

Vers une quantification de l'érosion éolienne des sols labourés dans le sud tunisien

**Mohamed Taieb LABIADH¹, Gilles BERGAMETTI², Christel BOUET^{2,3},
Houcine KHATTELI¹ et Mounir ABICHOU⁴**

⁽¹⁾ Institut des Régions Arides (IRA), Médenine, Tunisie

⁽²⁾ Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), UMR CNRS 7583, Université Paris Est Créteil - Université Paris Diderot, Institut Pierre Simon Laplace, Créteil, France

⁽³⁾ Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris (iEES Paris), UMR IRD 242, Université Pierre et Marie Curie - CNRS - INRA - Université Paris Est Créteil - Université Paris Diderot, Tunis, Tunisie

⁽⁴⁾ Institut de l'Olivier (IO), Zarzis, Tunisie

Mohamed.labiadh@ira.rmrt.tn

RÉSUMÉ

La Tunisie, par sa situation géographique, possède un climat diversifié dominé par l'aridité. Globalement, les trois quarts du pays sont menacés par la désertification, les milieux arides de la Tunisie méridionale et centrale et les milieux semi-arides de la Dorsale et d'une partie du Tell septentrional étant plus particulièrement concernés. Ces terres du sud tunisien, au-dessous de l'isohyète 200 mm an⁻¹, connaissent de sérieux problèmes d'ensablement qui résultent de la sévérité des conditions climatiques et d'un mode d'exploitation inapproprié des ressources naturelles qui est à l'origine de la vulnérabilité du couvert végétal naturel et des sols. Par ailleurs, le labour des sols sensibles à l'érosion éolienne pour des pratiques de céréaliculture et de culture des oliviers est à l'origine de l'amplification de ce phénomène au cours des dernières décennies.

Le but de cette étude est d'utiliser les résultats de trois expériences menées à l'échelle de la parcelle dans le sud tunisien, pour quantifier l'érosion éolienne sur des surfaces agricoles, pour tester la capacité d'un outil de modélisation numérique à reproduire les flux en masse mesurés. L'approche adoptée repose sur des paramétrisations reliant le flux horizontal de particules aux dimensions géométriques des sillons. La validation expérimentale de cette approche est basée sur différentes expériences de terrain menées sur des parcelles travaillées avec différents outils de labour. Les résultats montrent un bon accord entre simulations et observations.

Mots-clefs : érosion éolienne, processus physique, pertes en sol brutes, sud tunisien

SUMMARY

Tunisia, by its geographical situation, is characterized by a variety of climates, but is dominated by aridity. Globally, the three quarters of the country are affected by desertification, the arid environments of southern and central Tunisia, the semi-arid environment of the Dorsal and a part of the northern Tell being more specifically concerned. These southern Tunisian regions, below the 200 mm an¹isohyet, have serious silting problems resulting from harsh climatic conditions and an inappropriate use of natural resources, which is at the roots of the vulnerability of natural vegetation and soils. Moreover, plowing to cultivate cereals and olive trees has amplified soil erosion by wind during the last decades.

The aim of this study is to use the results of three experiments at the plot scale in southern Tunisia, to quantify wind erosion on agricultural fields, to test the ability of a modeling tool to reproduce the measured mass fluxes. The approach is based on parameterizations linking the horizontal flow of particles to the geometric characteristics of the tillage ridges. The experimental validation is based on different field experiments performed on plots plowed with different tillage tools. The results show a good agreement between simulations and observations.

Keywords: wind erosion, physical process, soil losses, southern Tunisia

1. INTRODUCTION

L'érosion éolienne est l'un des principaux processus contrôlant le fonctionnement du système terrestre. Les surfaces continentales vulnérables à l'érosion éolienne sont estimées à 33 millions de km², c'est-à-dire près de 25% de la surface des continents (Lal, 1990 ; Middleton and Thomas, 1997 ; Shao, 2008). Par le déplacement sélectif des particules fines des sols, l'érosion éolienne réduit la quantité d'éléments nutritifs dans le sol, affectant sa productivité (Lyles, 1975 ; Visser *et al.*, 2005 ; Zobeck and Fryrear, 1986). Quand il est introduit dans l'atmosphère, l'aérosol minéral disperse et absorbe à la fois les radiations solaires et telluriques (Sokolik *et al.*, 2001), influençant le bilan radiatif de la Terre (Liu *et al.*,

2003). Quand il est déposé à la surface de la planète, l'aérosol minéral contribue à une augmentation de la teneur en certains macro et micro nutriments (comme le phosphore ou le fer) dans les océans (Bergametti *et al.*, 1992 ; Mahowald *et al.*, 2005) et les écosystèmes terrestres (Larney *et al.*, 1998 ; Swap *et al.*, 1992).

Les régions arides et semi-arides de l'Afrique de Nord sont considérées comme la principale source d'aérosols minéraux au monde (Middleton and Goudie, 2001). Le Sahara est caractérisés oit par des taux de précipitations très faibles, soit par une saison des pluies courte suivie par une très longue saison sèche. Les sols dans cette région ont une teneur en matière organique faible et une texture dominée par le sable (FAO-

UNESCO, 2003), donc à faible degré de cohésion. La conjonction de ces facteurs rend donc les sols de ces régions très sensibles à l'érosion éolienne (Zachar, 1982).

En Tunisie, les travaux de recherche entrepris depuis les années 80 se sont focalisés principalement sur la connaissance objective des causes et des mécanismes de l'érosion éolienne des sols et la mise au point de techniques de lutte aussi bien au niveau préventif que curatif, notamment pour la fixation mécanique et biologique des dunes mobiles (Khatteli, 1996). Les principales actions qui ont été menées à la fin du siècle dernier (années 1980 et 1990) ont soit révélé l'importance relative des déplacements de sable à partir de données concernant la vitesse et la direction du vent, indépendamment des états de surface (Chahbani, 1992), soit évalué l'érosion éolienne dans un cadre plus général de lutte contre la désertification en Tunisie (Khatteli, 1981 ; 1996 ; Talbi, 1993).

Classiquement, suivant l'échelle spatiale, deux techniques sont souvent utilisées pour évaluer l'érosion éolienne. A l'échelle des parcelles, c'est la méthode des piquets qui permet de quantifier le bilan de masse à partir des fluctuations du niveau du sol. A grande échelle, ce sont les techniques de télédétection qui permettent de rendre compte de l'état des terres sujettes à l'érosion éolienne à travers la détermination des surfaces ensablées et/ou décapées à l'instant (date et heure) d'acquisition des images satellitaires. Cependant,

ces méthodes étant non corrélées aux paramètres pilotant l'érosion éolienne, elles ne permettent pas d'identifier les phénomènes physiques responsables des résultats obtenus. Par ailleurs, il existe un réel besoin de disposer d'outils plus performants de quantification de l'érosion éolienne. Parmi ces outils, on peut citer la modélisation des processus qui contrôlent ce phénomène. Plusieurs modèles empiriques ont été développés (Comis and Gerriets, 1994 ; Hagen, 1991) et certains ont permis de paramétrer le flux d'émission comme une fonction en puissance 3 de la vitesse de friction (par exemple White, 1979).

Récemment, plusieurs modèles de production d'aérosols minéraux (Dust Production Model, DPM) ont également été développés. Parmi ces modèles, nous pouvons citer le modèle d'émission développé au Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (Marticorena and Bergametti, 1995), référencé ci-après *DPM/MB95*. Ce modèle est construit sur une description physique des processus de mise en mouvement et d'émission des particules constitutives du sol et sur des variables intégratives adaptées pour des applications à grande échelle. Il a été validé à partir des données expérimentales disponibles. Ce modèle décrit de façon physiquement explicite les trois processus clés à l'origine de l'érosion éolienne et des émissions d'aérosols minéraux à savoir le seuil d'érosion, le flux horizontal de saltation et le sandblasting.

L'objectif poursuivi par l'IRA depuis

plusieurs années est de mettre en œuvre de tels modèles pour quantifier l'érosion éolienne dans le sud tunisien et notamment évaluer le rôle des surfaces mises en culture et du changement de pratiques agricoles dans les évolutions observées. Le présent travail vise à valider une des étapes de ce projet, à savoir la représentation dans un modèle prédictif des flux d'érosion sur les surfaces agricoles. Plus précisément, la présente étude est focalisée sur la validation in situ (sur parcelles agricoles) de paramétrisations développées préalablement en soufflerie (Kardous et al ; 2005a ; b).

2. FLUX D'ÉROSION ÉOLIENNE SUR DES SURFACES LABOURÉES

2.1 Le modèle DPM/MB95

Pour décrire l'érosion éolienne dans le sud tunisien nous avons choisi d'utiliser le modèle *DPM/MB95* (Marticorena and Bergametti, 1995) dans la mesure où il s'agit d'un modèle physique décrivant les différents processus (saltation et sandblasting) responsables de l'érosion éolienne et de l'émission d'aérosols minéraux. Ce modèle a aussi l'avantage de prendre en compte de façon explicite les principales caractéristiques de surface (rugosité, texture, distribution en taille des agrégats). Enfin, chaque module de ce modèle (seuil d'érosion, humidité, flux horizontal...) a été validé indépendamment (Marticorena and Bergametti, 1995 ; Marticorena *et al.*, 1997a ; b) et la capacité de ce modèle à reproduire les flux d'aérosols minéraux émis à partir des zones sources du

Sahara et des déserts d'Asie de Chine a été évaluée (Laurent *et al.*, 2005 ; 2008). Les détails concernant ce modèle peuvent être trouvés dans les références mentionnées ci-dessus.

Cependant, les flux d'érosion simulés n'ont été validés par des mesures de laboratoire et de terrain que pour des conditions typiques des zones désertiques non ou très peu anthropisées. Ceci constitue une limite pour son application dans les régions anthropisées et sur les surfaces agricoles, comme les zones arides tunisiennes. En effet, les régions du sud tunisien qui sont touchées par le phénomène de l'érosion éolienne peuvent être distinguées entre états de surface naturels ou désertiques non ou très peu affectés par des actions anthropiques (principalement le Grand Erg oriental dans la partie ouest, la région des chotts) et les états de surface anthropisés qui correspondent principalement aux surfaces à usages agricoles (élevage et culture).

Les zones cultivées sont principalement occupées par l'oléiculture et la céréaliculture qui sont pratiquées soit extensivement dans les plaines sableuses de la Djeffara, soit dans les jessours dans les zones montagneuses. Par ailleurs, l'introduction de la mécanisation dans les régions arides tunisiennes a fortement contribué à l'extension des terres cultivées en céréales et en arboriculture, notamment après les années soixante (Khatteli, 1981).

Afin d'étendre l'application du *DPM/MB95* aux zones anthropisées et

d'évaluer l'impact de la modification des pratiques agricoles sur les flux d'érosion éolienne, de nouvelles paramétrisations pour des surfaces labourées ont été développées par Kardous *et al.* (2005a ; b), dans un premier temps en soufflerie. Dans la perspective de valider ces nouvelles paramétrisations, des données complémentaires sont nécessaires pour s'assurer de la réelle capacité du modèle à reproduire le flux d'érosion mesuré, en particulier pour des billons de labour de taille différente.

Une fois validée, cette paramétrisation sera intégrée dans le modèle *DPM/MB95* en vue de dresser un bilan représentatif de ce phénomène à l'échelle régionale et d'évaluer l'impact de l'usage des terres sur l'érosion éolienne.

2.2. Paramétrisation des flux d'érosion éolienne sur des surfaces labourées

En zones arides et semi-arides, l'impact de la pression démographique en termes d'usage des sols est un autre facteur important susceptible d'amplifier significativement dans un futur proche l'érosion éolienne. En effet, dans ces régions, augmenter la production agricole est une nécessité qui se traduit à la fois par la mise en culture de nouvelles parcelles et par une modification significative des pratiques agricoles (avec un recours plus systématique à la mécanisation).

Qu'il s'agisse d'un outil de travail du sol à dents ou à socs, la mise en culture des surfaces sylvo-pastorales favorise la destruction de la structure initiale du sol qui se retrouve davantage émiétté et par

conséquent plus vulnérable à l'érosion éolienne (Chen, 1991). Néanmoins, les microtopographies résultant de ces pratiques agricoles sont plus visibles et plus prononcées pour les états de surfaces labourés par des outils à dents, le tiller par exemple. Elles sont alors caractérisables par des hauteurs et des espacements variables de billons/sillons.

L'impact de ces surfaces labourées en billons/sillons sur l'intensité du processus éolien a fait l'objet des plusieurs études. Par exemple, Fryrear (1984) et Hagen and Armbrust (1992) ont montré que les caractéristiques géométriques des billons (espacement et hauteur) génèrent une rugosité aérodynamique plus prononcée qui conduit à une augmentation du seuil de mise en mouvement des agrégats constitutifs des sols. Les travaux de Hagen and Armbrust (1992) et de Saleh *et al.* (1997) ont permis de paramétrer, pour des billons de grande taille tels que ceux rencontrés dans les grandes plaines des Etats-Unis, la hauteur de rugosité aérodynamique en fonction des caractéristiques géométriques des billons, à savoir leur hauteur *RH* et leur espacement *RS*. En outre, Hagen and Armbrust (1992) ont introduit la notion de piégeage entre les billons successifs (ou sillons) des particules mises en mouvements pour expliquer la réduction observée des flux de saltation sur des surfaces labourées comparativement aux mêmes surfaces meubles non labourées.

Les travaux cités ci-dessus ont conduit à des paramétrisations empiriques, spécifiques de sols riches et lourds,

non extrapolables aux sols sableux généralement rencontrés dans les zones arides et semi-arides d'Afrique du Nord. Dès lors, Kardous *et al.* (2005a ; b), considérant les limitations des travaux de Hagen and Armbrust (1992) et de Saleh *et al.* (1997) pour leur application aux surfaces agricoles d'Afrique du Nord, ont étudié la dépendance de la hauteur de rugosité aérodynamique et des flux d'érosion éolienne aux caractéristiques géométriques des billons, billons dont les dimensions ont été choisies pour être caractéristiques de celles rencontrées dans les zones semi-arides nord-africaines (typiquement, le rapport entre la hauteur et l'espacement des billons est compris entre 0,2 et 0,36).

Pour cela, Kardous *et al.* (2005a ; b) ont d'abord étudié en soufflerie les modifications induites à la surface par le labour en termes de géométrie, de rugosité et de force de cisaillement exercée par le vent. Ces travaux ont été réalisés sur des sols sableux pour un ensemble de onze configurations de sillons correspondant à des hauteurs et des espacements différents. Durant ces expériences, le profil du vent pour des vitesses inférieures au seuil d'érosion a d'abord été mesuré et les flux de saltation pour 3 vitesses de friction (u_{*i}) différentes et pour chaque configuration (onze configurations) ont également été déterminés. A partir de ces données, Kardous *et al.* (2005a) ont d'abord pu proposer une paramétrisation de la hauteur de rugosité aérodynamique Z_0 de ces surfaces en sillons en fonction des caractéristiques géométriques des

billons. Cette relation linéaire lie Z_0 (en cm) au rapport du carré de la hauteur des billons (RH^2) et à l'espacement (RS) également exprimés en cm :

$$Z_0 = 1,27 \cdot \frac{RH^2}{RS} - 0,005 \quad (1)$$

En partant de l'expression classique de calcul du flux de saltation de Lettau and Lettau (1978) qui considère la perte en sol proportionnelle à la vitesse de friction (u_{*i} , en cm s^{-1}) (Eq. 2a) et en adoptant l'approche proposée par Hagen (2001) pour déduire la vitesse de friction seuil d'érosion (u_{*i} , en cm s^{-1}), Kardous *et al.* (2005b) ont également déduit une expression qui relie les différents paramètres qui contrôlent le flux horizontal d'érosion, Q (en $\text{g cm}^{-1} \text{s}^{-1}$), à la hauteur RH et à l'espacement RS des billons. Par ailleurs, de nouvelles paramétrisations de la vitesse de friction seuil (Eq. 2b) et de la constante a (en $\text{g cm}^{-4} \text{s}^2$; Eq. 2c) uniquement fonction des caractéristiques géométriques des billons/sillons ont été proposées et validées par comparaison à d'autres données indépendantes issues de la littérature.

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = a \cdot u_{*i}^2 \cdot (u_* - u_{*i}) \\ u_{*i} = -207,1 \cdot \frac{RH}{RS} + \frac{81,305}{RH} + 86,871 \text{ (b)} \\ a = -3,10 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{RH}{RS} + 1,39 \cdot 10^{-7} \end{array} \right. \quad (2)$$

Ce modèle reproduit les résultats expérimentaux obtenus en soufflerie aussi bien lors d'expériences complémentaires réalisées en Tunisie que ceux obtenus précédemment par Hagen and Armbrust (1992) sur des surfaces ayant pourtant des caractéristiques très différentes en termes de hauteur et d'espacement des billons. Cependant, la capacité de cette paramétrisation à reproduire les flux d'érosion éolienne observés sur les surfaces labourées en dehors des séries de laboratoire reste incertaine. En effet, le peu de cas documentés rend cette « validation » peu contrainte. Pour s'assurer de sa réelle capacité à reproduire les flux d'érosion mesurés, il sera donc nécessaire à l'avenir de disposer de davantage de cas, avec des configurations différentes plus nombreuses et en conditions réelles.

2.3. Validation in-situ des nouvelles paramétrisations développées en soufflerie

Pour estimer les flux d'érosion éolienne sur différents types de surfaces labourées et évaluer, en particulier, les nouvelles paramétrisations développées en soufflerie ainsi que l'impact des techniques de labour sur l'érosion éolienne, trois expériences de terrain ont été menées dans le sud tunisien, dans la région aride de Médenine/Zarzis (précipitations $\approx 200 \text{ mm an}^{-1}$ irrégulières dans l'espace et dans le temps).

Les expériences ont eu lieu au printemps, période de vents forts et donc saison au cours de laquelle surviennent

fréquemment les événements érosifs. Les deux premières expériences (en 2003 et 2008) ont été conduites à la parcelle expérimentale de Dar Dhaoui (latitude $33^{\circ}17'41''\text{N}$, longitude $10^{\circ}46'57''\text{E}$) (Figure 1). Dans ce vaste domaine mis en défens d'une superficie de 54 ha, deux parcelles rectangulaires de $140\text{m} \times 110\text{m}$ (soit 1,8 ha), séparées de 400 m, ont été labourées perpendiculairement à la direction dominante des vents ayant les vitesses les plus élevées. Différentes techniques de labour ont été utilisées dans les deux parcelles pour examiner les flux d'érosion sur des surfaces avec des billons de différents espacements et hauteurs. En 2003, les parcelles ont été labourées avec une charrue à disques et un soc respectivement. Pour l'expérience de 2008, une parcelle a été labourée en utilisant un tiller alors que le soc a été utilisé à nouveau sur l'autre parcelle. En 2009, pour prendre en considération la surface importante couverte par la culture de l'olivier dans le sud tunisien, une expérience additionnelle a été conduite dans l'olivieraie de Chammakh (latitude $33^{\circ}35'40''\text{N}$, longitude $10^{\circ}59'34''\text{E}$) (Figure 1). Chammakh, avec plus de 80000 oliviers, est l'un des plus vastes domaines de culture de l'olivier en Tunisie. Ces oliviers, chacun ayant 3-4 m de hauteur, sont espacés les uns des autres de 24 m dans toutes les directions. La surface du sol est régulièrement labourée avec un tiller pour enlever les mauvaises herbes, aérer le sol et favoriser la pénétration de l'eau par la destruction de la croûte de surface (Labiadh *et al.*, 2013).

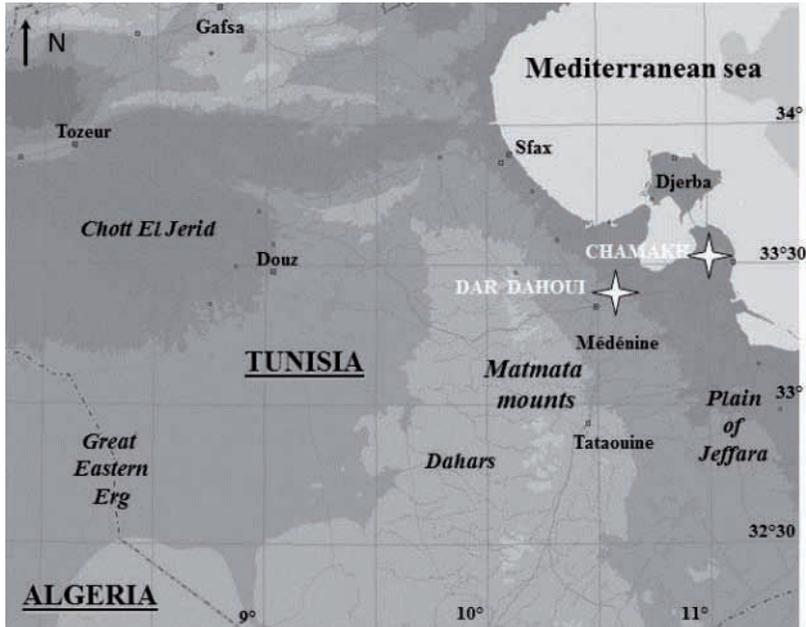


Figure 1 : Localisation des sites expérimentaux dans le sud tunisien

A Dar Dhaoui comme à Chammakh, les sols sont classés comme isohumique subtropical faible en matière organique dans la classification de sol CPCS (1967). Ils peuvent être classés comme cambic ARENOSOL dans la classification FAO. Les échantillons de la surface de sol, chacun composé de 10 sous-échantillons par parcelle, ont montré la présence systématique d'un mode de taille proche ou au dessous de $100\ \mu\text{m}$, c'est-à-dire la gamme de taille des grains nécessitant la plus faible vitesse de vent pour être mobilisée (Iversen *et al.*, 1976). La présence de ce mode indique clairement que ces sols sont fortement sensibles à l'érosion éolienne. Plus encore, les résultats montrent que la distribution des tailles de grain de sol est très similaire entre les parcelles échantillonnées et

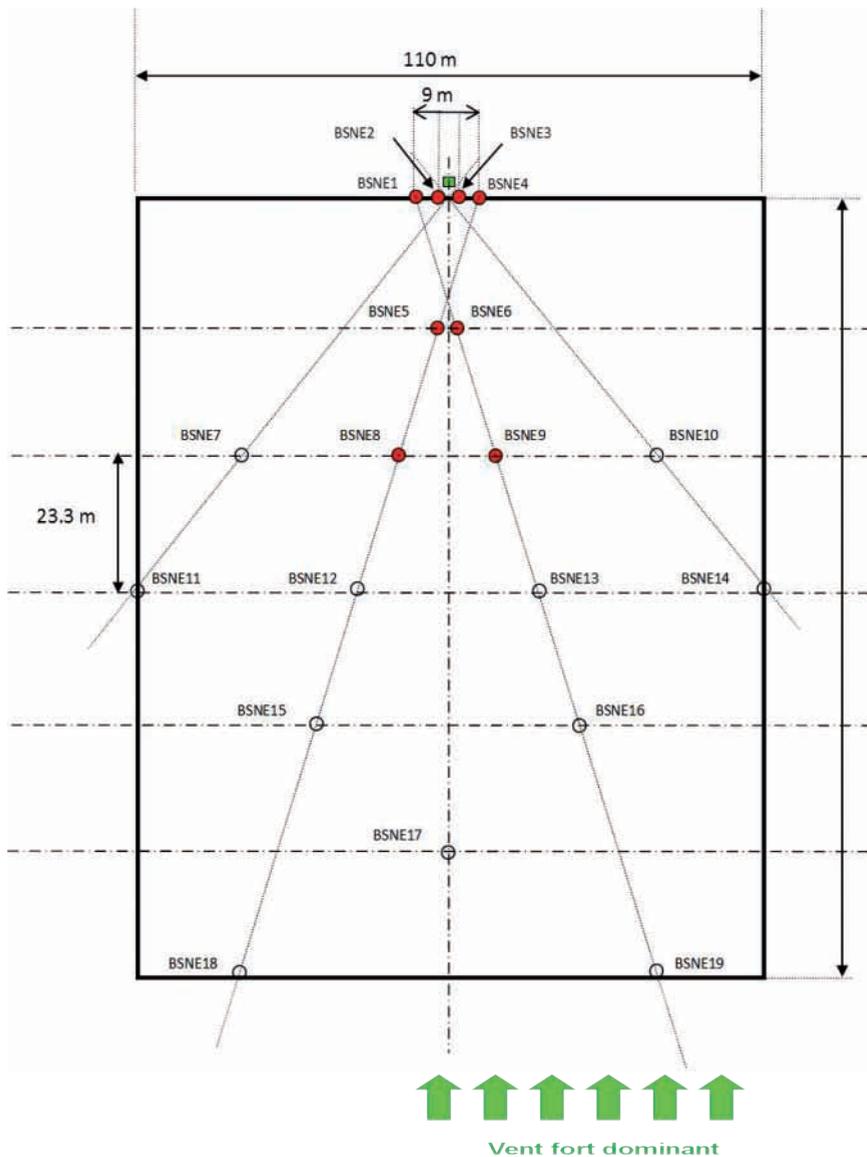
ne peut pas expliquer les différences considérables dans les flux de sable mesurés.

Les mesures des flux d'érosion éolienne et des paramètres micro-météorologiques associés ont été obtenues à l'aide de capteurs installés à différentes hauteurs sur des mâts dédiés. Les flux d'érosion éolienne ont été mesurés en utilisant des pièges à sable type BSNE (Big Spring Number Eight), tels que décrits en détail par Fryrear (1986). Les paramètres micro-météorologiques ont été mesurés à l'aide d'anémomètres, de girouettes et de sondes de température.

L'expérience de 2003 s'est déroulée du 16 janvier au 25 avril. Pour échantillonner les flux d'érosion éolienne lors de chaque événement érosif, chacune

des deux parcelles a été instrumentée avec 35 collecteurs BSNE déployés à différentes hauteurs sur un support à 3 niveaux (pour permettre l'estimation des flux d'érosion par intégration verticale) ou placés individuellement (pour fournir une estimation de la masse de sédiments piégés à une hauteur donnée en fonction de la localisation du collecteur dans le champ). Pour échantillonner les flux d'érosion éolienne correspondant à une couche de saltation stable, 4 séries de 3 collecteurs BSNE ont été montées sur des supports placés à la limite sous le vent de la parcelle face à la direction dominante du vent. Pour s'assurer que la couche de saltation a été bien établie, 4 séries additionnelles de 3 collecteurs

ont été montées sur les supports. Ces huit mini-mâts équipés de trois BSNE ont été destinés à suivre l'évolution du flux en fonction de la hauteur (Figure 2). Sur chaque support, les 3 collecteurs BSNE ont été fixés à 5, 15 et 35 cm au-dessus de la surface de sol. Finalement, 11 collecteurs individuels ont été placés dans les parcelles à différentes distances le long de 5 lignes reliant les centres, les limites des parcelles sous le vent aux autres bords limites (Kardous, 2005). Deux événements érosifs d'une intensité malheureusement relativement faible ont été échantillonnés durant cette campagne de terrain (Labiadh *et al.*, 2013).



Légende

- mini-mât avec 3 BSNE
- mini-mât avec 1 BSNE
- tour météo

Figure 2 : Plan d'implantation des BSNE (Kardous, 2005)

La campagne de 2008 conduite à Dar Dhaoui a eu lieu du 4 mars au 30 mai sur les mêmes parcelles. La méthodologie d'échantillonnage sur le champ a été ajustée pour optimiser le déploiement des collecteurs BSNE d'après l'expérience de la campagne de 2003. En particulier, parce que la campagne de 2003 a indiqué que la longueur des parcelles (140 m) est largement suffisante pour atteindre une couche de salation stabilisée, les collecteurs BSNE ont été installés uniquement à la limite de la parcelle. Cependant, pour améliorer la précision sur les flux de sédiments recherchés, 3 supports à 7 niveaux de BSNE (situés de 7 à 80 cm approximativement au-dessus de la surface moyenne du sol) ont été installés. A part ces changements, la méthodologie utilisée en 2008 a suivi généralement celle de 2003. Cinq événements érosifs ont été échantillonnés durant cette campagne

(Labiadh *et al.*, 2013).

La campagne de terrain de 2009 à Chammakh a eu lieu du 4 au 30 avril. La parcelle instrumentée se trouvant dans un vaste champ d'oliviers, aucun problème de fetch n'est à considérer. Cependant, la sélection des positions des collecteurs de sédiments par rapport à l'emplacement des oliviers a été spécialement étudiée. Afin de prendre en considération le plus possible la configuration du site, 4 supports chacun à 6 niveaux de collecteurs BSNE (situés à des hauteurs allant de 7 à 70 cm) ont été installés comme suit : un au centre d'un carré délimité par 4 oliviers, un devant, un derrière et un à côté (à environ 5 m) de chaque olivier (Figure 3). 8 collecteurs BSNE individuels additionnels ont été placés à 10 cm de hauteur dans 3 lignes divisant transversalement le carré délimité par 4 oliviers (Labiadh *et al.*, 2013).

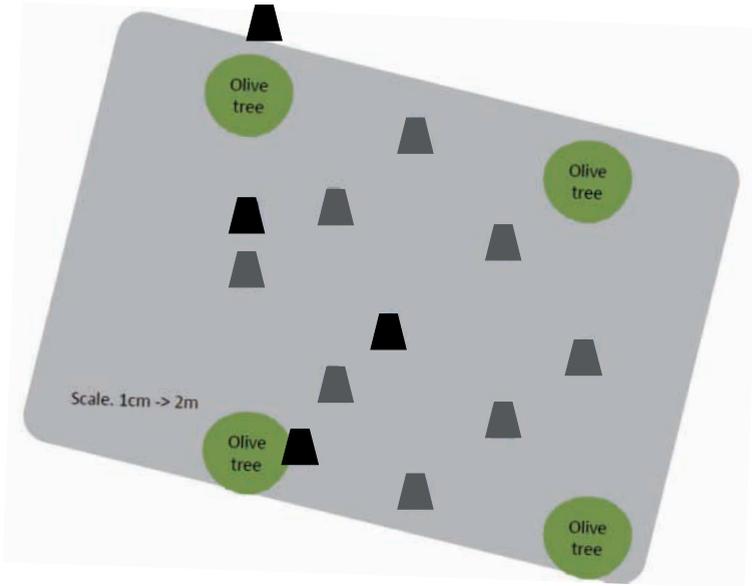


Figure 3 : Plan d'implantation des BSNE durant la campagne de terrain à Chammakh en 2009. Les pots noirs indiquent la position des supports à 6 niveaux de collecteurs BSNE alors que les pots gris indiquent la position des collecteurs BSNE individuels (Labiadh *et al.*, 2013)

Nous avons utilisé la formule proposée par Fryrear and Saleh (1993) pour décrire l'évolution du flux d'érosion q avec la hauteur z (pour plus de détails voir Labiadh *et al.*, 2013).

$$q(z) = a_1 e^{-a_2 z} \quad (3)$$

Avec q en $g\ cm^{-2}$, z en cm , a_1 et a_2 des coefficients d'ajustement dont les unités sont respectivement : $g\ cm^{-2}$ et cm^{-1} .

La relation a été ajustée à chaque point du profil sur lamasse de sédiments mesurée en utilisant la méthode des moindres carrés, puis intégrée verticalement. Des mâts météorologiques ont également été

déployés pour mesurer la vitesse et la direction du vent ainsi que la température de l'air à différentes hauteurs au-dessus de la surface du sol (Figure 4).

Des mesures complémentaires ont été réalisées pour caractériser les propriétés de surface, spécialement les caractéristiques géométriques des billons et la distribution en taille des grains et agrégats du sol (Labiadh *et al.*, 2011 ; Labiadh *et al.*, 2013). En 2003, 2008 et 2009, les caractéristiques géométriques des billons ont été obtenues en utilisant un rugosimètre à aiguilles de 2 m de longueur composé de 400 aiguilles de 60 cm de hauteur chacune et ayant la capacité de se déplacer verticalement. Au

moins 10 profils de 2 m ont été réalisés sur chaque parcelle (Figure 5). Les profils ont été photographiés numériquement et analysés pour déterminer la hauteur et l'espacement médians des billons (Labiadh *et al.*, 2013).



Figure 4 : Mât météorologique installé à Chammakh en 2009 (Labiadh *et al.*, 2013)



Figure 5 : Exemple de mesure des billons à Chammakh en 2009 (Labiadh *et al.*, 2013)

2.3.1. Hauteur de rugosité aérodynamique

Les hauteurs de rugosité aérodynamique obtenues à partir des mesures de profil du vent réalisées sur les différentes surfaces labourées sont comprises entre 5.10^{-3} m à 1.10^{-2} m. Comme nous l'avons supposé, en présence de billons, ces valeurs se situent dans le domaine supérieur des hauteurs de rugosité aérodynamique mesurées sur les surfaces arides et semi-arides du sud de la Tunisie qui varient de 4.10^{-5} m à 7.10^{-2} m (Marticorena *et al.*, 2006). Ces valeurs correspondent bien aussi aux valeurs des hauteurs de rugosité aérodynamique mesurées en soufflerie par Kardous *et al.* (2005a) pour des billons ayant un rapport RH/RS similaire ($Z_0 = 1,38.10^{-2}$, $1,44.10^{-2}$ et $2,1.10^{-2}$ m respectivement pour des rapports RH/RS de 0,21, 0,18 et 0,22).

Cependant, Kardous *et al.* (2005a) ont réalisé leurs mesures dans une soufflerie sur des billons artificiels fabriqués à partir d'un sol mobile sans agrégats ou mottes à la surface. Les billons produits par labour avec la déchaumeuse à socs et le tiller présentent quelques agrégats ou mottes de 1 centimètre de taille qui recouvrent entre 20 et 30% de la surface

du sol. Ces agrégats affectent la hauteur de rugosité de la surface. Cependant, comme déjà mentionné, aucune différence significative n'a été observée entre les hauteurs de rugosité mesurées dans la soufflerie et celles mesurées sur le champ pour des rapports RH/RS similaires. Ceci suggère fortement que, sur une surface labourée, la rugosité induite par la présence des billons prédomine largement sur celle induite par des agrégats de taille centimétrique.

En utilisant l'équation (1) et les mesures des caractéristiques géométriques des billons, nous avons calculé la hauteur de rugosité aérodynamique pour chaque surface labourée. Les résultats de ces calculs ont été reportés dans le tableau 1 : ils indiquent que cette paramétrisation reproduit avec succès l'ordre de grandeur des hauteurs de rugosité aérodynamiques mesurées. Dû à la précision limitée de la détermination expérimentale de Z_0 , il est difficile de comparer au-delà de l'ordre de grandeur les longueurs de rugosité aérodynamique calculées et mesurées. Cependant, les résultats suggèrent que la paramétrisation de Kardous *et al.* (2005a) permet d'estimer cette grandeur à un facteur 2 près.

Tableau 1 : Hauteurs de rugosité aérodynamique (en cm) mesurées et calculées pour les parcelles labourées (source : Labiadh et al., 2013 modifié)

	Soc 2003	Soc 2008	Tiller 2008	Tiller 2009
Z_0 mesurée (moyenne)	0,5	0,58	1,1	0,59
Écart-type	1,8	0,67	0,29	0,26
Nombre d'observations	11	673	252	93
Z_0 calculée (Eq. 1)	1,33	0,9	1,51	1,15
RH/RS	0,22	0,14	0,19	0,17

2.3.2. Mesures des flux en masse sur des surfaces labourées

Le tableau 2 reporte la moyenne et l'écart-type des flux en masse de sédiments pour chaque parcelle et pour chaque événement. La comparaison des flux d'érosion éolienne mesurés simultanément sur les deux parcelles à Dar Dhaoui en 2008 montrent que les flux d'érosion sur la parcelle labourée avec le tiller sont trois à quatre fois plus forts que ceux mesurés simultanément sur la parcelle labourée avec le soc. Même si les conditions de labour associées avec la déchaumeuse à socs sont différentes entre 2003 et 2008, ces résultats suggèrent fortement que, dans des conditions similaires, les flux d'érosion éolienne sont plus faibles quand la déchaumeuse à socs est utilisée, intermédiaires pour le tiller et très importants sur des surfaces labourées avec la déchaumeuse à disques. Parce que la parcelle labourée avec la déchaumeuse à disques peut être considérée comme une surface lisse, ces résultats confirment aussi l'efficacité importante des billons dans la réduction de l'érosion éolienne des sols mobiles.

En terme pratique, ceci montre aussi que la mise en culture d'une surface nouvelle n'accroît pas nécessairement

l'érosion éolienne : si la surface de départ est encroûtée ou végétalisée, la mise en culture augmentera évidemment l'érosion mais si la surface de départ est meuble et lisse, les sillons induits par le labour vont diminuer notablement les flux d'érosion.

Nous avons observé une très faible variabilité spatiale des flux d'érosion mesurés en 2009 sur le champ d'olivier, alors que nous nous attendions à mesurer des flux d'érosion très différents sur cette parcelle selon la position des pièges à sable BSNE vis-à-vis des oliviers. En effet, les mesures de vent réalisées à proximité des oliviers montrent clairement que les vitesses de vent sont significativement affectées par leur présence. En fait, les quatre flux d'érosion mesurés, bien que mesurés à différentes positions par rapport à l'olivier, sont très similaires (18, 22,5, 21,7 et 27,3 g cm⁻¹ événement⁻¹). Ceci pourrait suggérer que les pièges à sable ont échantillonné une couche de saltation bien stabilisée qui n'est que très peu affectée par la proximité des oliviers. Ceci suggère que la couche de saltation nécessite probablement une distance supérieure à celle séparant deux oliviers consécutifs pour sa stabilisation (Labiadh *et al.*, 2013).

Tableau 2 : Flux d'érosion éolienne (g cm^{-1} événement $^{-1}$) mesurés à Dar Dhaoui en 2003 et 2008 et à Chammakh en 2009 pour différents outils de labour (Labiadh et al., 2013)

Evénement	17/03 2003	17/04 2003	23- 24/03 2008	27-28/03 2008	7-8/04 2008	20/04 2008	17- 19/05 2008	11-12/04 2009
Tiller			62,9 (+/- 37)	91,3 (+/- 55)	446 (+/-213)	103 (+/-80)	55,3 (+/- 10)	22,4 (+/- 3,8)
Soc	1,0 (+/- 0,2)	1,6 (+/- 0,4)	21,6 (+/-26)	31,7 (+/-40)	95,2 (+/-111)	7,2 (+/-6,3)	15,6 (+/- 16,6)	
Disque	55,0 (+/- 29)	11,2 (+/-2,2)						

Pour tester la pertinence des flux horizontaux calculés en utilisant les paramétrisations de Kardous *et al.* (2005a ; b), nous avons calculé la vitesse de friction, u_* , en supposant un profil logarithmique classique de la vitesse du vent, u , et une hauteur de rugosité aérodynamique, Z_0 . Le calcul a été fait pour les treize événements érosifs échantillonnés sur les surfaces labourées avec la déchaumeuse à socs et le tiller (tableau 2). Les deux événements érosifs qui ont eu lieu sur la parcelle labourée avec la déchaumeuse à disques en 2003 ont été simulés en utilisant le modèle de Marticorena and Bergametti (1995) en raison de l'absence de billons sur la surface quand le labour avec le disque est achevé.

La figure 6 reporte la comparaison entre les flux horizontaux mesurés et calculés

pour les différents types d'outils de labour utilisés. Les flux horizontaux mesurés se répartissent sur trois ordres de grandeur. On notera que le modèle reproduit avec un certain succès aussi bien les flux d'érosion faibles que les plus intenses, la pente étant proche de 1 (0,99) et le coefficient de corrélation élevé (0,88).

Ces résultats suggèrent que le modèle proposé par Kardous *et al.* (2005a ; b) permet une estimation précise des flux horizontaux de sédiments et ce avec seulement la vitesse du vent et la hauteur et l'espacement des billons comme données d'entrée. Cependant, on notera que les tests de sensibilité réalisés ont indiqué que le modèle était très sensible à la précision à laquelle les caractéristiques des billons sont déterminées. Ainsi, des erreurs de 10% et 5%, respectivement

sur l'espacement et la hauteur des billons conduisent à une incertitude d'un facteur 2 sur les flux horizontaux simulés. En raison de l'important domaine de variation des flux horizontaux mesurés

(3 ordres de grandeur), ces incertitudes restent acceptables si la détermination des caractéristiques géométriques des billons est correctement réalisée.

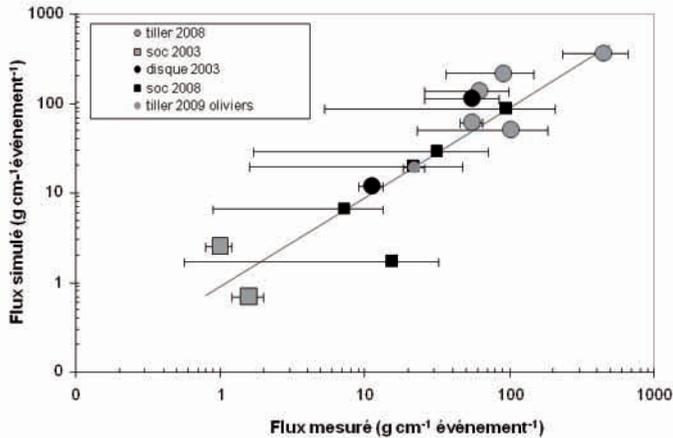


Figure 6 : Comparaison entre les flux horizontaux (en $\text{g cm}^{-1} \text{événement}^{-1}$) mesurés et simulés pour différents types de surfaces labourées (Labiadh et al., 2013)

3. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Quinze mesures de flux d'érosion éolienne ont été obtenues en utilisant des pièges à sable de type BSNE durant 3 campagnes de terrain conduites dans le sud de la Tunisie durant la saison des vents forts (printemps). Ces mesures ont été conduites sur des parcelles labourées avec différents outils de labour (déchaumeuse à socs, tiller, déchaumeuse à disques) afin d'estimer les flux d'érosion éolienne sur ces différents types de surfaces labourées.

Les résultats montrent que les flux d'érosion éolienne mesurés sont d'environ un ordre de grandeur supérieur sur les surfaces labourées par la déchaumeuse à disques comparativement à ceux mesurés sur la parcelle labourée avec la déchaumeuse à socs. Les flux mesurés sur les surfaces labourées avec le tiller sont intermédiaires, avec des flux d'érosion excédant ceux mesurés sur les surfaces labourées avec la déchaumeuse à socs d'un facteur 4. Ces résultats suggèrent fortement que les

nouvelles techniques de labour comme la déchaumeuse à disques augmentent significativement l'érosion éolienne sur les sols sablonneux. Ils suggèrent aussi que les outils traditionnels comme la déchaumeuse à socs sont vraisemblablement les outils qui conviennent le mieux au labour dans les régions agricoles arides du sud de la Tunisie en terme de préservation des sols.

Ces résultats ont été aussi utilisés pour évaluer la paramétrisation proposée par Kardous *et al.* (2005a ; b) pour simuler les flux de sédiments horizontaux produits par le vent sur les surfaces labourées. Cette paramétrisation est attractive parce qu'elle permet le calcul des flux d'érosion éolienne en documentant uniquement la vitesse du vent à une hauteur donnée et les caractéristiques géométriques des billons (hauteur et espacement). Les comparaisons entre les flux calculés en utilisant cette paramétrisation et les flux d'érosion mesurés indiquent que cette paramétrisation, malgré sa simplicité, reproduit bien les mesures, quel que soit le type de surfaces aussi bien pour des événements d'érosion de faible que de forte intensité. Son utilisation dans différentes applications (estimation de l'érosion locale, modélisation des émissions d'aérosol, conception des outils de labour, etc.) peut, par conséquent, être envisagée. Cependant, des tests ont indiqué que la paramétrisation est sensible à la précision à laquelle les caractéristiques géométriques des billons sont déterminées, indiquant que,

pour chaque application, une attention particulière devra être portée à ce point.

Par ailleurs, malgré sa nature empirique, cette paramétrisation devrait être utile pour l'estimation des émissions en aérosols minéraux à partir des surfaces agricoles dans les modèles de transport des aérosols à grande échelle, en particulier pour les simulations concentrées sur l'estimation de la contribution relative des surfaces anthropisées dans les émissions totales des aérosols minéraux (par exemple voir Mahowald *et al.*, 2006 ; Tegen *et al.*, 2004).

La seconde étape de ce travail visera donc à appliquer ces outils de modélisation à l'échelle régionale en vue de dresser un bilan représentatif de ces phénomènes pour le sud tunisien. Une approche combinant expériences sur parcelles et modélisation a donc été mise en œuvre pour évaluer comment les modifications d'usage des terres (mise en culture, changement de pratiques agricoles) dans le sud tunisien (considéré comme un cas d'étude représentatif des zones arides nord africaines cultivées) se répercutent sur l'érosion des sols sous l'action du vent.

REMERCIEMENTS

Ce travail fait partie du programme de coopération bilatérale France-Tunisie PHC (Partenariat Hubert Curien) UTIQUE. Ce travail a également bénéficié d'un soutien du programme national français EC2CO (Ecosphère Continentale et Côtière) de l'INSU/CNRS (Institut National des Sciences

de l'Univers/Centre National de la Recherche Scientifique). Les auteurs souhaitent également remercier l'Institut de l'Olivier de Zarzis (Tunisie) et l'Office des Terres Domaniales de Chammakh, en particulier Mr. Mokhtar Lekhwildi pour son aide durant la campagne expérimentale de 2009.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bergametti, G., Remoudaki, E., Losno, R., Steiner, E., Chatenet, B., and Buat-Ménard, P., 1992. Sources, transport and deposition of atmospheric phosphorus over the Northwestern Mediterranean. *J. Atmos. Chem.*, 14, 501-513.
- Chahbani, B., 1992. Dynamique des phénomènes éoliens et techniques anti-érosives dans les régions prédésertiques de la Tunisie, Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université de Gent, 180 pp.
- Chen, W., 1991. Wind tunnel simulation on loessal soil erosion by wind (in Chinese with English abstract). *Acta Water and Soil Conservatia Sinica*, 5, 105-108.
- Comis, D., and Gerriets, M., 1994. Stemming wind erosion. *Agric. Res.*, 42, 8-15.
- FAO-UNESCO, 2003. Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties on CD-Rom. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/dsmw.htm>
- Fryrear, D. W., 1984. Soil ridge-clods and wind erosion. *T. ASABE*, 27, 445-448.
- Fryrear, D.W., 1986. A field dust sampler. *J. Soil Water Conserv.*, 41, 117-120.
- Fryrear, D.W., and Saleh, A., 1993. Field wind erosion: vertical distribution. *Soil Sci.*, 155, 294-300.
- Hagen, L.J., 1991. Wind erosion mechanics: abrasion of aggregated soil. *T. ASAE.*, 34, 831-837.
- Hagen, L.J., and Armbrust, D.V., 1992. Aerodynamic roughness and saltation trapping efficiency of tillage ridges. *T. ASAE*, 35, 1179-1184.
- Hagen, L.J., 2001. Assessment of wind erosion parameters using wind tunnels. In *Sustaining the Global Farm*, Stott, D.E., Mohtar, R.H., and Steinhardt, G.C., Eds., Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 742-746.
- Iversen, J.D., Pollack, J.B., Greeley, R., and White B.R., 1976. Saltation threshold on Mars: The effect on interparticle force, surface roughness, and low atmospheric density, *Icarus*, 29, 381-393.
- Kardous, M. 2005. Quantification de l'érosion éolienne dans les zones arides tunisiennes : approche expérimentale et modélisation. Thèse de Doctorat en Physique

de l'Environnement, Université Paris 12 – Val de Marne, 298 pp.

- Kardous, M., Bergametti, G., and Marticorena, B., 2005a. Aerodynamic roughness length related to non-aggregated tillage ridges. *Ann. Geophys.*, 23, 3187-3193.
- Kardous, M., Bergametti, G., and Marticorena, B., 2005b. Wind tunnel experiments on the effects of tillage ridge features on wind erosion horizontal fluxes. *Ann. Geophys.*, 23, 3195-3206.
- Khatteli, H., 1981. Recherches stationnelles sur la désertification dans la Djeffara (Tunisie). Dynamique de l'érosion éolienne. Thèse de 3^{ème} cycle (Géomorphologie), Université Paris I, 207pp.
- Khatteli, H., 1996. Erosion éolienne en Tunisie aride et désertique, Analyse des processus et recherches des moyens de lutte. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques Appliquées, PhD, Université de Gent, 180 pp.
- Labiadh, M., Bergametti, G., Attoui, B., and Sekrafi, S., 2011. Particle size distributions of South Tunisian soils erodible by wind. *Geodin. Acta*, 24, 39-49.
- Labiadh, M., Bergametti, G., Kardous, M., Perrier, S., Grand, N., Attoui, B., Sekrafi, S., and Marticorena, B., 2013. Soil erosion by wind over tilled surfaces in South Tunisia. *Geoderma*, 202-203, 8-17.
- Lal, R., 1990. Soil erosion and land degradation: the global risks. In *Advances in Soil Science*, Lal, R. and Stewart, B.A., Eds., 11,129-172.
- Larney, F. J., Bullock, M. S., Janzen, H. H., Ellert, B. H., and Olson, E. C. S., 1998. Wind erosion effects on nutrient redistribution and soil productivity. *J. Soil Water Conserv.*, 53, 133-140.
- Laurent, B., Marticorena, B., Bergametti, G., Chazette, P., Maignan, F., and Schmechtig, C., 2005. Simulation of the mineral dust emission frequencies from desert areas of China and Mongolia using an aerodynamic roughness length map derived from the POLDER/ADEOS-1 surface products. *J. Geophys. Res.*, 110, D18S04, doi:10.1029/2004JD005013.
- Laurent, B., Marticorena, B., Bergametti, G., Léon, J.-F., and Mahowald, N.M., 2008. Modeling mineral dust emissions from the Sahara desert using new surface properties and soil database. *J. Geophys. Res.*, 113, D14218, doi:10.1029/2007JD009484.
- Lettau, K., and Lettau, H.H., 1978. Experimental and micro-meteorological field studies of dune migration. In *Exploring the World's Driest Climate*, Lettau, H.H., and Lettau K., Eds., University of Wisconsin-Madison, Institute for Environmental Studies, IES Report 101, 110-147.
- Liu, X., Wang, J., and Christopher, S.A., 2003. Shortwave direct radiative forcing of Saharan dust aerosols over the Atlantic Ocean. *Int. J. Remote Sens.*, 24, 5147-

5160.

- Lyles, L., 1975. Possible effects of wind erosion on soil productivity. *J. Soil Water Conserv.*, 30, 279-283.
- Mahowald, N.M., Baker, A.R., Bergametti, G., Brooks, N., Duce, R.A., Jickells, T.D., Kubilay, N., Prospero, J.M., and Tegen, I., 2005. Atmospheric global dust cycle and iron inputs to the ocean. *Global Biogeochem. Cy.*, 19, GB4025, doi:10.1029/2004GB002402.
- Mahowald, N.M., Muhs, D.R., Levis, S., Rasch, P.J., Yoshioka, M., Zender, C.S., and Luo, C., 2006. Change in atmospheric mineral aerosols in response to climate: last glacial period, preindustrial, modern, and doubled carbon dioxide climates. *J. Geophys. Res.*, 111, D10202, doi:10.1029/2005JD006653.
- Marticorena, B., and Bergametti, G., 1995. Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. *J. Geophys. Res.*, 100(D8), 16415-16430.
- Marticorena, B., Bergametti, G., Aumont, B., Callot, Y., N'Doumé, C., and Legrand, M., 1997a. Modeling the atmospheric dust cycle: 2-Simulations of Saharan dust sources. *J. Geophys. Res.*, 102(D4), 4387-4404.
- Marticorena, B., Bergametti, G., Gillette, D.A., and Belnap, J., 1997b. Factors controlling threshold friction velocities in semi-arid areas of the United States. *J. Geophys. Res.*, 102(D19), 23277-23288.
- Marticorena, B., Kardous, M., Bergametti, G., Callot, Y., Chazette, P., Khatelli, H., Le Hégarat-Masclé, S., Maillé, M., Rajot, J.L., Vidal-Madjar, D., and Zribi, M., 2006. Surface and aerodynamic roughness in arid and semiarid areas and their relation to radar backscatter coefficient. *J. Geophys. Res.*, 111, F03017, doi:10.1029/2006JF000462.
- Middleton, N., and Thomas, D., 1997. *World Atlas of Desertification*. Published for UNEP by Arnold Publ., 2nd Edition, London, 182 pp.
- Middleton, N.J., and Goudie, A.S., 2001. Saharan dust: sources and trajectories. *T. I. Brit. Geogr.*, 26, 165-181.
- Saleh, A., Fryrear, D.W., and Bilbro, J.D., 1997. Aerodynamic roughness prediction from soil surface roughness measurement. *Soil Sci.*, 162, 205-210.
- Shao, Y., 2008. *Physics and Modelling of Wind Erosion*, 2nd ed. Springer-Verlag, Heidelberg, 452 pp.
- Sokolik, I.N., Winker, D.M., Bergametti, G., Gillette, D.A., Carmichael, G., Kaufman, Y.J., Gomes, L., Schütz, L., and Penner, J.E., 2001. Outstanding problems in quantifying the radiative impact of mineral dust. *J. Geophys. Res.*, 106(D16),

18015-18027.

- Swap, R., Garstang, M., Greco, S., Talbot, R., and Kållberg, P., 1992. Saharan dust in the Amazon basin. *TellusB*, 44, 133-149.
- Talbi, M., 1993. Contribution à l'étude de la désertification par télédétection dans la plaine de la Jeffara du Sud-Est tunisien. Thèse de doctorat en Géographie, Université de Tunis, 305 pp.
- Tegen, I., Werner, M., Harrison, S.P., and Kohfeld, K.E., 2004. Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil emissions. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L05105, doi:10.1029/2003GL019216.
- Visser, S.M., Stroosnijder, L., and Chardon, W.J., 2005. Nutrient losses by wind and water, measurements and modelling. *Catena*, 63, 1-22.
- White, B.R., 1979. Soil transport by winds on Mars. *J. Geophys. Res.*, 84(B9), 4643-4651.
- Zachar, D., 1982. Soil erosion. *Developments in Soil Science*, 10, 3-547.
- Zobeck, T.M., and Fryrear, D.W., 1986. Chemical and physical characteristics of wind-blown sediment. II Chemical characteristics and total soil nutrient discharge. *T. ASAE*, 29, 1037-1041.

ISSN 0330 - 7956



REVUE DES RÉGIONS ARIDES

Editée par l'Institut des Régions Arides - Médenine - TUNISIE

Numéro Spécial

Actes du colloque international

« Erosion éolienne dans les régions arides et semi-arides africaines :
processus physiques, métrologie et techniques de lutte »

Djerba (Tunisie),
12 - 14 novembre 2013

36 (1/2015)

Mars 2015

Actes du colloque international Erosion éolienne dans les régions arides et semi-arides africaines : processus physiques, métrologie et techniques de lutte

Djerba, 12 - 14 novembre 2013

Editeurs scientifiques :

Adamou ABDOURHAMANE TOURE,

Gilles BERGAMETTI,

Charles BIELDERS,

Christel BOUET,

Yann CALLOT,

Sylvain DUPONT,

Houcine KHATTELI,

Mohamed Taieb LABIADH,

Béatrice MARTICORENA,

Jean Louis RAJOT,

Christian VALENTIN

Ce colloque a été soutenu par :

l'Institut des Régions Arides de Médenine, l'Institut de Recherche pour le Développement, l'Université Paris Est Créteil, l'Institut Français de Tunisie et l'Agence Universitaire de la Francophonie



SOMMAIRE

INTRODUCTION.....7

SESSION 1 : Mesure et suivi de l'activité éolienne

Genèse et dynamique sédimentaire des dépôts désertiques de la région de Nefzaoua (sud-ouest de la Tunisie); *Mohamed OUAJA, Nahed SLIMANE et Amna KHILA.....13*

Quantification de la dynamique éolienne des dépôts de la laverie minière de Hammam Zriba (Zaghouan, Tunisie); *Oula AMROUNI, Thouraya BEN MOUSSA et Sâadi ADBDELJAOUAD.....24*

Érosion éolienne et risques morphogéniques dans le Sahel sénégalais; *Boubou Aldiouma SY.....45*

Apports de la géoarchéologie à l'étude de l'érosion éolienne dans la dépression de Kharga (Egypte); *Maël CRÉPY et Yann CALLOT.....71*

Les vents dans le sud tunisien : analyse fréquentielle et déplacements potentiels du sable; *Afef RADDADI, Noomene FEHRI et Amor Mokhtar GAMMAR.....95*

SESSION 2 : Simulations expérimentale et numérique pour la quantification de l'érosion éolienne à l'échelle régionale pour le contexte actuel et des scénarii futurs

Limitation de l'érosion éolienne dans le cas de mélanges de grains du sol de tailles érodable et non érodable; *Mouldi KARDOUS, Gilles BERGAMETTI et Béatrice MARTICORENA.....109*

Vers une quantification de l'érosion éolienne des sols labourés dans le sud tunisien; *Mohamed Taieb LABIADH, Gilles BERGAMETTI, Christel BOUET, Houcine KHATTELI et Mounir ABICHOU.....129*

Quantification de l'érosion éolienne dans le sud tunisien; *Christel BOUET, Mohamed Taieb LABIADH Gilles BERGAMETTI, Badie ATTOUI, Benoît LAURENT, Béatrice MARTICORENA, Jean Louis RAJOT et Houcine KHATTELI.....151*

Modélisation pluriannuelle des émissions éoliennes de particules terrigènes en région semi-aride sahélienne, *Caroline PIERRE, Gilles BERGAMETTI, Béatrice MARTICORENA, Christel BOUET, Catherine SCHMECHTIG et Eric MOUGIN*.....173

SESSION 3 : Techniques de lutte contre l'érosion éolienne

Impacts des extensions oléicoles sur l'amplification de l'érosion éolienne dans le sud tunisien et certaines mesures de lutte préventive; *Mounir ABICHOU et Mohamed LABIADH*.....193

Lutte biologique contre les accumulations sableuses dans la Tunisie Aride; *Taher ABDELKEBIR et Ali FERCHICHI*.....209

Évaluation d'un projet de fixation de dunes dans une steppe sud-algéroise : Moyen de lutte contre l'ensablement et amélioration de la productivité pastorale; *Ala-Eddine ADAMOUC, Mohamed KOUIDRI, Ahmed BOUTMEDJET, Zohra HOUYOU et Mohamed Laid OUAKID*.....221

Étude des effets de l'application de boues d'épuration urbaines sur un sol érodé cultivé dans la région de Laghouat; *Ahmed BOUTMEDJET, Nacira BOUKAYA, Zohra HOUYOU, Mohamed Laid OUAKID et Charles BIELDERS*.....235

Techniques to Control Wind Erosion in Libya; *Bashir NWER*.....247