Djbel Antar et Horeit. Nous avons donc sélectionné deux bassins ; Béchar et Béni Ounif dans lesquels sont hiérarchisés d'autres sous-bassins plus au moins denses, l'analyse automatique de ces sous bassins a permis de délimiter plusieurs sous bassins en rapport avec la voie ferrée et en calculer leur morphométrie, hypsométrie et hydrométrie.

Les précipitations sont variables, à Béchar La moyenne annuelle des pluies est 50,4mm. Les précipitations dépassant les 100mm sont rares et le nombre de jour pluvieux est de l'ordre de 23 jours/an. Les pluies sont concentrées en hiver et en printemps. Ces valeurs traduisent bien le caractère désertique de la zone d'étude. Alors que la moyenne annuelle de la précipitation à Aïn Sefra est de l'ordre de 192mm répartie sur 38jours.

Les crues sont imprévisibles, dévastatrices et spectaculaires, nous avons passé en revue le cas des inondations de 2008, se sont ces extrêmes qui favorisent l'érosion de la lithologie des bassins versants, et par conséquent les rendre vulnérables à l'attaque éolienne qui génère un important apport solide riche en sable. Ce dernier arraché des grès et des terrasses alluviales, qui est lui-même repris par le vent. La valeur maximale (294,17) du débit de crue centennale a été retenue du fait que ces valeurs sont plus proches du débit observé durant la dernière crue de du mois d'octobre 2008.

Les températures sont généralement élevées dans la période estivale et basse en saisons hivernales. Le mois juillet reste le mois le plus chaud de l'année et le mois janvier est le mois le plus froid. La température moyenne maximale est de 33,1 C° (station de Béchar) et 29,6 C° (station d'Aïn Sefra). Nous avons mis l'accent sur l'amplitude de la température

qui en est responsable à l'éclatement de la roche par thermoclastie, les roches ont tendance à s'effriter, à se désagréger par la différence de température nocturne et diurne.

Les différentes méthodes de visualisation graphique on permit de caractériser le climat de la région étudiée soumise à un régime aride à hyper aride...la région d'étude est une zone de transition qui s'ouvre vers le nord aux monts des ksour et vers le sud à la plate-forme saharienne.

L'application des méthodes du traitement fréquentiel des données anémométriques a été effectuée d'une part sur la base des données que nous avons pu les obtenir depuis l'ONM, s'étalant de 1977 à 2006, station de Béchar, ainsi que celles du mois de mai 2006 obtenues exclusivement depuis l'ONM, station d'Aïn Sefra. D'autre part, dans le souci d'une comparaison et extrapolation sur la zone étudiée, nous avons exploité les données issues des travaux régionaux couvrant une période de 1985 à 1996 (Beloufa, 2001) ainsi que ceux de (Stambouli, 1998) couvrant une période allant de 1988 à 1996, tout en actualisant, modifiant et ajustant les visualisations graphiques.

Le taux de fréquence le plus élevé est enregistré dans la station de Béchar avec un total de 18458 relevés et un taux annuel moyen de vents efficaces de 22, 32 % alors qu'à Aïn Sefra le taux de fréquence des vents s'avère relativement très faible avec 9513 relevés ainsi que le taux moyen de calmes le plus élevé avec 65,5%, et ce, sur une période de 1988 à 1996.

Les déplacements potentiels de sable dans les deux régions ; Béchar et Aïn Sefra, permettent en premier lieu de considérer ces dernières comme étant toutes des zones à haute énergie éolienne puisque les capacités de transport sont toutes supérieures à 400 U.V (Unité Vectoriel). Proportionnellement, CT et MR dont les valeurs sont les plus faibles sont enregistrés au niveau de Béchar (1978-1982) et (1985-1996) avec une vitesse seuil de 6 m/s, alors que les CT et MR les plus élevés, sont enregistrés à Aïn Sefra (1978-1982) et (1988-1996). Les coefficients classent ainsi Aïn Sefra (1988-1996) en première position devant la station de Béchar, (1985-1996).

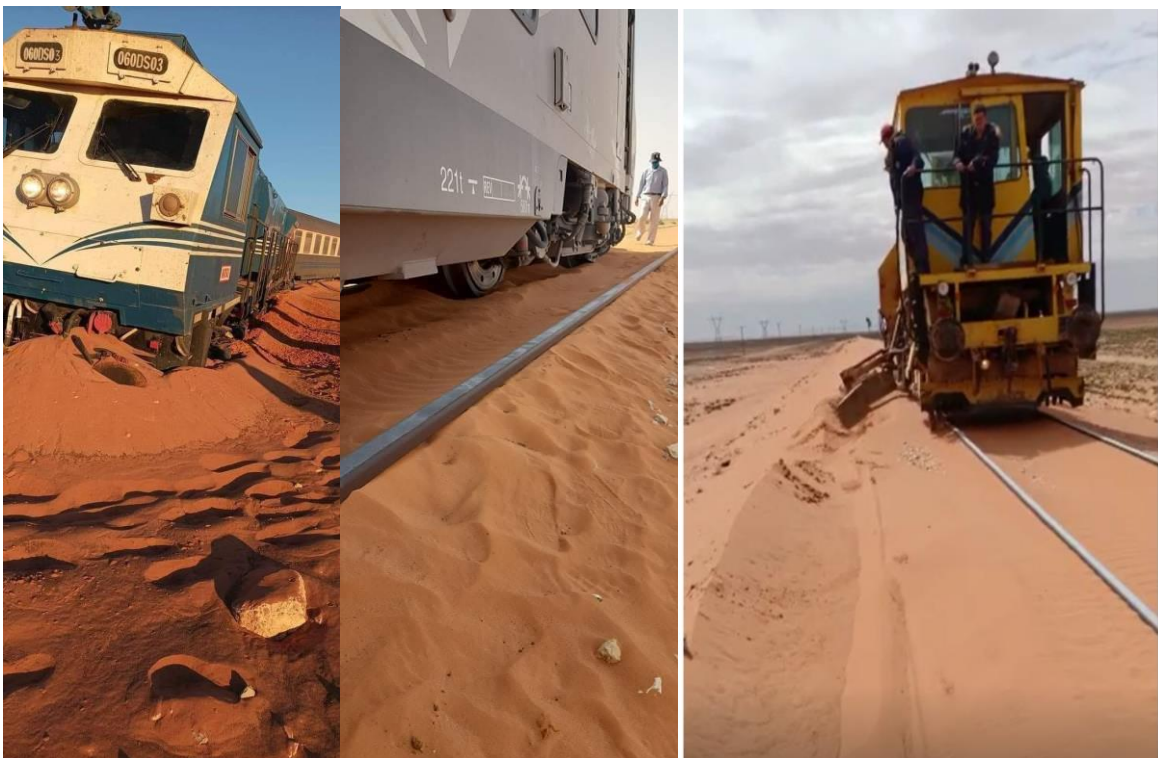
Les faibles coefficients de migration de l'ordre de 0,26 et 0,10 caractérisent respectivement Aïn Séfra et Béchar d'où, il y a une mobilité des sables qui s'effectue sans déplacement notable. Les deux stations présentent trois différentes directions de résultante puisque d'une part, la station d'Aïn-Séfra avec 284° N soit des résultantes proches, comprise entre WNW et NW. D'autre part, la station de Béchar avec 64° N soit une direction de résultante comprise entre NE et ENE.

En fin, le rapprochement de nos résultats basés principalement sur les mesures effectuées sur des véritables indicateurs de sable, avec les données anémométriques des stations proches ; Aïn Sefra et Béchar est fort satisfaisant.

On peut admettre que les transects d'études : Oued Lakhdar, Djenien.-Bourezg, Béni-Ounif et même Moghrar sont sous l'influence de l'anticyclone des Acores, alors que la zone de Hassi Houari par les alizés.



Chine : lutte contre le phénomène d'ensablement par le moyen d'un pont suspendu



Risque naturel : phénomène d'ensablement et déraillement du train

BIBLIOGRAPHIE

Ali AL SHAER (sans date) – Analyse des déformations permanentes de voie ferrées ballastées- approche dynamique. *Thèse Doctorat-ès-Sciences, ENPC, France, 129p., 123 fig., 104 tab.* Ann. 67A:47–59

ANRH (1995) – Notice explicative de la carte hydrogéologique de la région de Béchar 1/500.000. 39p., 14 fig., 53 tab.

BASSOULET J. P. (1973) -Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozique de l'Atlas saharien occidental (Algérie). *Thèse. Sci. Nat., Paris VI, 497p., 50 fig., Et 32 pl.*

BELLAIR P. et POMEROL C. (1984) : Elément de Géologie,. *Armand Colin, Paris, 495p., 247fig.*

BELOUFA RAHOU H. (2002) : Erosion éolienne et mobilité ptontielle des sables dans le sud-ouest algérien. Thèse de Magistère, *univ. D'Oran Algérie* : pp.1-119, 24 fig., 94 tab.

BENALLAL K. et OURABIA K. (1988) : Monographie Géologique et Géotechnique de la région d'Alger (Recueil de notes), *pub. O.P.U, Algérie*, pp.109.

BENSAID A. (2006) : SIG et Télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la Wilaya de Naâma (Algérie), *Thèse Doc. D'Etat, Univ. J.F. Grenoble1*. pp. 1-289, 82 fig., 57tab.

BIJU-DUVAL B., LAMPEREIN C., RIVEREAU J.-C. et LOPEZ N. (1976) : L'esquisse photogéologique du domaine méditerranéen, grands traits structuraux à partir des images du satellite Landsat-1. *Edit. Technip, Prais*, pp. 365-400, 9fig.

BISSON J. (1990) : Permanence d'une paysannerie au Sahara algérien : l'exemple des confins du Grand Erg Occidental. *Pub. Op. Médit. Série A/n°11*, pp. 289-298, 6fig.

BISSON J., CALLOT Y. ; (1990)- Les hommes et la sécheresse autour du grand Erg occidental (Nord-Ouest du Sahara algérienne) ; *Revu sécheresse n°2, volume 1.*

BISSON.J. et CALLOT Y. : (1987)- Les hommes et la sécheresse autour du Grand Erg Occidental (NW du Sahara Algérien). *Sécheresse n°2*

BOUKHELKHAL K. (2007) : La cartographie de l'évolution de la désertification dans les Hautes Plaines Sud Oranaise. *Thèse de Magistère, univ. D'Oran Algérie* : pp. 1-129, 113 fig., 15 tab., 9ph.

CALLOT Y. ; (1987)- Géomorphologie et paléoenvironnement de l'Atlas Saharien au grand Erg occidental : Dynamique éolienne et paléolaacs Holocène ; *Mem Doc. Sc de la terre. Univ.P et M. Curie, Paris.*

CALLOT Y. et OULEHRI T. 1996 : "Géodynamique des sables éoliens dans le nord-ouest

CALLOT Y.; MERING C. et SIMONIN A. 1994: "Image analysis and cartography of sand
COTE M. (1983) : L'espace algérien, les prémices d'un aménagement. *Pub. O.P.U Algérie.*
278p, 80fig.

DELFAUD J. (1974) -Les grands traits de la paléogéographie de l'Algérie septentrionale
durant le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur. *Bull.Soc. géol. France*, suppl. au t. XVI,
6. pp. 167-168.

DELFAUD J. (1984) -Le contexte géodynamique du système deltaïque mésozoïque des grès
des Ksour. *5^{ième} Sém. Sci. Terre*, Alger, p.50.

DELFAUD J., DOUIHASNI M. & ROLET J. (1974) -Mise en évidence de tectoniques
superposées dans la région d'Aïn Ouerka (Monts des Ksour, Algérie). *C. R. Acad. Sci. Paris*,
 sér. D, 278, pp1817-1820.

DERRUAU. (1974) : Précis de Géomorphologie. *Edit. Masson et Cie, Paris.* 442p., fig171,
62pl.

DOUIHASNI M. (1976) -Etude géologique de la région d'Aïn Ouerka-Boussemghoune
(partie centrale des Monts des Ksour). Analyse structurale. *Thèse 3^{ième} cycle Univ.. Oran*, 272
p., 52 fig., 4pl.

DUBIEF J. -Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. *Pub. Direct. S.C.H., Inst. De*
Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie. 457p., 41 fig.

FLAMAND G.B.M. (1911)- Recherches géologiques et géographiques sur le Haut pas de
l'Oranie et sur le Sahara (Algérie et territoires du Sud). *Thèse Sciences, Lyon, n°47 et A. Rey.*
Edit., 1001 p., 157 fig., 22 cartes, 16 pl.

GALMIER D. (1972) : Photogéologie de la région d'Ain Sefra (Algérie). *Pub. Bulletin n°42.*
177p.

GRECO J. (1978) : La défense des sols contre l'érosion, pub. *La maison Rustique, Paris*,
pp.183.

HALITIM A. (1988) : Sols des régions arides d'Algérie. *Pub. O.P.U. Algérie.* 384p.,
fig.VIII.

hill massifs on high resolution images: application to the great western erg (NW of Algerian
ICID CIID (1995) : 9^{ième} conférence régionale afro-asiatique des irrigations et du drainage ;
les stratégies pour le contrôle des sécheresses. *Pub, 354p.*

ICID CIID (1995) : 9^{ième} conférence régionale afro-asiatique des irrigations et du
drainage ;Les stratégies pour la maîtrise des crues. *Pub, 171p.*

KAZI-TANI N. (1986) : Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine
intraplaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle. *Thèse Doc. D'Etat, Univ. J.F. Pau*,
784p., 361 fig.

LABORDE J.P. (2003) : Hydrologie de surface. *Edit.ANRH. Algérie*, 313p.

LABORDE J.P. (2003) : Hydrologie de surface. *Pub. A.N.R.H.* 270p.

LAFRID A. (2004) : La cartographie de l'extension de la désertification dans la partie SW des Hautes Plaines Oranaise. *Mém. Ing. D'Etat, Univ. D'Oran Algérie* : pp. 1-77, 70 fig., 8 tab., 1 carte.

MAINGUET M. et REMINI B. (2004) : Le rôle des Méga-obstacles dans la formation et le fonctionnement des Ergs : Quelques exemples du Shara, *Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°03, juin 2004*, pp.13-23.

MARGAT J. (1962) : Mémoire explicative de la carte hydrogéologique au 1/50.000 de la plaine du Tafilalt. *Edit. Des services Géolo. Maroc.*, 274p., 227 fig., 274pl.

Martinus Nyjhoff, Dordrecht, pp 94–108

MEKAHLI L. (1998) : Evolution des Monts des Ksour (Algérie) de l'Héttangien au Bajocien ; biostratigraphie, sédimentologie, paléogéographie et stratigraphie séquentielle. *Docum. Labo. De Géologie de Lyon*, pp.1-318, 67 fig., 49pl.

occidental, dynamique éolienne et paléo-lacs holocènes. Université pierre et Marie Curie, Paris,

PYE K, TSOAR H. (2009) : Aeolian sand and sand dunes. Germany: Springer–Verlag, Berlin Heidelberg, 475p

REMENIERAS G. (1986) : L'hydrologie de l'ingénieur. *Edit. Eyrolles., Paris*, 456p.

RICHARD A. DAVIS JR and DUNCAN M. FITZGERALD (2005) : Beaches and Coast. *Pub. Blackwell.* 419p., 21fig.

RITTER E. (1901) - Le Djebel Amor et les Monts de Ouled Nayl. *Bull.Serv.Carte géol. Algérie*,(2), 3, 100 p.,4 pl. h. t.

Sahara)'' . *International Journal of remote sensing*, vol. 15, no 18, pp. 3799-3822.

saharien : relation entre aérologie et géomorphologie'' . *Géodynamica acta*, Paris, 9, 1, pp. 1-12.

SAHNOUNI M. (1987) : L'industrie sur les galets du gisement Villafranchien supérieur d'Ain Hanech. *Pub. O.P.U Algérie.* 196p., 178 fig.,68pl.

SALHI A. (1992) : Contribution à l'étude géologique (stratigraphie, sédimentologie et évolution paléogéographique de la série du Lias-Dogger de la région de Béni-Ounif (Djebel Kerdacha), partie méridionale de l'Atlas saharien occidental. *Mém. Ing. D'Etat, Univ. D'Oran* 111p, 54fig.

SALHI A. (2002) : Evolution paléogéographique et dynamique de la bordure méridionale du sillon atlasique au cours du Lias et du Dogger (région de Béni-Ounif, Algérie sud-occidentale). *Thèse de Magistère, univ. D'Oran Algérie* : pp. 1-138, 109fig. 8pl.

STAMBOULI S ; (1998)- Erosion éolienne et mobilité potentielle des sables à Ain Safra ; *Mem* de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme d'ingénieur en géographie et aménagement du territoire- *Univ. d'Oran Es –Senia*.

SETOR (2008) ; Rapport interne

THEOBALD N. et GAMA A. (1967) : Géologie Générale et Pétrologie ; élément de géodynamique. *Edit. Doin, paris*, pp.560, 235 fig., 16pl.

TOUAIBIA B. (2004) : Manuel pratique de l'Hydrologie. *Edit.ISBN. Algérie*, 166p.

TSOAR H. (1985) : Profile analysis of sand dunes and their steady state significance. *Geogr.*

TSOAR H. (1986) : Two–dimensional analysis of dune profile and the effect of grain size on

TSOAR H. (2001) : Types of aeolian sand dunes and their formation. *Geomorphological*

VANNY J. R. ; (1960)- Pluies et crue dans le Sahara Nord occidental. *Monographies régionales-* Institut de recherche sahariennes de l'université d'Alger.

ZINGG A.W (1953) : « Wind tunnel studies of movement of sedimentary material ». *Proceedings of 5th Hydraulic Conference Bulletin*, 34:111-134

ZIOUIT K. (2012) : Etude statistique des peuplements de foraminifères liasiques des Monts des Ksour. *Mém. Mag., Univ. D'Oran* 88p, 38fig.