



La cartographie des risques d'ensablement : l'exemple de la zone d'El Fjé (Jeffara tunisienne)

The cartography of risks of the stranding: the example of the zone of El Fjé (tunisian Jeffara)

W. MADANI* & W. CHOUARI*

Abstract : Since the second half of the twentieth century, the stranding constitutes one of the most significant morphological manifestations of desertification in southernmost Tunisia. It is the result of an intensive wind action. The acceleration of this phenomenon pushed the responsible actors (IRA, CRDAs...) to think about mitigating the effects and the extension of the stranding while studying and by seeking the most effective means of monitoring and control against the phenomenon. Globally, the follow-up of stranding required the establishment of equations of quantification (WODRUFF & SIDDOWAY., 1965), whose application is usually time consuming and expensive. Other qualitative methods, based on new information technologies, are applied in the field of the automatic mapping including remote sensing and Geographic Information Systems. The aim is to produce risk maps to the stranding, the result of the crossing of several layers of data related with both the biophysical and human environment.

The purpose of this mapping method is to define homogeneous areas of sensitivity to the stranding. In fact, each layer of information represents a variable in the equation of wind erosion (land use, soil types, soil texture, topographic units ...). The result of the crossing will be a risk map showing the most affected areas by the scourge and giving some explanations of the dynamics of stranding. The final map will be a document that could be considered in making decisions in the field of spatial planning and the protection of natural resources.

Key words: Silting, Risk, Cartography, GIS, El-Fje

Résumé : Depuis les années 1970, en Tunisie méridionale, l'ensablement est devenu l'une des manifestations morphologiques les plus marquées de la désertification. Il est le résultat d'une action éolienne intensive. L'accélération de ce phénomène a poussé les acteurs responsables (Institut des Régions Arides de Médenine, Commissariats régionaux de développement agricole...) de penser à atténuer les effets de l'extension de l'ensablement en étudiant et en cherchant les moyens les plus efficaces de suivi et de lutte contre ce fléau.

À l'échelle mondiale, le suivi de l'ensablement a nécessité la mise en place des équations de quantification (WODRUFF & SIDDOWAY, 1965), dont l'application est généralement longue et coûteuse. D'autres méthodes qualitatives, basées sur les nouvelles technologies informatiques, sont appliquées dans le domaine de la cartographie automatique, notamment la télédétection et les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). L'objectif est de produire des cartes des risques à l'ensablement, fruit du croisement de diverses couches de données en rapport à la fois avec le milieu biophysique et humain.

L'objectif de cet article est de définir des zones homogènes de sensibilité à l'ensablement. Chaque couche d'information issue du SIG représente une variable de l'équation de l'érosion éolienne (l'occupation des sols, les types des sols, la texture des sols, les unités topographiques...). Le résultat du croisement sera une carte des risques montrant les zones les plus touchées par l'ensablement et donnant des éléments d'explication de la dynamique de ce phénomène. La carte finale constituera un document qui pourrait être pris en compte dans des prises des décisions éclairées dans le domaine de l'aménagement du territoire et de la protection des ressources naturelles.

Mots clés : Ensablement, Risque, Cartographie, SIG, El Fjé

INTRODUCTION

En Tunisie du Sud, l'ensablement constitue l'une des manifestations morphologiques les plus marquées de la désertification. Il est le résultat d'une action éolienne intensive (LE HOUEROU, 1959 ; KHATTELI, 1981 ; FLORET & PONTANIER, 1982). Ce phénomène s'est déclenché suite à une surexploitation d'un milieu naturel caractérisé par sa fragilité et par sa sensibilité à la dégradation suite à une intervention anthropique inadéquate.

*Laboratoire SYFACTE ; Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Sfax-TUNISIE
madaniwassim@yahoo.fr / walidchouari@yahoo.fr

En effet, l'extension des labours et des cultures sur des sols sableux à texture fine et la dégradation des steppes qui colonisent ces sols ont favorisé le transport des matériaux fins par le vent (LE HOUEROU, 1959 ; KHATTELI, 1981 ; FLORET & POTANIER, 1982 et TALBI, 1993).

L'estimation et la cartographie des quantités des matières déplacées par le vent ne sont pas des tâches faciles, compte tenu de l'aspect aléatoire de la manifestation du phénomène. Plusieurs formules mathématiques ont résulté des expériences menées à travers le Monde. En fait, la mesure de l'ampleur des facteurs responsables de l'érosion éolienne peut se faire directement par une mesure qualitative des effets sur la baisse de productivité des sols ou à partir de mesure de l'ensablement des infrastructures. Elle peut se faire également, d'une façon quantitative, par l'utilisation de l'équation de l'érosion éolienne (WEE). Cette équation prend en considération, non seulement la nature du sol, mais aussi plusieurs variables qui contribuent à déclencher et à intensifier ce phénomène. La formule de l'érosion éolienne avait connu, ces dernières années, plusieurs modifications et améliorations.

La région d'El Fjé, appartenant à la Jeffara tunisienne, est un exemple de la Tunisie aride où plusieurs manifestations de dégradation, liées essentiellement à l'érosion éolienne, sont devenues très remarquables dans le paysage. Les sols de cette région, tels qu'ils se présentent aujourd'hui, résultent des interactions très anciennes entre les processus naturels de la pédogénèse et de l'érosion, et l'anthropisation qui a mis en exploitation les terres agricoles pour répondre à des besoins qui ne cessent d'augmenter. La sédentarisation de la population dans la région était à l'origine des mutations radicales dans l'occupation et l'utilisation des terres. Une nouvelle économie basée sur l'agriculture et l'élevage des cheptels, a intensifié la dégradation du couvert végétal et l'enlèvement des particules fines et leurs accumulations en modelés divers. Pour faire face à ce problème environnemental, plusieurs techniques de conservation des eaux et des sols, ainsi que d'autres liées à la lutte contre l'ensablement ont été appliquées dans la zone d'étude, mais sans résoudre de façon définitive ce problème de dégradation.

C'est donc bien dans une approche cartographique que le présent travail s'inscrit afin d'établir des cartes des risques d'ensablement dans la zone d'El Fjé. Pour réaliser ces cartes on a suivi une méthodologie, à la fois qualitative et quantitative, basée sur l'utilisation des nouvelles technologies offertes par la télédétection et les logiciels de SIG.

METHODOLOGIE

La méthodologie adoptée est basée sur l'exploitation des cartes topographiques, des images satellites et des photographies aériennes. Ces derniers documents ont été corrigés géométriquement afin d'homogénéiser les référentiels spatiaux et afin d'assurer des mesures et des calculs automatiques dans un SIG. Le croisement des informations issues des traitements des images satellites ou de la photo-interprétation nous a permis de définir des zones homogènes en matière de sensibilité aux risques d'ensablement. En fait, chaque couche d'information représente une variable de l'équation de l'érosion éolienne potentielle. Trois variables principales ont été prises en considération dans cette étude : l'occupation/utilisation des sols, les types des sols et la texture de surface.

Des données du milieu biophysique et du milieu anthropique favorables à l'ensablement

Les données biophysiques

La partie aval du bassin versant de l'oued El Fjé est située au Nord-est de la ville de Médenine. Elle est délimitée au nord par Sidi Makhoulouf et Grine, à l'est par le golfe de Boughrara et à l'ouest par la route GP1. Elle s'étend sur une superficie d'environ 200 km² (Fig. 1).

Le relief joue un rôle très important dans la protection contre le risque d'ensablement puisqu'il représente une barrière naturelle qui empêche l'avancement des sables (LE HOUEROU, 1959 ; KHATTELI, 1981 et 1993 ; FLORET & POTANIER, 1982 ; TALBI, 1993). En l'absence de relief, le transport des sables est plus aisé et plus intense. Dans la zone d'El Fjé, le relief est très atténué. Le point culminant ne dépasse pas 42 m au sud-ouest de la zone d'étude. Il s'agit d'une plaine ouverte et fortement exposée aux influences des vents, vu l'absence des barrières naturelles qui peuvent jouer le rôle de brise-vent (Fig. 2).

Fig. 1 : Localisation de la zone d'étude

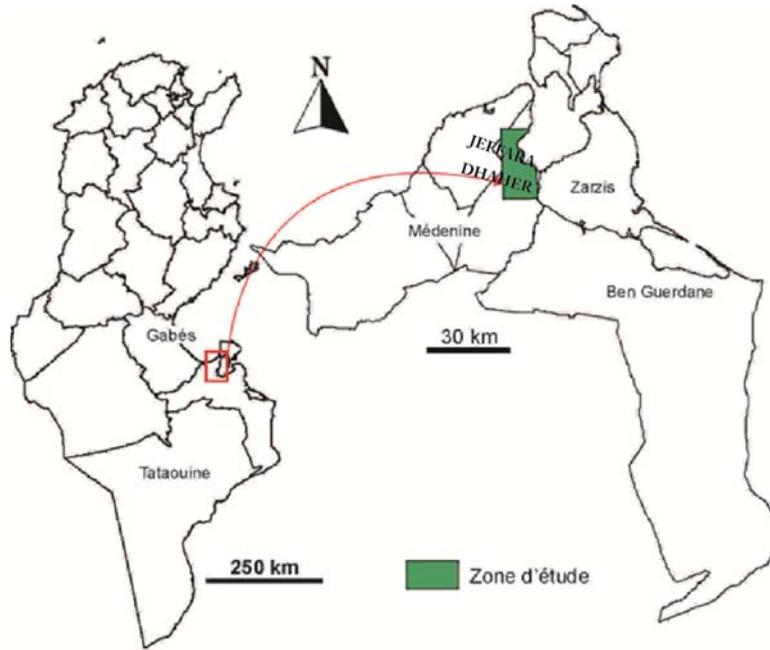
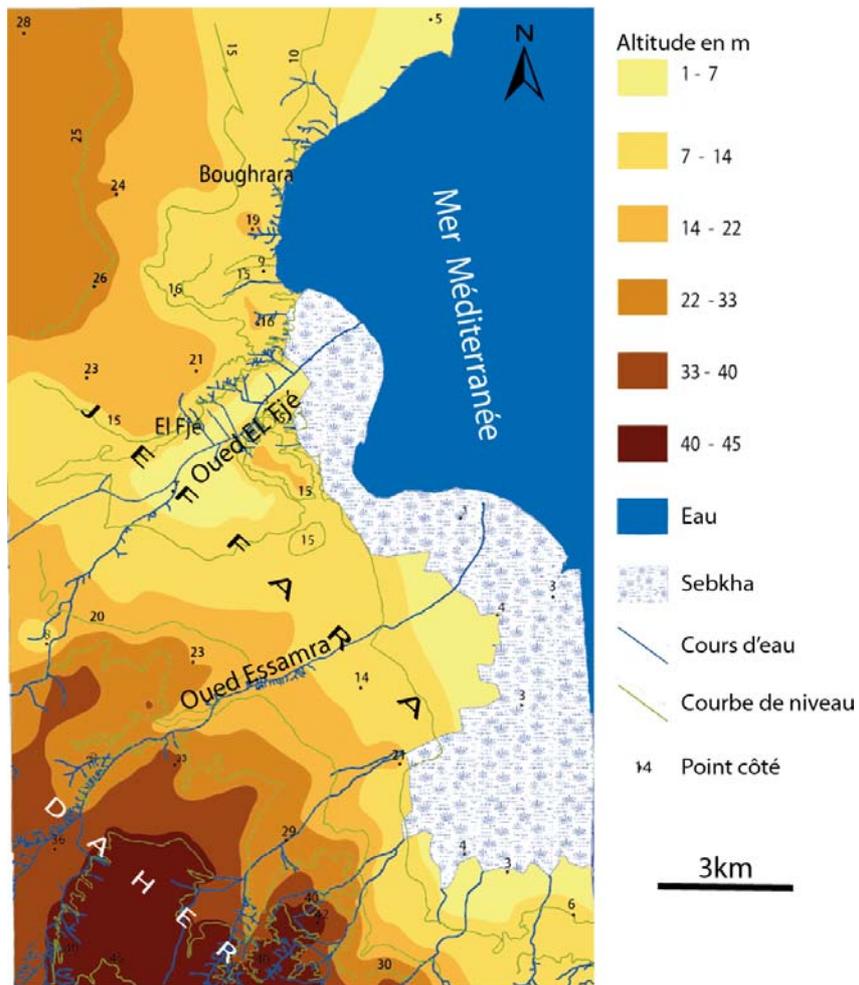


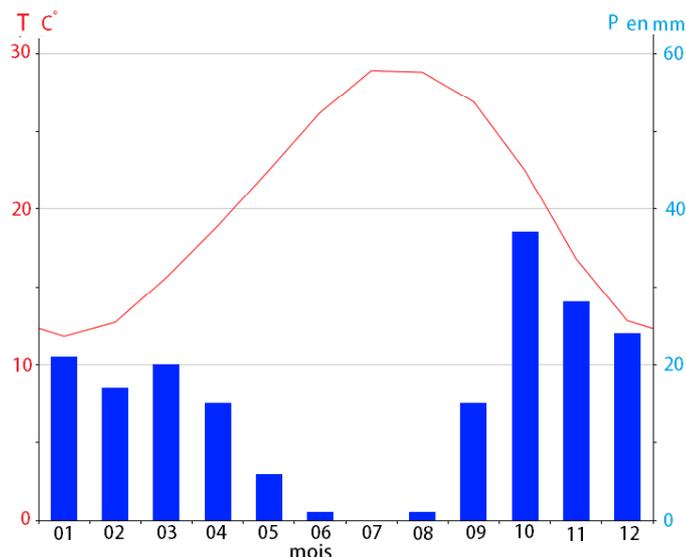
Fig. 2 : Le relief de la zone d'El Fjé



Source : carte topographique de Boughrara, feuille n°170 au 1/50000 (1956)

La synthèse faite par FLORET & PONTANIER (1982) concernant le bassin versant de l'oued El Fjé montre que celui-ci se trouve dans l'aire isoclimatique méditerranéenne (à pluie hivernale et à été sec). Il est caractérisé par un climat du type aride avec deux variantes : une variante d'aride supérieur à hiver tempéré sous une influence continentale et où la pluviométrie varie entre 150 et 250 mm, et une variante d'aride inférieur à hiver doux sous une influence de la mer (golfe de Boughrara) qui intéresse la partie aval où la pluviométrie varie entre 100 et 200 mm. Ainsi, la zone d'El Fjé appartient à une zone très peu pluvieuse recevant une moyenne pluviométrique annuelle inférieure à 250 mm et avec seulement 30 jours de pluie (Fig. 3). La pluie irrégulière et les faibles moyennes pluviométriques enregistrées expliquent de loin la rareté des ressources en eaux de surface. Le chevelu hydrographique est représenté par quelques cours d'eau prenant source dans la partie amont au niveau du relief de « Dhaher ». Le plus important cours d'eau est l'oued El Fjé qui débouche dans le golfe de Boughrara.

Fig. 3 : Diagramme ombro-thermique de la station de Boughrara

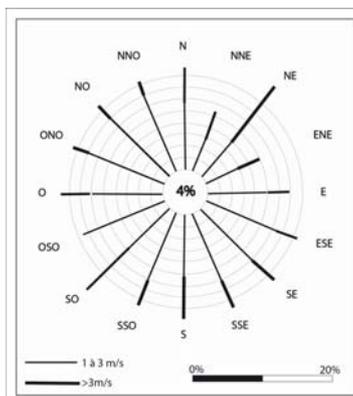


Source : données brutes de l'Institut National de Météorologie, 2010

La moyenne thermique annuelle à la station météorologique de Boughrara est de 20°C. Les mois de décembre, janvier et février sont les plus frais avec même des gelées occasionnelles. Les mois de juillet, août et septembre sont les plus chauds de l'année.

La zone d'El Fjé est assez ventée, les vents actifs (vitesse > 3 m/s) représentent 40,7 % sur l'ensemble de l'année. Les principales directions des vents affectant la plaine sont différentes d'une saison à une autre (Institut National de Météorologie, 2010). En hiver, les vents froids et humides de direction Est et Nord-est sont accompagnés parfois par le brouillard et les pluies. En été, les vents chauds et secs de direction ouest et sud-ouest, appelés localement « Chhili » ou « Guebli », provoquent une élévation importante des températures et accentuent le stress hydrique chez la végétation. Ces vents accélèrent le phénomène de l'évapotranspiration et favorisent la déflation et le transport éoliens (Fig. 4).

Fig. 4 : Rose des vents de la station de Médenine (2000-2010)



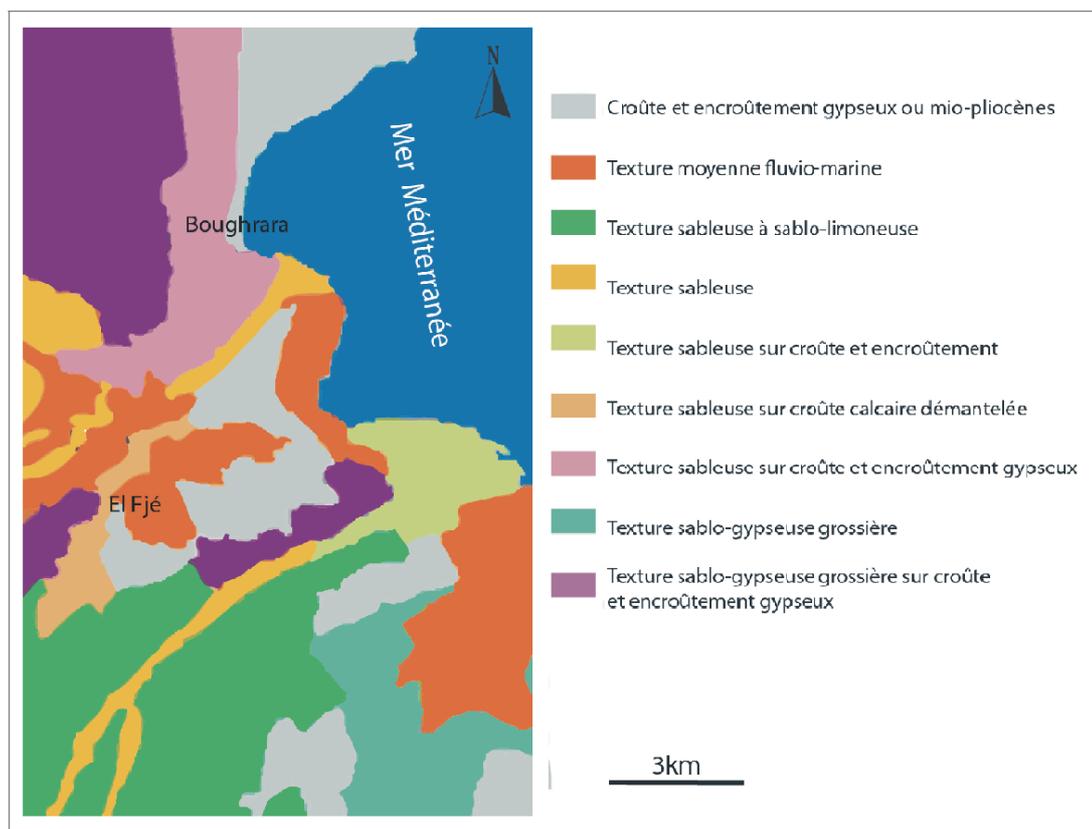
Source : données brutes de l'Institut National de Météorologie, 2010

La zone d'El Fjé faisant partie de la région de Jeffara tunisienne, est classée par LE HOUEROU (1959) dans le sous-étage aride inférieur. Ce sous-étage est caractérisé par l'absence d'arbres, la dominance de petits buissons, de touffes de végétation herbacée et l'extension des formations steppiques.

Les sols sont essentiellement peu évolués ou isohumiques bruns calcaires, peu profonds et recouverts parfois par un voile éolien de quelques centimètres d'épaisseur. La texture à la surface est très variée et constituée essentiellement par des formations sableuses souvent encroûtées (Ministère de l'Agriculture, 2004).

L'importance des formations sableuses et des particules meubles explique la sensibilité de la zone à l'érosion éolienne (Fig. 5).

Fig. 5 : Textures des sols à la surface



Source : carte agricole nationale, 2004

Occupation et l'utilisation des sols

Afin d'explorer l'évolution de l'occupation des sols dans la zone d'El Fjé, on a eu recours à la télédétection. Deux images satellites LANDSAT multi spectrales, à sept bandes et d'une résolution spatiale de 30 m, ont été exploitées. La première a été prise en automne, le 9 novembre 1984 et la deuxième a été prise au printemps, le 9 mai 2010. Lors de la phase de traitement, nous avons eu recours à une classification supervisée. Cinq classes d'occupation des sols ont été identifiées (eau, sol humide, végétation naturelle, agriculture et sol nu). La résolution spatiale des images ne nous permet pas de visualiser les cours d'eau. Ils sont captés comme des espaces verts ou très humides puisqu'ils sont souvent colonisés par des salicornes et des psammophiles (Fig. 6).

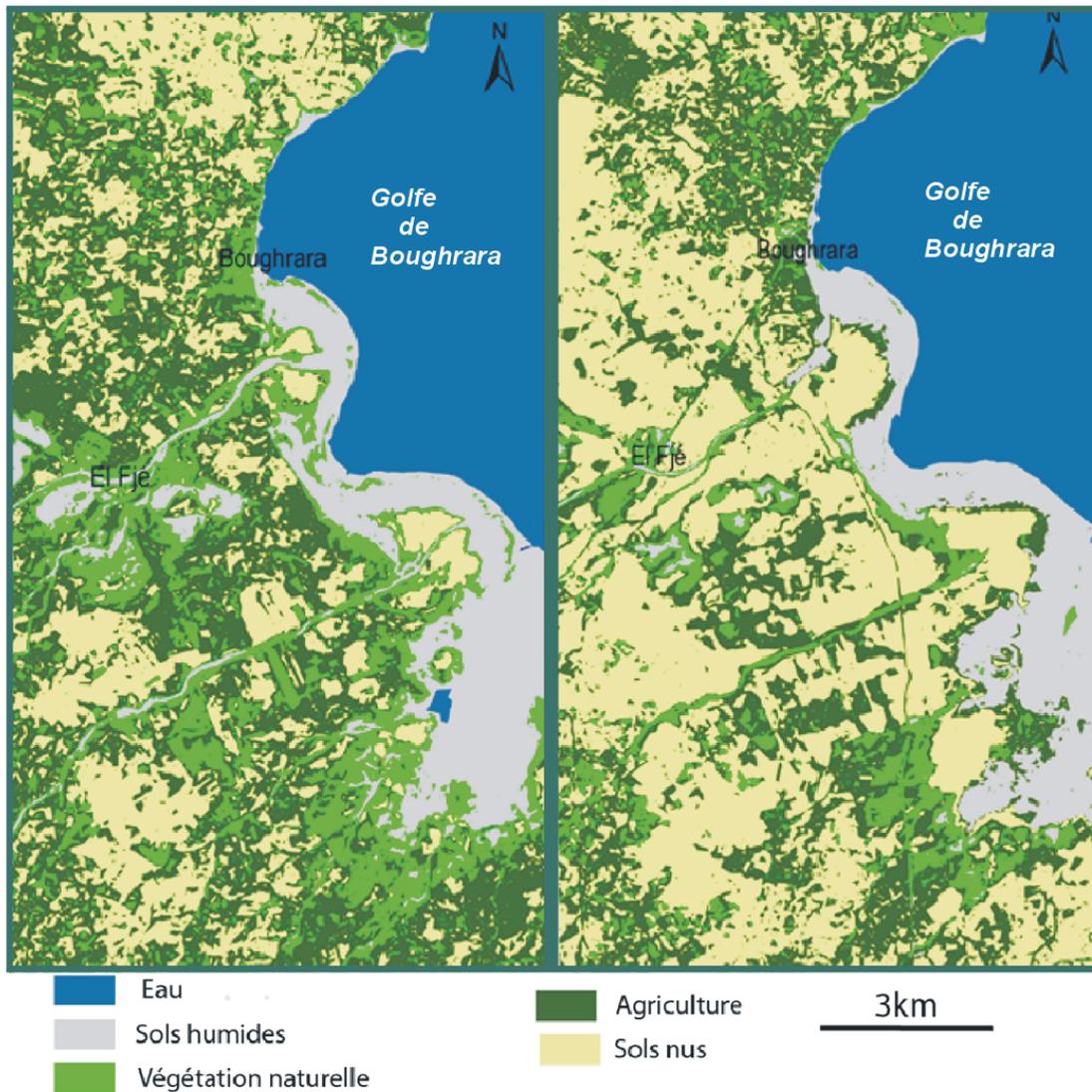
La cartographie de l'occupation/utilisation des sols par la télédétection, nous a permis d'identifier les caractéristiques principales de la zone d'étude ainsi que les modes de son organisation et de son évolution (Tableau 1).

Tableau 1 : Évolution des superficies selon les modes d'occupation du sol en km²

Année / occupation du sol	Sol nu	Sol humide	agriculture	végétation naturelle
1984	59	30	80	39
2010	92	35	62	17

Sources : images Landsat, 1984 et 2010

Fig. 6 : L'occupation et l'utilisation des sols dans la zone d'El Fjé en 1984 et 2010

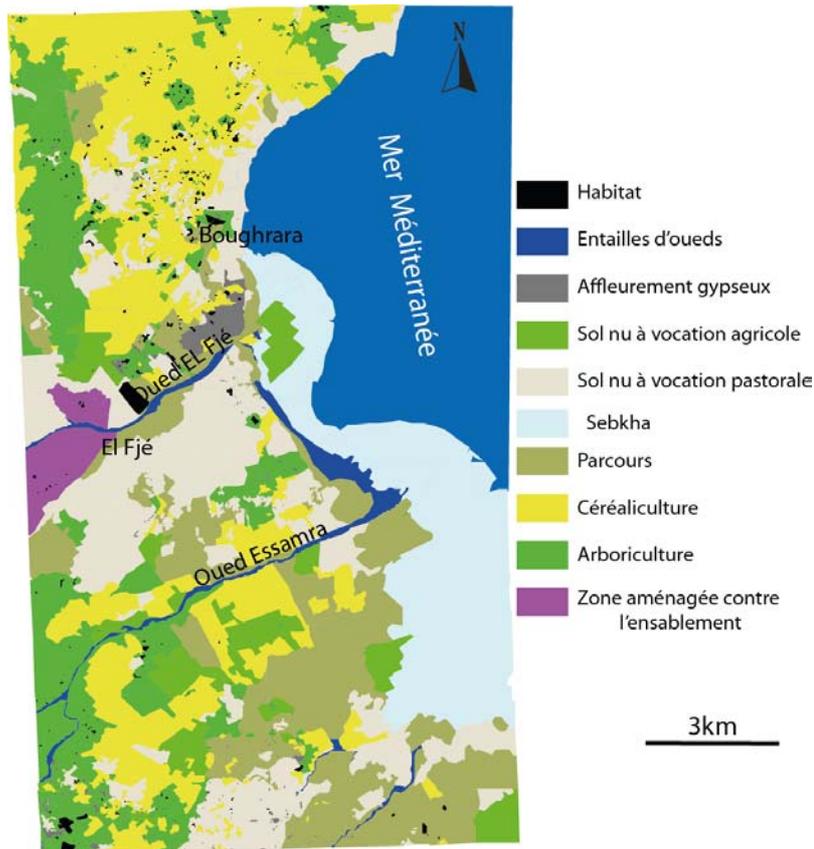


Sources : images LANDSAT (1984 ; à gauche) et (2010 ; à droite), résolution spatiale de 30 m

Le calcul des superficies d'occupation/utilisation des sols en 1984 et en 2010 montre que la superficie des sols nus ne cesse d'augmenter aux dépens des terres agricoles. L'accumulation des sables sur les champs de cultures, rend ces derniers impropres à toutes les activités agricoles. Ceci vient à l'encontre des efforts déployés dans la lutte contre l'ensablement et la valorisation des terres. L'agriculture dans cette zone paraît très fragile notamment avec la rareté des ressources en eau surtout que les eaux souterraines sont aussi saumâtres, dépassant 6 g/l de salinité. Par ailleurs, l'extension des sols nus peut être expliquée par la salinisation de plus en plus poussée des sols constatée dans les parcelles agricoles (notamment dans les périmètres irrigués ; Ministère de l'Agriculture, 2004) et l'extension des terres humides de type sebkhas.

Après avoir identifié les principales classes d'occupation/utilisation des sols, et dans l'objectif d'affiner les résultats obtenus, nous avons eu recours à la photo-interprétation. Nous avons interprété l'image satellite (tirée de Google Maps en 2010) en essayant d'identifier les propriétés de chaque classe d'occupation/utilisation des sols. Le résultat a été intégré dans une base de données sous Arc View 3.2. Après des vérifications sur le terrain, les résultats de l'interprétation nous ont permis de construire une base des données géographiques qui sera exploitée dans notre SIG (Fig. 7).

Fig. 7 : L'occupation/utilisation des sols issue de l'interprétation d'une image de Google Maps (2010)

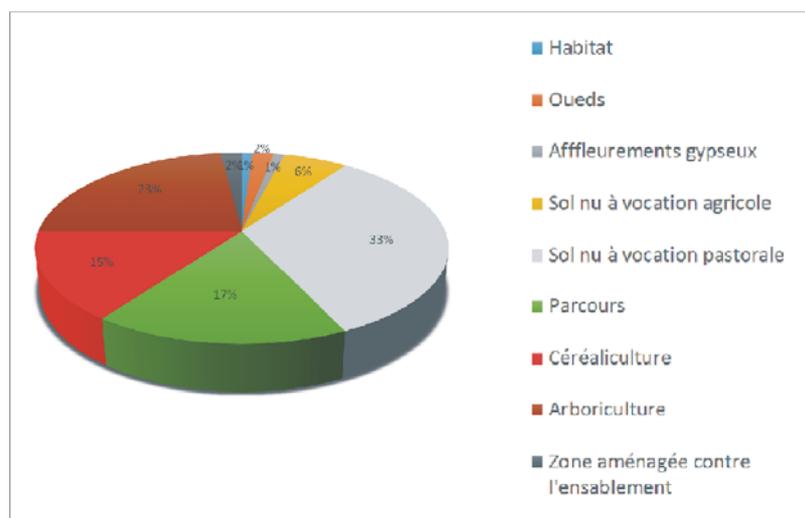


source : image Google Maps, 2010

La carte réalisée comprend les classes d'occupation/utilisation des sols suivantes :

- L'habitat est très dispersé dans la zone. Il n'occupe que 1% de la superficie. Il est concentré essentiellement dans le village de Boughrara ;
- Le sol nu à vocation pastorale s'étend surtout au niveau des embouchures des oueds et dans les parcours. Cette classe occupe le tiers de la superficie totale de la zone, c'est-à-dire 63,67 km² ;
- Le sol nu à vocation agricole est généralement occupé par quelques constructions d'activités agricoles. Ce type de sol est très menacé par l'ensablement à cause de sa mobilisation lors du labour. Cette classe occupe 27,37 km² soit 5,74 % de la superficie totale de la zone d'étude ;
- Les zones d'arboriculture sont généralement entourées des « tabias ». Celles-ci sont des levées de terrain qu'on confectionne, tantôt manuellement, tantôt mécaniquement. Une « tabia » prend généralement la forme d'un trapèze dont la petite base est égale à 60 cm, la grande base à 150 cm et la hauteur à 120 cm (KHATTELI, 1996). Ces aménagements de conservation des eaux et des sols s'étendent dans les zones déprimées d'oliveraies, des figuiers ou d'amandiers. Ces zones occupent une superficie de 44,89 km² ;
- Les terres à vocation de céréaliculture s'étendent sur 28,27 km² ce qui représente 14,6% de la superficie totale de la zone d'étude ;
- Les parcours sont caractérisés par un couvert végétal très dispersé et constitué par quelques formations steppiques. Les parcours sont très dégradés et très sensibles à l'ablation et à déflation éoliennes. Ils représentent une véritable source d'alimentation en sables et ils occupent 17,5% de la superficie totale de la zone d'étude soient 33,76 km² ;
- Les terres aménagées contre l'ensablement sont localisées essentiellement autour de l'Institut des Régions Arides qui a mis ces zones en défend afin d'empêcher l'avancement des sables. Ces surfaces s'étendent sur 3,6 km², ce qui représente 1,9 % de la superficie totale de la zone d'étude (Fig. 8).

Fig. 8 : Les modes d'occupation du sol dans la zone d'El Fjé



- Les oueds sont à écoulement intermittent et alimentés par les eaux de ruissellement lors des précipitations importantes. Ces oueds débouchent dans le golfe de Boughrara où ils déposent leurs charges solides. Leurs entailles représentent 2 % de la superficie totale de l'espace étudié ;
- Les affleurements gypseux se répartissent sur toute la zone. Ils occupent 1% de la superficie totale soit 1,99 km².

L'ensablement à El Fjé

La cartographie réalisée montre que les zones affectées par l'ensablement s'étendent d'Est en Ouest suivant les axes des cours d'eau, essentiellement dans la partie centrale de la plaine d'El Fjé et en aval en s'approchant du golfe de Boughrara. Le paysage géographique dans les parcours se distingue par l'apparition de surfaces dépourvues de végétation, à l'exception de quelques touffes dispersées qui constituent des sièges d'accumulations sableuses. Des nebkas se sont alors formées autour de ces touffes, et de la même façon, les barkhanes forment des champs dunaires importants au niveau de l'embouchure de l'oued Fjé (BEN FRADJ, 2012). Parfois, les parcours se sont transformés en des véritables champs dunaires. Les dunes coalescentes peuvent atteindre 2 à 3 m de hauteur. Seulement, une zone de quelques hectares a subi une intervention de la part de l'Institut des Régions Arides dans un objectif de lutte contre l'ensablement. L'opération a donné des résultats assez encourageants puisqu'un arrêt de l'ensablement a été remarqué par endroits (Fig. 9).

Au niveau de l'embouchure de l'oued El Fjé, les édifices dunaires se distinguent facilement dans le paysage, puisque leurs hauteurs dépassent parfois 10 m. Ces édifices sont le résultat d'un remaniement par le vent d'un matériel sablo-limoneux, déposé par les oueds lors des crues (MEKRAZI, 2003). Sur les terrains de culture, il est facile de remarquer des olivettes complètement ensablées et d'autres complètement déchaussées, autour desquelles s'étendent des dunes mobiles qui prennent, généralement, la forme des « barkhanes ». Dans les champs cultivés en céréales, des accumulations dunaires de type voiles éoliens, ou nebkas peuvent être formées suite à un transport éolien du matériel fin. Par ailleurs, au niveau du littoral, les accumulations dunaires constituent un siège de départ pour les grains de sable qui menacent les agglomérations les plus proches et les champs d'oliveraie (TALBI, 1993).

La cartographie de la sensibilité à l'ensablement

Les modalités de la répartition de l'occupation/utilisation des sols dans la zone d'étude nous ont permis d'appréhender une hiérarchie de sensibilité à l'ensablement en fonction de trois variables de base soit les types des sols, la texture de la surface et les modes de l'utilisation des terres.

Ssensibilité des sols à l'érosion éolienne

En se basant sur la carte de la répartition des sols, on a pu distinguer trois classes de sensibilité des sols à l'ensablement, soit une sensibilité faible, moyenne et forte.

Les sols caractérisés par une faible sensibilité à l'ensablement sont essentiellement des sols halomorphes. Ces derniers sont composés d'agrégats de masses importantes non favorables au transport par le vent. Ils sont localisés au sud-est et au centre-ouest de la zone d'étude. Par ailleurs, les sols caractérisés par une moyenne et une forte sensibilité à l'érosion éolienne sont les sols limoneux et sablonneux meubles susceptibles d'être transportés par les vents morphogéniquement efficaces (Tableau 2).

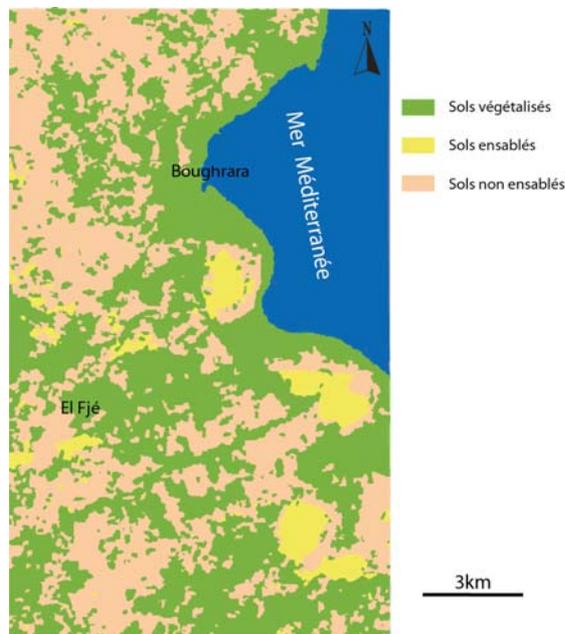


Fig. 9 : Les zones d'ensablement à El Fjé

Source : image Landsat, 2010 (résolution spatiale de 30 m)

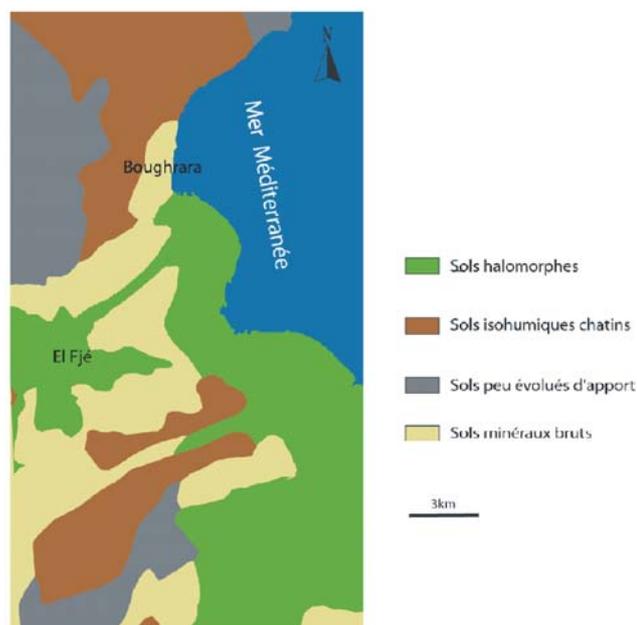


Fig. 10 : Les types des sols dans la zone d'El Fjé

Source : carte agricole nationale, 2004

Tableau 2 : Évaluation de la sensibilité des sols à l'érosion éolienne

Niveau de sensibilité	Superficie en Km ²	Superficie en %
Sensible	75,2	37,6
Peu sensible	47,7	23,85
Très sensible	77,1	38,55
Total	200	100

Les sols de la région d'El Fjé favorisent l'érosion éolienne, puisque plus de 75 % de la superficie totale de la zone d'étude est composée des sols soumis à une moyenne ou à une forte sensibilité à l'ensablement.

Sensibilité à l'ensablement liée à la texture de la surface

Selon la texture de la surface des sols, trois classes de sensibilité ont été identifiées. Les terrains peu sensibles intéressent les alentours septentrionaux du golfe de Boughrara et la partie centrale de la zone d'étude. En outre, les terrains sensibles caractérisent essentiellement la partie méridionale. Enfin, les zones désignées comme très sensibles s'étendent sur le reste de la zone (Fig. 11).

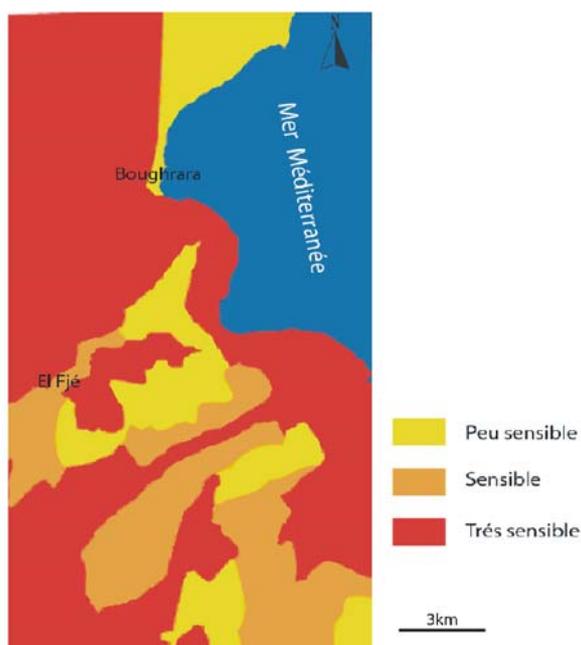


Fig. 11 : La sensibilité à l'érosion selon la texture de la surface

Source : carte agricole nationale, 2004

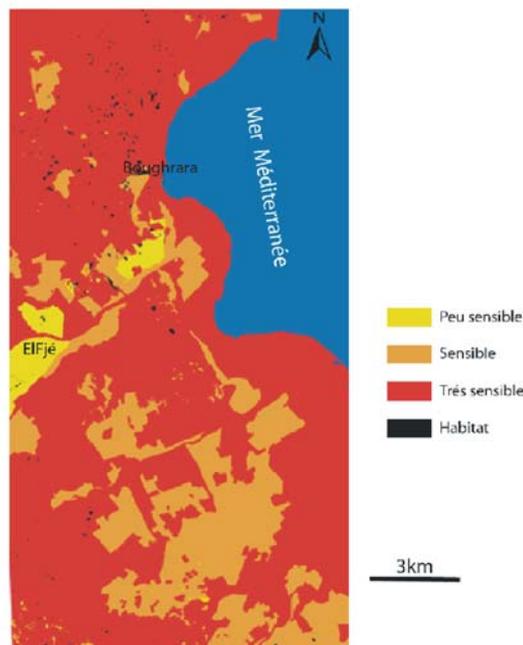


Fig. 12 : Sensibilité des occupations/utilisations des sols à l'érosion éolienne

source : Google Maps, 2010

Ce classement des terres en fonction de la texture, montre que celle-ci est en faveur de l'érosion éolienne, puisque plus de 60% de la superficie de la zone d'étude est composée d'une texture soumise à une sensibilité élevée alors que seulement 17 % de la superficie totale sont relativement peu sensibles à l'érosion éolienne.

Sensibilité de l'occupation/utilisation des sols à l'ensablement

Afin d'appréhender la sensibilité à l'érosion éolienne en fonction de l'occupation/utilisation des sols, nous avons procédé à une classification en trois zones en se basant sur nos observations de terrain et en suivant une appréciation qualitative de l'état de sensibilité. Ainsi, la classe où les sols sont nus, a été considérée comme une zone très sensible. Les zones caractérisées par une sensibilité moyenne sont situées principalement au sud-est de la zone d'étude. Elles sont occupées essentiellement par des parcours et par des parcelles d'arboriculture et s'étalent sur une superficie de 44,8 km². Par ailleurs, environ 140,89 km² sont sensibles à l'érosion éolienne. Cependant, une sensibilité faible a été attribuée à une zone de 3,61 km² protégée par des aménagements de lutte contre l'ensablement (Fig. 12).

En examinant la carte d'occupation/utilisation des sols (Fig. 7), nous remarquons que la zone d'El Fjé est remarquablement vulnérable à l'érosion éolienne. Le problème majeur vient d'une économie régionale basée sur l'élevage extensif et sur une agriculture vivrière très sensible à la variabilité climatique.

La carte de risque à l'ensablement

Afin d'aboutir à une carte de risques à l'ensablement, nous avons combiné dans un SIG les trois couches d'information en rapport avec la sensibilité des sols, la sensibilité de la texture de surface et la sensibilité de l'occupation/utilisation des sols. Afin de définir un zonage adéquat, nous avons appliqué l'équation de synthèse suivante :

$$R.F. = (S \text{ occupation des sols}) * (S \text{ sols}) * (S \text{ texture des sols})$$

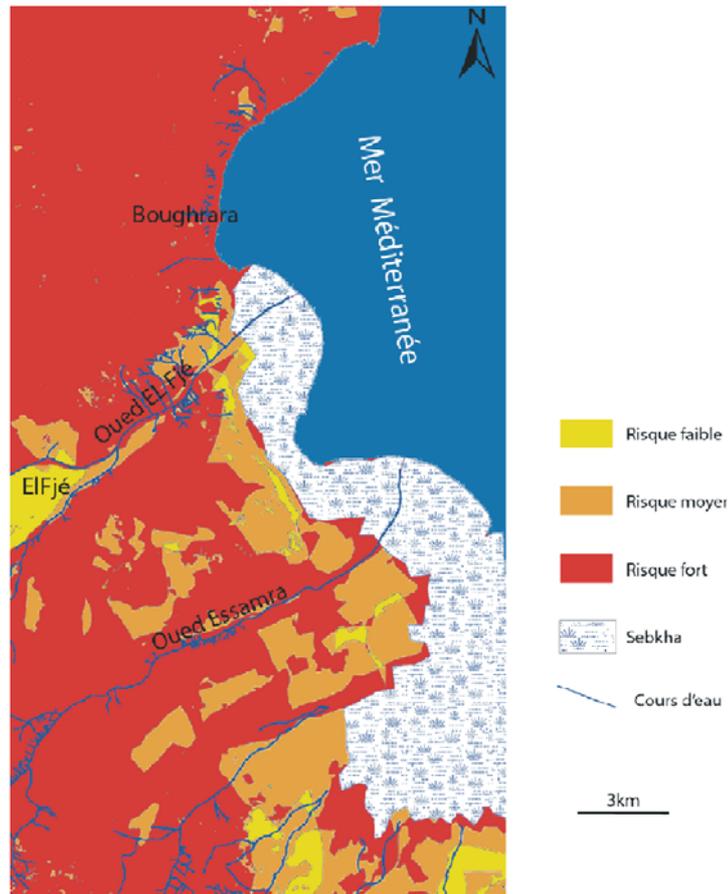
Où :

S : sensibilité à l'érosion éolienne ;

R.F: Risque Final à l'érosion éolienne.

La carte des risques à l'ensablement issue de la combinaison des trois couches d'informations montre qu'El Fjé est une zone ayant un fort risque d'ensablement. Les éléments explicatifs de ce risque sont en rapport direct avec la fragilité du milieu naturel (la topographie basse et monotone, l'ouverture aux vents forts, la faible couverture végétale, la texture fine des sols...) et la pression anthropique sur le milieu (la dégradation des parcours, la mobilisation des sols à des fins agricoles...). Par ailleurs, l'érosion hydrique s'ajoute à la liste des facteurs favorisant l'ensablement par l'accumulation des sédiments limono-sableux meubles dans la plaine alluviale et sur la côte (Fig. 13).

Fig. 13 : Carte de risque à l'ensablement à El Fjé



La carte de risque à l'ensablement montre que les zones à fort risque d'ensablement atteignent 149,93 km². Les zones ayant un risque moyen gardent une superficie de l'ordre de 34,83 Km². Elles sont localisées généralement au sud-est d'El Fjé.

Les zones à risque faible sont très limitées, elles ne représentent que 8,08 km² de la zone d'étude. Elles sont généralement des zones protégées contre l'ensablement suite à une opération pilote d'aménagement guidée par l'Institut des Régions Arides.

CONCLUSION

Afin d'élaborer une carte des risques à l'ensablement dans le cours inférieur de l'oued El Fjé, nous avons consulté une documentation assez riche, interprété des images satellites et analysé des données sur l'environnement Arc View 3.2. Les résultats obtenus ont montré qu'une partie importante de la zone d'étude est assez vulnérable aux problèmes provoqués par l'ensablement et que la majeure partie de la zone est aussi soumise à un risque fort d'ensablement. L'occupation humaine, inadaptée, d'un milieu fragile est un facteur qui s'est ajouté aux facteurs biophysiques et notamment climatiques sévères pour aggraver encore la situation. Les résultats cartographiques pourraient être à la base d'une intervention d'aménagement dans la zone afin d'assurer une protection aux infrastructures et garantir une amélioration des conditions de vie à la population locale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEN FRADJ, T., 2012. La Jeffara Septentrionale : étude de l'évolution géomorphologique au cours du Quaternaire. Thèse de doctorat. FSHS de Tunis, 335 p.
- FLORET, C. & PONTANIER, R., 1982. L'aridité en Tunisie présaharienne : climat, sol, végétation et aménagement, *Travaux et documents de l'ORSTOM*, Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, 544 p.
- KHATTELI, H., 1981. Recherche stationnaire sur la désertification. Dynamique de l'érosion éolienne dans le Djéffara Tunisienne, thèse 3^{ème} cycle, Paris I, 218 p.
- KHATTELI, H., 1993. Inventaire et évaluation techniques des actions de lutte contre l'ensablement dans les six gouvernorats du Sud-tunisien, *Revue des Régions Arides*, 5 : 59-90.
- KHATTELI, H., 1996. Erosion éolienne en Tunisie aride et désertique : analyse des processus et recherches des moyens de lutte. Thèse de doctorat. Université Gent-Belgique, 170 p.
- LE HOUEROU, H., N., 1959. Recherche écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale, *Inst. Rech. Sah. Alger*, 277 p.
- MEKRAZI, N., 2003. Les moyens de lutte contre l'ensablement dans La Jeffara (Sud Est Tunisien) : évaluation et impacts sur l'évolution du milieu "l'exemple de la région de Médenine, Mémoire de DEA, FSHS de Tunis, 121 p.
- Ministère de l'agriculture, 2004. Carte agricole du gouvernorat de Médenine.
- TALBI, M., 1993. Contribution à l'étude de la désertification par télédétection dans la Jeffara (Tunisie du Sud-est), Thèse doctorat, FSHS de Tunis, 2 tomes, 305 p.
- WODRUFF, N., P. & SIDDOWAY, M., 1965. A wind erosion equation. *Soil Science Society Proceedings*, 29: 602-608.