

FLUX ÉOLIEN ET DYNAMIQUE DES FRONTS DUNAIRES DANS LE MANGA, SUD-EST DU NIGER

**Adamou Didier TIDJANI^{1*}, Amadou ABDOURHAMANE TOURE²,
Jean Louis RAJOT^{3,4}, Béatrice MARTICORENA⁴,
Charles Louis BIELDERS⁵ et Christel BOUET^{3,4}**

¹ *Université Abdou Moumouni de Niamey Faculté d'Agronomie*

² *Université Abdou Moumouni de Niamey Faculté de sciences et techniques,
Département de Géologie, BP 10662, Niger*

³ *iEES-Paris UMR IRD 242, CNRS, UPMC, UPEC, INRA, France*

⁴ *LISA, UMR CNRS 7583, UPEC, UPD, IPSL, Créteil, France*

⁵ *Université Catholique de Louvain, Belgique*

* Correspondance, e-mail : doudu2000@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Dans le Manga (Sud-est du Niger), l'un des effets de la pression anthropique et de la variation climatique se traduit la disparition de la végétation qui a pour principale conséquence la mobilisation du sable dunaire. L'objectif de ce travail est de caractériser l'érosion éolienne au niveau des dunes vives. Spécifiquement, il s'agit de i) mesurer le flux d'érosion éolienne sur les dunes vives et ii) déterminer les vitesses et les périodes optimales de déplacement de ces dunes. La méthodologie utilisée a consisté baliser dans le sens de l'avancée des fronts dunaires avec les piquets en fer 22 dunes répartie au sud du 14^e parallèle, à installer une station météorologique automatique et des capteurs de sédiments de type BNSE sur le flanc et au sommet de la dune vive. Les résultats obtenus montrent que l'érosion éolienne est fonction de la vitesse du vent dont les phases de vents extrêmes s'observent avec le passage des tempêtes convectives des débuts de la saison des pluies. Le reste du temps, les vents restent inférieurs à 10 m / s mais régulier. Les fronts dunaires dépourvus de système de fixation sont les plus mobiles. La vitesse moyenne de l'avancée de leurs fronts a été de $5,60 \pm 2,02$ m / an. La mesure des flux éoliens montre que l'érosion se produit sur les dunes vives toute l'année du fait de l'existence des vents très souvent largement au-dessus de la vitesse seuil d'érosion. Elle connaît, cependant, une baisse d'intensité entre août et octobre. Le flux d'érosion mesuré au sommet de la dune vive a atteint en moyenne 1,61 fois ($\pm 0,6$) celui mesuré sur le flanc durant la saison des pluies. Cependant, au

cours de la saison sèche, le flux mesuré au sommet des dunes a été inférieur à celui mesuré sur le flanc d'en moyenne 3,7 (\pm 4,8) fois. La variabilité spatiale et temporelle montre ainsi la complexité de l'appréhension de la dynamique des dunes vives dans le Manga.

Mots-clés : *érosion éolienne, dune vive, Manga, Niger.*

ABSTRACT

Wind erosion flux and dune front dynamic in Manga, SE Niger

Anthropic and climate changes reduced the vegetation cover and induced dunes movement in South-east of Niger. This work aimed to characterize wind erosion on moving dunes of the Manga in Niger. Specially, it aimed to measure wind erosion flux and to determine the velocity of the dunes fronts dynamics and the optimal period of their movement. Thus, an automatic meteorological station is installed in the village of Kilakina to direction and velocity of wind and rainfall. Metallic pickets have been installed in front of 22 dunes to measure their dynamics. And 3 masts of BSNE sand catcher have been installed to characterize wind erosion horizontal flux. The results show that wind erosion flux is maximal at the beginning of the rainy season while wind speeds are high. Dunes front without fixation device are more mobile. On their surfaces wind erosion happened all the year because of wind speed is regularly superior to the threshold velocity. Indeed, wind erosion flux present spatial and temporal variability which make complex the comprehension of their dynamics.

Keywords : *wind erosion, moving dune, Manga, Niger.*

I - INTRODUCTION

Au Sud-Est du Niger, les activités des populations sont essentiellement dominées par les pratiques agricoles (pluviales et maraichères), et par l'élevage [1]. Elles sont développées sur des plateaux dunaires (pâturages et cultures pluviales), dans des bas-fonds (cultures pluviales) et des cuvettes (maraichage, cultures pluviales). L'évolution actuelle de ces paysages est caractérisée par une désertification de plus en plus poussée et par une accentuation de l'érosion éolienne des terres [1 - 3]. Cette érosion est amplifiée par une incessante pression anthropique exercée sur des ressources en sol initialement fragiles [4 - 6]. L'anthropisation croissante se manifeste par une dévégétalisation importante, causée entre-autres par une intensification du pâturage, qui conduit à une réactivation des systèmes dunaires fixés qui

deviennent mobiles [9] et qui se traduit par une augmentation des zones de sol nu bien documentée entre 1975 et 2005 [8, 9]. Parallèlement, les sols à forte productivité agricole (sols des cuvettes et des bas-fonds) ont perdu 26 % de leur surface en 20 ans par ensablement [10]. Les études réalisées au sud-ouest du Niger, sous 500 mm de pluies annuelles, attestent que l'érosion éolienne se produit essentiellement sur les surfaces cultivées du fait de leur faible protection par la végétation comparativement aux jachères [11 - 13]. De la même façon, au Sud-est, sous 150 à 300 mm de pluie par an, [14] a souligné que les pâtures constituent des zones de déflation potentielles, surtout pour les périodes où la couverture herbacée du sol est faible et au moment des forts coups de vent observés lors du passage des lignes de grains. Cependant, sur les dunes vives du SE Niger, il n'existe pas de mesure quantitative de l'érosion éolienne. Ces dunes vives causent, pourtant, de nombreux problèmes environnementaux et socio-économiques. Elles ensevelissent, en effet, les cultures, les pâtures, les points d'eau et les infrastructures [10]. Ainsi, pour protéger ces biens, des fixations mécanique et biologique de dunes ont été entreprises dans plusieurs localités du SE Niger. Cependant, un préalable à ces actions mécaniques aurait été une bonne caractérisation de la dynamique ces dunes vives emprises aux vents. L'objectif de ce travail a été donc de caractériser l'érosion éolienne sur ces dunes vives. Spécifiquement, il s'agit de i) mesurer le flux d'érosion éolienne sur les dunes vives et ii) déterminer les vitesses et les périodes optimales de déplacement de ces dunes.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Site de l'étude

Les flux d'érosion éolienne et les paramètres météorologiques ont été effectuées à la station de mesure de Kilakina (13,72°N, 10,75°E) tandis que la dynamique des fronts des dunes ont été effectuées dans 22 sites réparties dans les départements de Gouré et Maïné-soroa au sud-est du Niger. (*Figure 1*). La densité est de 4,14 habitants par km² et le taux d'accroissement dans la zone est de 4,7 % (3,9 % pour le Niger). Cette population est rurale, et dépend principalement de l'agriculture et de l'élevage. Ces activités sont supportées essentiellement par des sols sableux dunaires et sont fortement influencées par le climat. Ce dernier est de type sahélien avec une longue saison sèche (Octobre à Mai) et une courte saison des pluies (Juin à Septembre) centrée autour du mois d'Août. La pluie annuelle moyenne est de l'ordre de 250 mm. Cependant, depuis le début des années 1970, la zone a connu des sécheresses sévères [15] qui ont accru les processus de désertifications avec l'apparition ou la réactivation de dunes vives sous forme d'auréole autour des villages, des points d'eau et / ou à la place d'anciennes surfaces cultivées [1].

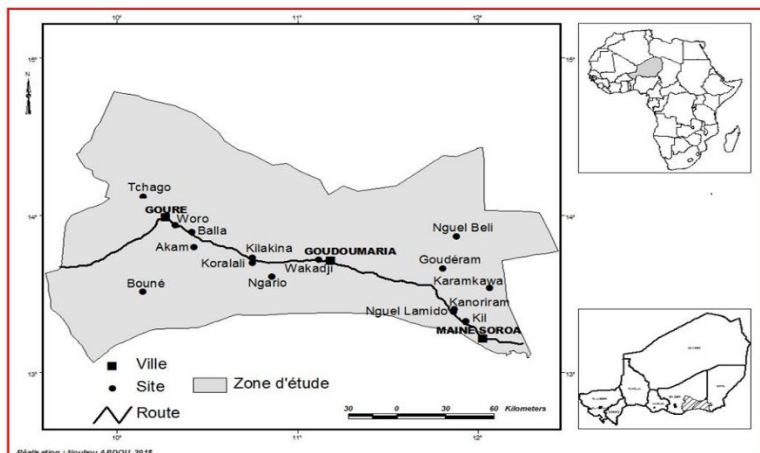


Figure 1 : Localisation des stations de mesure. Les capteurs de sédiments et la station météorologique sont localisés à Kilakina. Le déplacement des dunes a été suivi sur 22 sites

II-2. Météorologie : vitesse, direction du vent et pluviométrie

La vitesse du vent est mesurée par un anémomètre placée à 250 cm du sol. Ce paramètre est mesuré toutes les 10 secondes mais seules les vitesses moyenne et maximale sur 5 minutes ont été stockées dans la centrale d'acquisition (Campbell CR1000 ©). Un pluviographe à auget basculeur (0,2 mm de résolution) et un pluviomètre à lecture directe ont été installés à la station de mesure de flux tandis qu'un pluviomètre totaliseur mesure la pluie dans le village de Kilakina.

II-2-1. Les mesures du flux horizontal

La mesure du flux a été faite à Kilakina grâce à l'utilisation de pièges à sable de type BSNE (Big Spring Number Eight ; efficacité = 1, [16]) montés sur des mâts. Chaque mât supporte 3 BSNE installés à 10, 25 et 35 cm du sol. Un mât est installé sur le flanc de la dune vive et le second mât est installé à son sommet. Les sédiments piégés dans les BSNE sont collectés sur des intervalles de un à deux mois ou après chaque intense événement érosif. Ces sédiments sont ensuite séchés et pesés. Une densité de flux est déterminée à chaque BSNE. Le flux horizontal qui caractérise l'intensité de l'érosion sur un intervalle de temps est calculé en intégrant sur la hauteur de saltation (40 cm) une courbe théorique exponentielle ajustée sur les valeurs de densité de flux [11, 13, 17 - 21].

II-2-2. Dynamique des fronts dunaires

Le dispositif de suivi de l'ensablement est mis en place en Mai 2011 et les mesures d'avancée du front dunaire sont effectuées en Mai 2012 et 2013 au niveau de trois types de front dunaire. Il s'agit des fronts de dunes fixés avec la végétation naturelle, des fronts de dunes fixés artificiellement par des haies mortes, et des dunes sans dispositifs de fixation (**Figure 2**). La technique utilisée est purement physique et se base sur la variation de la topographie en un point donné. En effet, des piquets en fer longs de 150 cm ont été fixés à la lisière du front de dunes. La variation de la distance entre le piquet et la lisière du front dunaire mesure la vitesse de l'ensablement entre deux dates (**Figure 2**).



Mesure de la progression des fronts de dunes



Front de dune sans dispositifs de fixation



Front de dune fixé par des rachis de palmier doum



Front de dune fixé par la végétation naturelle

Figure 2 : *Mesure de l'avancée des fronts dunaires et types de fronts dunaires suivis*

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Pluviométrie et vitesse des vents

La pluviométrie a connu une grande variabilité interannuelle (**Figure 3**). En effet, sur quatre saisons des pluies, les cumuls maximal et minimal enregistrés ont été de 413 mm et 210 mm respectivement en 2012 et 2014. Cette variabilité induit généralement une variabilité de la production de biomasse facteur important de la rugosité de surface [8]. Par ailleurs, la variabilité temporelle de la pluie définit les phases de vents extrêmes (**Figure 3**). En effet, durant la première partie de la saison sèche (Octobre - Février), l'intensité maximale des vents a été faible et régulièrement en deçà de 10 m.s^{-1} (**Figure 3**). En fin de cette saison (Mars - Mai), une augmentation de la vitesse du vent a été observée avec des pics qui atteignent 17 m.s^{-1} . Les vitesses de vent ont dépassé, cependant, régulièrement, 12 m.s^{-1} durant la saison des pluies (Mai - Septembre). Les plus fortes vitesses maximales (15 voire près de 30 m s^{-1}) ont été, particulièrement, enregistrées au début de cette saison des pluies (Juin - Juillet). Ces vents forts sont systématiquement associés aux événements convectifs qui génèrent l'essentiel des pluies au Sahel. Il apparait, ainsi, que les vitesses de vent max ont régulièrement été au-dessus de la vitesse seuil d'érosion déterminée sur les surfaces sableuses nues ($5,8 \text{ m / s}$) du Sud - Ouest du Niger [13].

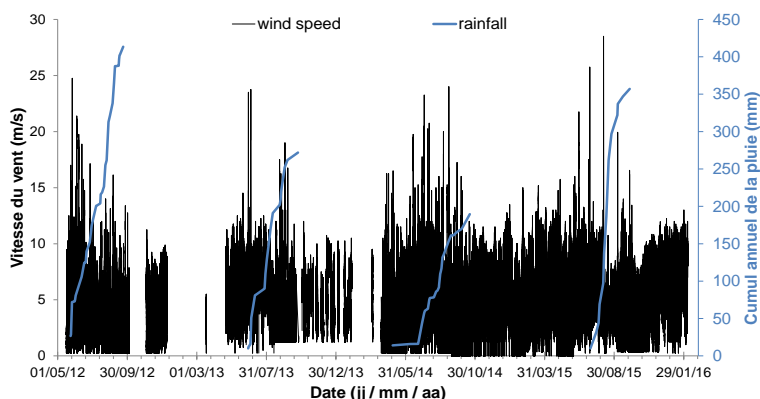


Figure 3 : Pluies annuelles cumulées et vitesses maximales de vent sur 5 minutes mesurées à Kilakina

III-1-1. Dynamique de l'érosion éolienne sur les dunes vives

III-1-1-1. Dynamique des fronts dunaires

La dynamique des fronts dunaires a connu une grande variabilité (**Figure 4**). Les fronts dunaires dépourvus de système de fixation sont les plus mobiles. La

vitesse moyenne de l'avancée de leurs fronts a été de $5,60 \pm 2,02$ m / an. Les fronts dunaires fixés artificiellement avec des haies mortes de rachis de palmier doum ou de branchage de *Leptadenia pyrotechnica*, ou parfois par la végétation naturelle ont atteint des vitesses moyennes d'ensablement de $1,61 \pm 0,92$ m / an tandis que les dunes fixées par la végétation naturelle sont stables. Ces vitesses d'ensablement, bien que fortes, sont en déca des vitesses des fronts des barkhanes marocaines situées en pleine Sahara [22] et des dunes du littoral malgache [23] qui atteignent toutes deux près de 15 m / an. Cependant, la vitesse des fronts des dunes sans dispositifs de fixation, suffirait pour ensevelir le centre d'une cuvette de 3 Ha en dix ans avec la même cadence d'avancée. Ces fronts dunaires avancent dans l'absolu dans la même direction que les vents d'harmattan. Cependant cette direction n'est que la résultante de l'action des principaux vents saisonniers (tempêtes convectives, harmattan et mousson) qui sévit au Sahel.

La variabilité des vitesses d'ensablement liée aux fronts des dunes sans dispositif de fixation et ceux fixées artificiellement pourrait s'expliquer par la longueur du côté au vent et l'état de la surface de la dune. En effet, le flux de sédiments augmente avec la distance [21], une longueur importante du côté au vent offrirait alors une plus grande distance d'érosion et de transport des sédiments vers le front dunaire qui avancerait rapidement en direction du Sud - Ouest. Aussi, pour les dunes fixées artificiellement, un maillage très ouvert et une porosité importante des haies conduirait à une moins bonne fixation, ce qui pourrait engendrer un déplacement accéléré du front dunaire via les ouvertures des claies. L'efficacité optimale de fixation des fronts dunaires a été observée au niveau des dunes fixées par la végétation naturelle où les fronts ont été stabilisés. La lutte efficace de l'ensablement lié au déplacement des dunes vives passe par une fixation artificielle suivie d'une végétalisation des fronts dunaires qui stabiliserait de façon définitive l'édifice dunaire.

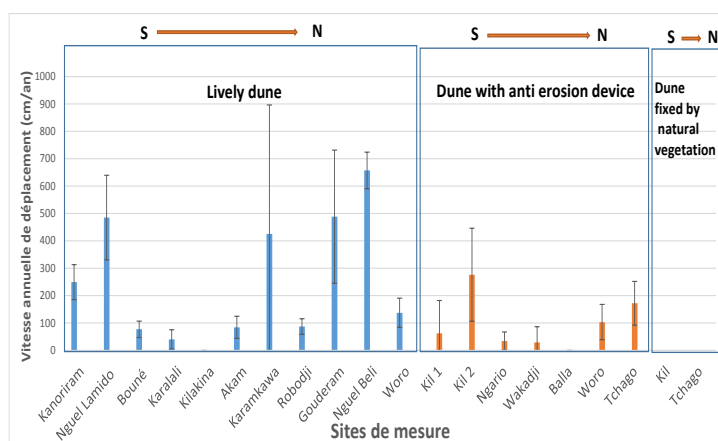


Figure 4 : Vitesse de progression des fronts dunaires et positions relatives des sites dans le système oasien (Niger - Est)

III-1-1-2. Le flux d'érosion éolienne

Le flux de l'érosion éolienne a connu une variabilité temporelle (**Figure 5**). Cette variabilité est différente de celle décrite sur les surfaces sahéliennes [8, 11 - 13, 24]. En effet, il est apparu que l'érosion se produit sur les dunes vives toute l'année du fait de l'existence des vents très souvent largement au-dessus de la vitesse seuil (Figures 3, 5). Elle connaît, cependant, une baisse d'intensité entre Août et Octobre (**Figure 5**). Cette variabilité est aussi spatiale (**Figure 5**). En effet, le flux d'érosion mesuré au sommet de la dune vive a atteint en moyenne 1,61 fois ($\pm 0,6$) celui mesuré sur le flanc durant la saison des pluies. Cependant, au cours de la saison sèche, le flux mesuré au sommet des dunes a été inférieur à celui mesuré sur le flanc d'en moyenne 3,7 ($\pm 4,8$) fois. Cette phase d'érosion au cœur de la saison sèche a été également observée sur les sols nus de l'Ouest du Niger [13]. Ces mesures montrent ainsi la complexité de l'appréhension de la dynamique des dunes vives. Elles ressortent, qu'au niveau des dunes, le flux d'érosion éolienne est particulièrement intense au début de la saison des pluies (Juin - Juillet) et en deuxième partie de la saison sèche (Janvier - Avril). Ceci suggérerait que les lignes de grains et le vent de l'Harmattan d'entre Janvier et Avril sont essentiellement les vents qui produisent le maximum de déplacement des dunes vives.

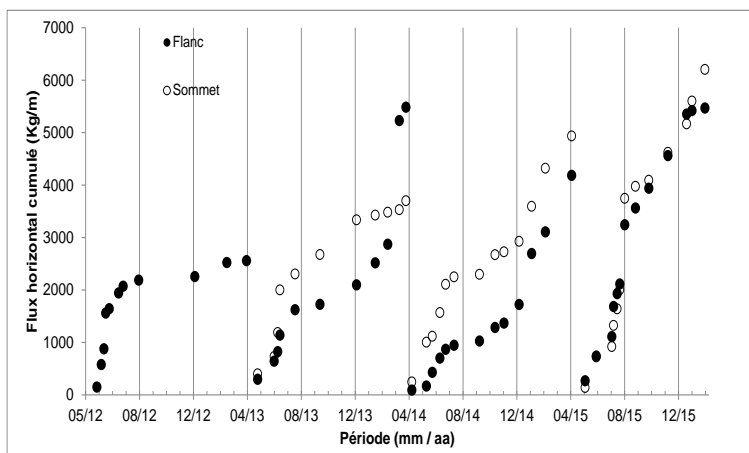


Figure 5 : Flux horizontal cumulé mesuré sur le flanc et au sommet de la dune vive

IV - CONCLUSION

Les vents de la zone d'étude sont susceptibles de provoquer l'érosion éolienne. Leurs efficacités sont, cependant, fonction de l'occupation du sol. Les dunes vives sont les plus sensibles à l'érosion éolienne. Les mesures révèlent que le

phénomène d'ensablement est très actif dans le Manga et ses conséquences se traduisent surtout par la réduction du potentiel productif déjà faible des terres. Le fait de connaître la période, le sens et la vitesse de déplacement des dunes sur la base des caractéristiques des vents et de la manifestation de leur efficacité constituent un bon outil d'aide à la décision pour mieux fixer les dunes vives. La gestion des vents d'harmattan d'intensité relativement faible et d'action prolongée dans le temps et des vents de début de saison des pluies d'intensité très forte mais agissant sur une période relativement courte doivent être mieux réfléchies dans les programmes de restauration des terres dunaires dégradées. Ces dernières doivent aussi tenir compte du fait que le sommet des dunes vives soit plus actif que leur flanc. Par exemple, le renforcement des palissades externes exposé au vent fort de début des saisons des pluies et des palissades du secteur « sommet de dune » constitueraient des pistes pour une meilleure réussite de la fixation mécanique des dunes vives.

RÉFÉRENCES

- [1] - A. MOUSSA ISSAKA, "Dynamiques érosives et des états de surface dans la partie nigérienne du lac Tchad". Thèse de doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, (2014) 156 p.
- [2] - M. MAINGUET, MC. CHEMIN, "Wind degradation an the sandy sails of the Sahel of Mali and Niger and its part in desertification", *Acta Mechanica*, 2 (1991) 113 - 30.
- [3] - A. CORNET, "La désertification à la croisée de l'environnement : un problème qui nous concerne, Sommet Mondial du Développement Durable, quels enjeux ? Quelle contribution des scientifiques ?" Johannesburg, (2002) 93 - 130.
- [4] - H. N. LE HOUEROU, "Evolution climatique et désertisation. In : *Les climats subtropicaux et leur évolution*", André, J.C., J.L. Fellous et A. Podaire, (Eds.), CNES Toulouse, (1993) 639 - 668.
- [5] - E. LE FLOC'H, "Desertification in the Near East region, *perspectives, strategies and plan of action*". IATF Meeting on Desertification, (1996) 27 p.
- [6] - J. C. KATYAL AND P. L. G. VLEK, "Desertification : concept, causes and amelioration", ZEF, Discussion Papers on Development Policy, 33 (2000) 65 p.
- [7] - K. J. M. AMBOUTA, D. IBRAHIM, S. BARA, "Statut mycorrhizien de dix espèces ligneuses prélevées sur des dunes menaçant d'ensablement des cuvettes dans le département de Gouré (Niger)". *Geo-Eco-Trop*, 33 (2009) 107 - 114.
- [8] - A. D. TIDJANI, C. L. BIELDERS, K. J-M AMBOUTA, "Dynamique saisonnière des paramètres déterminant l'érosion éolienne sur les pâturages dunaires du Niger oriental". *Geo-Eco-Trop*, 33 (2009) 39 - 56.
- [9] - C. BODART, A. OZER, "Apports de la télédétection dans l'étude de la remise en mouvement du sable dunaire dans la région de Gouré (Sud-Est du Niger)". *Geo-Eco-Trop*, 33 (2009) 57 - 68.

- [10] - Z. TOUDJANI, M. GUERO, "Analyse diagnostique détaillée de la zone d'intervention du PLECO. Cartographie de la situation d'ensablement. Division des statistiques et de la cartographie forestière, Ministère de l'environnement et de la lutte contre la désertification", PNUD – PLECO, (2006) 66 p.
- [11] - J. L. RAJOT, "Wind-blown sediment mass budget of Sahelian village land units in Niger", *Bull. Soc. Geol.*, France, 5 (2001) 523 - 531.
- [12] - C. L. BIELDERS, J. R. RAJOT, M. KARLHEINZ, "L'érosion éolienne dans le Sahel nigérien : influence des pratiques culturales actuelles et méthodes de lutte". *Sécheresse*, 15 (2004) 19 - 32.
- [13] - A. ABDOURHAMANE TOURÉ, J. L. RAJOT, Z. GARBA, B. MARTICORENA, C. PETIT, "Impact of very low rate of crop residues on wind erosion in the Sahel". *Catena*, 85 (2011) 205 - 214.
- [14] - A. D. TIDJANI, "Erosion éolienne dans le Damagram Est (Sud-Est du Niger) Paramétrisation, quantification et moyens de lutte". Thèse de doctorat es sciences. Université catholique de Louvain, (2008) 171 p
- [15] - P. OZER, "Les lithométéores en region sahélienne : un indicateur climatique de la désertification". *Revue internationale d'écologie et de géographie tropicale*, 24 (2001) 1 - 317.
- [16] - A. EL MEDHI, D. W. FRYREAR, "A field dust sampler". *J. Soil Water Conserv*, 41 (1986) 117 - 120.
- [17] - D. W. FRYREAR, J. E. STOUT, L. J. HAGEN, E. D. VORIES, "Erosion field measurement and analysis". *Transactions of the ASAE*, 34 (1991) 155 - 160.
- [18] - K. MICHELS, M. V. K. SIVAKUMAR, B. E. ALLISON, "Wind erosion control using crop residue I. Effects on soil flux and soil properties". *Field Crops Research*, 40 (1995) 101 - 110.
- [19] - J. E. STOUT, T. M. ZOBECK, "The Wolfforth field experiment : a wind erosion study". *Soil Science*, 161 (1996) 616 - 632.
- [20] - G. STERK, P. A. C. RAATS, Comparison of models describing the vertical distribution of wind-eroded sediment. *Soil Science Society of America Journal*, 60 (1996) 1914 - 1919.
- [21] - C. L. BIELDERS, J. R. RAJOT, M. AMADOU, "Transport of soil and nutrients by wind in bush fallow land and traditionally managed cultivated fields in the Sahel". *Geoderma*, 109 (2002) 19 - 39.
- [22] - R. DESJARDINS, P. ROGNON, M. BENALLA, "Progrès importants des études sur l'évolution des dunes grâce à l'utilisation combinée des satellites civils et militaires : l'exemple du Tafilalet (Maroc) ". *Sécheresse*, 16 (2005) 153 - 64.
- [23] - A. LALA, et R. VOAHANGINIRINA, "Géotechnologie et géosciences : outils d'aide à la décision dans la gestion durable des sols". *Mada-Hary*, 1 (2013) 34 - 43.
- [24] - C. PIERRE, G. BERGAMETTI, B. MARTICORENA, A. ABDOURHAMANE TOURÉ, J - L. RAJOT, L. KERGOAT, "Modeling wind erosion flux and its seasonality from a cultivated sahelian surface : A case study in Niger". *Catena*, 122 (2014) 61 - 71.