

DYNAMIQUE D'ENSABLEMENT DES NIAYES DU GANDIOL: APPROCHE PAR LA QUANTIFICATION DES DEBITS SOLIDES EOLIENS ET CONSEQUENCES SUR LES CUVETTES AGRICOLES

1. NIANG Souleymane, Doctorant, Laboratoire Leïdi **2. SY** Amadou Abou, Dr géographie/géomorphologie, laboratoire Leïdi, Université Gaston Berger, **3. SY** Boubou Aldiouma, Maître de Conférences, laboratoire Leïdi.

Résumé

Le Gandiol constitue un pôle important de production maraichère dans la zone des Niayes. Actuellement, les milieux de culture du maraichage forment des écosystèmes très fragiles au regard des pressions climatiques actuelles qui accélèrent la morphodynamique éolienne. Les cuvettes agricoles, support des activités maraichères, sont soumises à la crise morphoclimatique qui induit un risque morphogénique de type ensablement. La dynamique anthropique accentue la fragilité du système gandiolais, libérant davantage l'énergie éolienne. Ainsi, les débits solides éoliens, constitués essentiellement de particules de quartz, transitent par les cuvettes maraichères au sein desquelles une fraction est régulièrement piégée. Cette dynamique modifie la composition granulométrique des sols, ce qui affecte les rendements.

La méthodologie adoptée dans cette contribution repose sur une analyse des directions fréquentielles des vents de la station de Saint-Louis (1981-2011), sur l'analyse des vitesses de vent à partir de la station expérimentale de Gadga Lahrar (Sud de Gandiol) et une quantification des débits solides par la méthode artisanale de la trappe à sables.

Les résultats ont montré que la direction NW remobilise une bonne partie des sédiments en transit durant toute l'année sur le front des dunes comme dans les Niayes. L'intensification des échanges sédimentaires provoque une modification de la texture des cuvettes agricoles en faveur des particules grossières.

L'objectif de cet article est de quantifier les fréquences directionnelles des vents, des débits solides afin de mieux apprécier l'importance des transferts sédimentaires qui participent à la dégradation progressive des sols des Niayes du Gandiol et à l'accentuation de la vulnérabilité de son système productif. La réponse des maraichers est un recours à l'amendement des sols (engrais organique) ou à la migration. Ce qui compromet la durabilité du système agricole.

Mots clés: Gandiol - cuvettes agricoles – ensablement - risque morphogénique.

Abstract

The Gandiol is an important center for market gardening production in the Niayes area. Currently, the gardening culture media are very fragile ecosystems in light of current climatic pressures that accelerate the wind morphodynamic. Agricultural basins, support for market gardening activities are subject to morphoclimatic crisis that induces morphogenic risk of type silting. Anthropogenic dynamics Gandiolais accentuates the fragility of the system, freeing more wind energy. Thus, the strong wind flows, consisting mainly of quartz particles pass through the market garden basins in which a fraction is regularly trapped. This dynamic changes the size distribution of the soil, affecting yields.

The methodology adopted in this paper is based on analysis of the frequency of wind directions St. Louis station (1981-2011), the analysis of wind speeds from the experimental station Gadga Lahrar (South Gandiol) and quantification of sediment discharge by the traditional method of sand trap.

The results showed that the direction NW remobilization much sediment in transit throughout the year on the front of the dunes as in Niayes. Increased sediment exchange causes a change in the texture of agricultural basins for coarse particles.

The objective of this paper is to quantify the frequency directional winds, solid discharges to better appreciate the importance of sediment transfer involved in the progressive degradation of Niayes Gandiol and the accentuation of the vulnerability of its productive system. The response of the market garden is a use of soil amendments (organic fertilizer) or migration. Compromising the sustainability of the agricultural

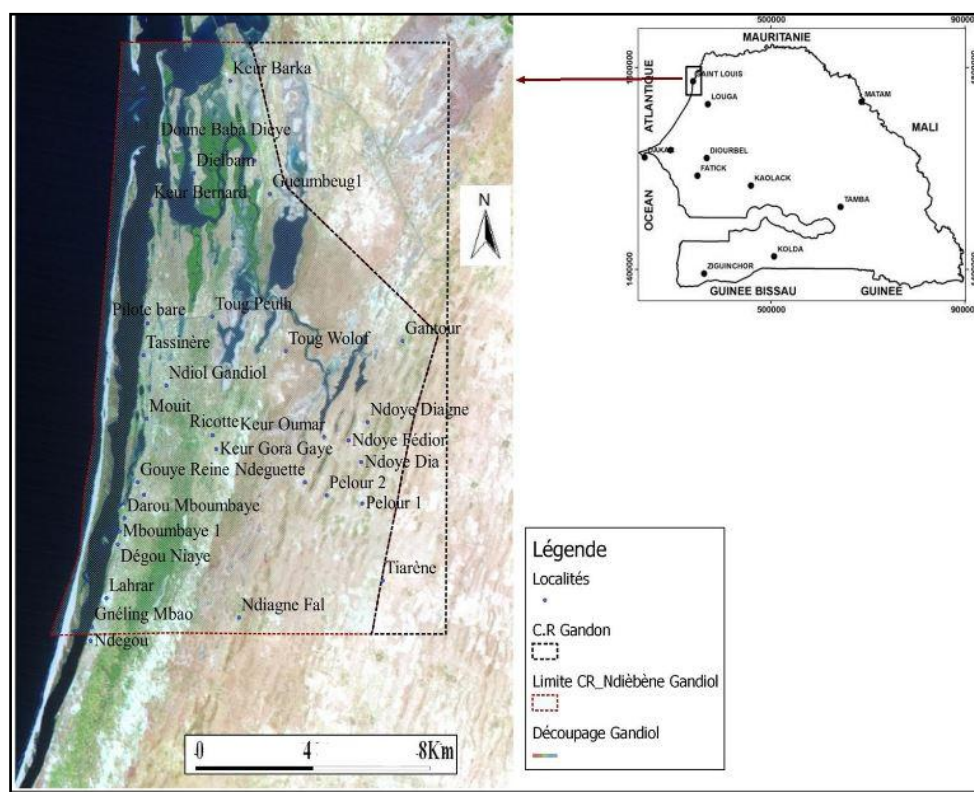
Keys words: Gandiolais, agricultural basins, sand dune, morphogenic risk.

Introduction

La région des Niayes est le siège d'une dynamique éolienne intense car le domaine Supratidal sénégalaise est de moins en moins protégé par le rideau des brises vent (*Casuarina equisetifolia*), ce qui érige le vent au rang de facteur agent morphodynamique prédominant. Depuis 1954 (SALL, 1982), la vulnérabilité du revers du cordon explique des ouvertures de fronts de migration des sédiments (phénomènes d'engraissement) issus de la réactivation des systèmes dunaires littoraux (dunes blanches et dunes jaunes semi-fixées).

L'action éolienne est marquée soit par l'ensablement, soit la réactivation et la mise en mouvement des sédiments ou par le remodelage des formations dunaires. L'espace du Gandiol fait apparaître de plus en plus des aires de déflation et d'accumulation. En fait, les processus de dégradation ne débutent pas dans les années 1970-1980. Les prémices de cette érosion accélérée seraient probablement liées au resserrement des cycles de sécheresse climatique du début du XX^e siècle. La conjonction des actions éoliennes et anthropiques avec l'exploitation des ligneux, l'extension des cultures et de l'habitat génèrent une potentialité érosive des dunes et une migration de ces ensembles dunaires littoraux vers l'intérieur, provoquant un ensablement des cuvettes, support de l'activité maraîchère.

Figure 1. Croquis de localisation du Gandiol



Dans le Gandiol, la dynamique sédimentaire autour des cuvettes agricoles est essentiellement provoquée par le vent dans un environnement où 99 % de la surface est essentiellement constitué de sables hérités. La déflation exerce une action directe sur les particules de sables qui sont mises en mouvement et suivent la direction préférentielle du vent et le système de pente des cuvettes agricoles à fond largement tapissé ne favorise pas une réexportation des sédiments. L'ensablement des Niayes du Gandiol s'exerce sur des unités géomorphologiques ouvertes et constamment exposées. Dans ce con texte, la saltation assure de 95 à 97 % des

déplacements de particules pratiquement toute l'année dans un espace où l'agriculture régie tous les rapports de production et de consommation.

1. Méthodologie

La méthodologie est essentiellement basée sur l'observation du paramètre anémométrique à partir des données de la station synoptique de Saint-Louis et la station de Gadga, d'une part, et la quantification *in situ* des débits massiques par la méthode artisanale de trappe à sables, d'autre part. Deux dispositifs de mesure ont été installés sur le site expérimental de Gadga Lahrar dans le Sud de la communauté rurale de Ndièbène Gandiol: deux stations éoliennes CRS232 placées l'une sur la dune dénudée (force de frottement nulle) et l'autre sur une cuvette plutôt abritée (Ndiouki). Elles enregistrent la vitesse et la direction des vents.

Le deuxième dispositif concerne les pièges à sédiments. L'opération est effectuée avec des trappes à sables placées au niveau de la dune ravivée et de la Ndiouki ensablée légèrement abrité par un couvert végétal vertical. Le dispositif comprend quatre pièges solidaires disposés parallèlement dans un support dont le rebord supérieur affleure. La surface du support est de 1026 cm² ou 0,1026 m², soit 38 cm de Longueur et 27 cm de largeur. Les quatre pièges sont orientés suivant les cadrans qu'épousent les directions préférentielles des vents efficaces (SY B., 2008): NW-NE-SW-SE. Le piégeage est fait de sorte à créer une sorte de symbiose topographique qui permet de reproduire le fonctionnement naturel du milieu.

Trois séries d'expérimentation et de collecte de sédiments *in situ* ont été effectués entre juin 2012 et février 2013 correspondant à trois saisons différentes: du 5 au 29 juin 2012 pour la saison sèche chaude, du 2 au 30 août 2012 pour la saison des pluies et du 20 janvier au 17 février 2013. En saison sèche chaude, un suivi régulier des mesures est observé *in situ* tous les 2 jours, soit 13 jours au niveau des deux stations. Le suivi rapproché s'explique par l'intensité de la remobilisation des sédiments en transit sur ces unités et l'occurrence du nombre de jours affectés par la déflation où plus de 2/3 des mois sont potentiellement érosives en saison de Période de Forts Vents (PFV). Le suivi est hebdomadaire pour les deux autres saisons et s'explique par le relâchement de la compétence du mouvement des débits en transit et la modification des conditions de surface.

La méthodologie quantitative permet d'obtenir des résultats sur les volumes et les variations sédimentaires dans le système des dunes et des Niayes du Gandiol. Les sédiments récoltés pendant les campagnes ont été pesés au laboratoire de sol de l'Institut Sénégalais de recherche

Agricole (ISRA) afin de faire ressortir le bilan massique. La valeur moyenne quotidienne de sables retenue dans chacune des quatre directions (NW, NE, SE, SW) est calculée, les fréquences directionnelles par l'établissement de roses sédimentaires effectuées. Le calcul effectué sur les directions du coefficient de transport de sable permet d'obtenir la rose de mobilisation des sables obtenue en faisant la somme de la capacité de transport pour toutes les directions. Donc pour chaque direction considérée, on obtient une valeur qui représente le module vectoriel de la capacité de prise en charge des sables pour cette direction.

Ce travail d'estimation des débits solides en transit a été suivi par une analyse granulométrique des sédiments collectés. L'appréciation sédimentologique a permis de faire ressortir les indices granulométriques, les courbes de distribution et les courbes cumulatives. Les valeurs des indices utilisées dans cette analyse sont celles définies par FOLK & WARD (1957) et sont calculés à partir de *Gradista 2.0*. Cette méthodologie a permis la production de résultats.

2. Les résultats

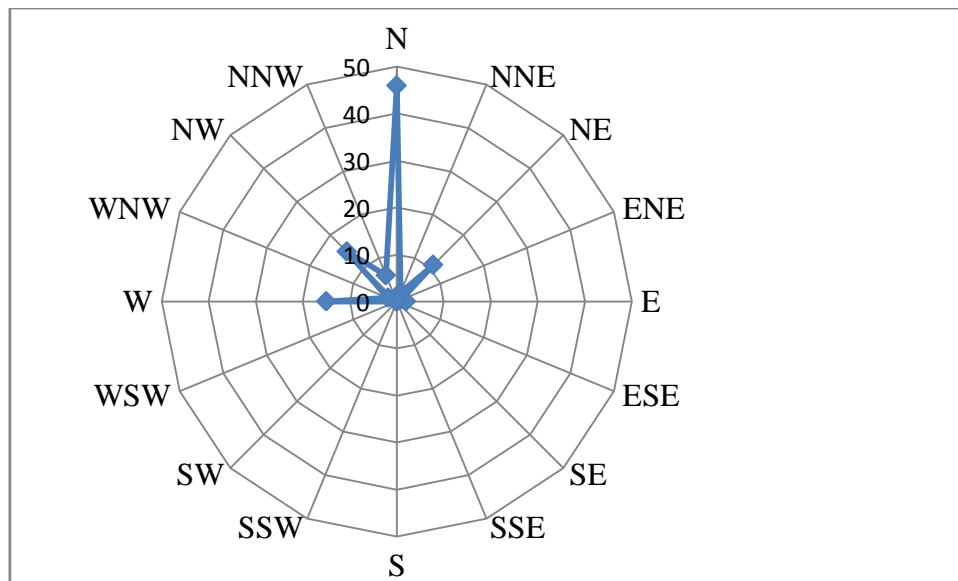
2.1. Efficacité de l'énergie éolienne dans le Gandiol

L'efficacité de l'énergie éolienne dans le Gandiol se traduit avant tout par la grande fréquence des vents morphodynamiquement très actifs (CHAMARD et COUREL, 1998). Ces vents sont enregistrés, en général, de février à juillet. Ils remobilisent les particules rendues sensibles à la déflation de part leur calibre et l'intensité des flux.

Les vents du N et du NE persistent du mois d'octobre au mois d'avril. Sur la séquence d'observation u paramètre anémométrique de 1980 à 2011, les valeurs du cadran N croissent entre cet intervalle et atteignent 50 à 78 % de la dynamique éolienne en mars et avril. La direction N disparaît pratiquement entre juillet et septembre. Le cadran NE enregistre les hautes valeurs entre novembre et janvier avec un cumul de 48 % en décembre.

Pendant la saison des pluies, la direction des vents s'inverse en faveur du cadran NW et de la direction cardinale W. Le changement de direction des flux s'explique par les fortes rentrées de la mousson qui renvoie l'anticyclone des Açores plus au nord. Les valeurs calculées à partir des observations de la même séquence estiment les moyennes à environ 54 % pour l'W, de juillet à septembre, contre 32 % pour le cadran NW (juin-septembre). Ce dernier est plus étalé que la composante W.

Figure 2: Fréquence directionnelle des vents, station de Saint-Louis (1980-2011)



La vitesse de déplacement des particules dépasse souvent le seuil critique calculé par SY A. A. (2013), soit 5,63 m/s. Il faut aussi articuler tout cela à une saison sèche qui couvre les 3/4 de l'année éolienne, soit les 2/3 du total des vents annuels avec un nombre de jours potentiellement érosifs supérieur au 2/3 pendant les mois d'intense déflation. Ce qui expose les unités dunaires non stabilisées à la déflation. L'analyse des vitesses illustre l'importance du dépassement du seuil critique, ce qui constitue aussi un indice du déficit hydrique.

L'exploitation des données fournies donne une idée précise du potentiel de déflation des vents dans le Gandiol. Les classes de vitesses [0,0 à 4,4 m/s] restent faibles alors que les classes [6,5 - 8,4 m/s] et [8,5 - 10,4 m/s] occupent 67 % des observations séquentielles. Ces intensités sont à peu près similaires à celles enregistrées sur la période 2000-2008 dans tout le littoral de la Grande Côte où les vitesses comprises entre 4,1 et 5,8 m/s occupent de 44,4 à 48,8 % des vents actifs. L'intervalle [6 - 7,2 m/s] cumule 20,5 à 25 % des vents morphologiquement actifs. Les vitesses de l'ordre de 8 à 9 m/s représentent une moyenne de 17,5 % entre 2000 et 2008. Ces vents efficaces sont davantage diffus dans le temps et persistent à l'échelle de l'année éolienne. L'observation des individus anémométriques à la station de Gadga entre mars et août met en évidence une baisse simultanée des vitesses maximales et minimales dans la zone. Les moyennes maximales passent au niveau des formations dunaires de 9,99 m/s (en mars), 9,4 m/s (en avril), 6,31 m/s (en juillet,) 9,42 m/s (en août) à 8,75 m/s en septembre et les vitesses moyennes minimales de 5,52 m/s en mars à 4,12 m/s en août. Les cuvettes enregistrent des vitesses plus faibles. Les vitesses maximales passent de 7,37 à 5,28 m/s. Les faibles vitesses enregistrées dans les dépressions s'expliquent par la topographie et les pieds

de l'espèce *Casuarina equisetifolia*, qui se comportent comme des brises vent. Les Niayes fonctionnent comme des bassins de collecte, une zone de dépôt où l'écoulement des flux subit l'effet des forces de frottement (topographie et végétation).

2.2. Directions préférentielles des sédiments et bilan massique

La direction préférentielle des débits massiques est étudiée pour la saison sèche et la saison des pluies. L'approche est basée sur le contraste saisonnier car elle permet de déceler les subtilités aussi bien dans le fonctionnement éolien que dans le processus des échanges sédimentaires au cours de l'année. Trois saisons distinctes sont identifiées dans l'analyse, à l'échelle de l'année: une saison sèche froide, une saison sèche chaude et une saison pluvieuse.

La saison sèche froide. Dans les dunes, les cadrans NW et NE dominant de 58,78 à 75,58 % de la proportion de sables déplacée. La prépondérance de ces secteurs s'explique par la permanence des vents du Nord avec 80 à 85 % dans la rose des vents. Entre décembre et janvier, une différence plus ou moins de 20 % s'établit entre les cadrans NW et NE, ce dernier étant plus important en décembre où il peut atteindre 45,45 % des vents enregistrés. Les proportions des cadrans SW et SE sont plus ou moins faibles. Les valeurs sont comprises de 24,36 à 41,21 % du volume sédimentaire mis en mouvement avec une légère domination du secteur SE.

Dans les cuvettes, le cumul des directions NW et NE se situe entre 71,19 à 84,64 %. Elles laissent une faible marge de manœuvre pour les cadrans SW et SE dont les proportions sont comprises entre 15,96 et 28,81 %. Le cadran SW peut atteindre une proportion plus importante que le cadran NE sur la même période d'observation. Le cadran SE garde les mêmes valeurs entre décembre et février, ce qui n'est pas le cas pour les autres directions. Entre décembre et janvier, quelque 81,68 % des particules sableuses suivent les directions NW et SW. De janvier à février, le fonctionnement normal saisonnier revient au niveau des cuvettes avec un renversement de la tendance sédimentaire où les secteurs NE et NW cumulent 84,04 % des sables mis en mouvement par saltation avec 60 % des sédiments transitant par le NE.

Sur les dunes comme dans les zones déprimées, le cadran NW reste le secteur dominant. L'élément d'explication est la persistance des alizés maritimes presque toute l'année éolienne à Saint-Louis et au delà sur toute la Grande Côte.

La saison sèche chaude. Sur la dune ravivée, les quatre directions ont enregistré des vents compétents à des degrés divers. Les cadrans SW et NW dominent les mouvements sédimentaires. L'importance du secteur Sud est indicatrice de la pénétration des flux de mousson en juin. La tendance sédimentaire est assez homogène pour le NW et le SW avec des pourcentages de 37,81 % (NW) 3,28 % (NE) et 39,09 % (SW) et 19,83 % (SE).

Dans la dépression, les particules en mouvement épousent un circuit sédimentaire transversal et homogène (NW = 33,09 %; NE = 20,18 %; SW = 25,07 %; 21,66 %). L'approche de la saison des pluies ne semble pas jouer en faveur d'une réorientation forte des sédiments vers le sud. Les conditions locales, autrement dit, la pente et la configuration du bas-fond peuvent déjouer la logique saisonnière.

La saison des pluies. La transition saisonnière traduit également une variation dans la direction préférentielle des particules de sables. La modification de la dynamique sédimentaire est la conséquence de la réorientation des vents vers le secteur méridional pendant cette période et la protection du sol. Les cadrans NW et SW cumulent 61,22 % des particules piégées au sommet des dunes et épousent partiellement la rose des vents. Les vents du cadran SW deviennent très compétents à la fin du mois de juin, correspondant au début de la saison des pluies dans le Gandiol (au plan morphodynamique).

Les proportions dans les Niayes sont largement dominées par le secteur NE avec 43,13 %. Les cadrans NW, SW et SE occupent respectivement 21,92 %; 15,89% et 19,07 %. Ce qui confirme l'hypothèse qu'il n'existe pas dans le Gandiol une relation directe entre la transition saisonnière et la direction préférentielle des particules sableuses où les secteurs SW et NW seraient les secteurs dominants en saison pluvieuse. La logique saisonnière s'applique plutôt au niveau des surfaces dunaires largement étendues et exposées à la déflation. Toutefois, une augmentation nette des secteurs SW et SE est notée.

Au total, la connaissance des directions préférentielles permet de comprendre l'organisation de la direction des flux sédimentaires et l'importance relative des débits massiques sur certains secteurs directionnels.

2.3. Estimation des débits massiques

En saison sèche froide. La période individualise la prédominance du secteur Nord, soit 59 % des particules en transit dans la dune entre décembre et janvier et 75 % des débits massiques

entre janvier et février. Les directions NW, NE, SW, SE enregistrent des moyennes journalières respectives de 295,85g, de 222,40g, de 26,44 et de 141g. L'importance des deux premières directions est relative à l'accentuation des vents du Nord à partir de novembre et surtout le secteur NE qui peut cumuler 45,45 % en décembre, 23,52 % en novembre, 32,35 % en janvier et 17,14 % en février, des vents. Les cuvettes cumulent 106,76 grammes, soit une moyenne journalière de 0,94g (NW), 2,26g (NE), 0,28g (SW) et 0,33g (SE).

En saison sèche chaude. Le gradient de déplacement des particules se colle à celui des directions préférentiels du NW, NE, SW et SE. La dynamique éolienne pendant la saison sèche, particulièrement les mois de mars et d'avril, est essentiellement due à la fréquence des vents efficaces. Les 4 directions enregistrent une moyenne de dépôt de 236,61 gr/jour sur le cordon dunaire et une moyenne de 3,25 gr./jour dans les Ndioukis. En considérant ces 2 moyennes, on a estimé que la quantité de sables mis en mouvement et transportés par saltation au niveau des dunes ravivées représentent 98,95 %, les cuvettes n'enregistrent que 1,05 % du total de sédiments mais ce taux, aussi petit soit-il, est extrêmement dangereux pour la fertilité des sols et la vitalité du maraichage. Progressivement, ces particules sableuses remblaient les horizons superficiels des dépressions et on assiste à un remplacement avec du sable stérile.

En outre, la saison sèche domine à 59,26 % du transport sédimentaire, soit les 3/5 de la dynamique d'ensablement dans le cordon dunaire.

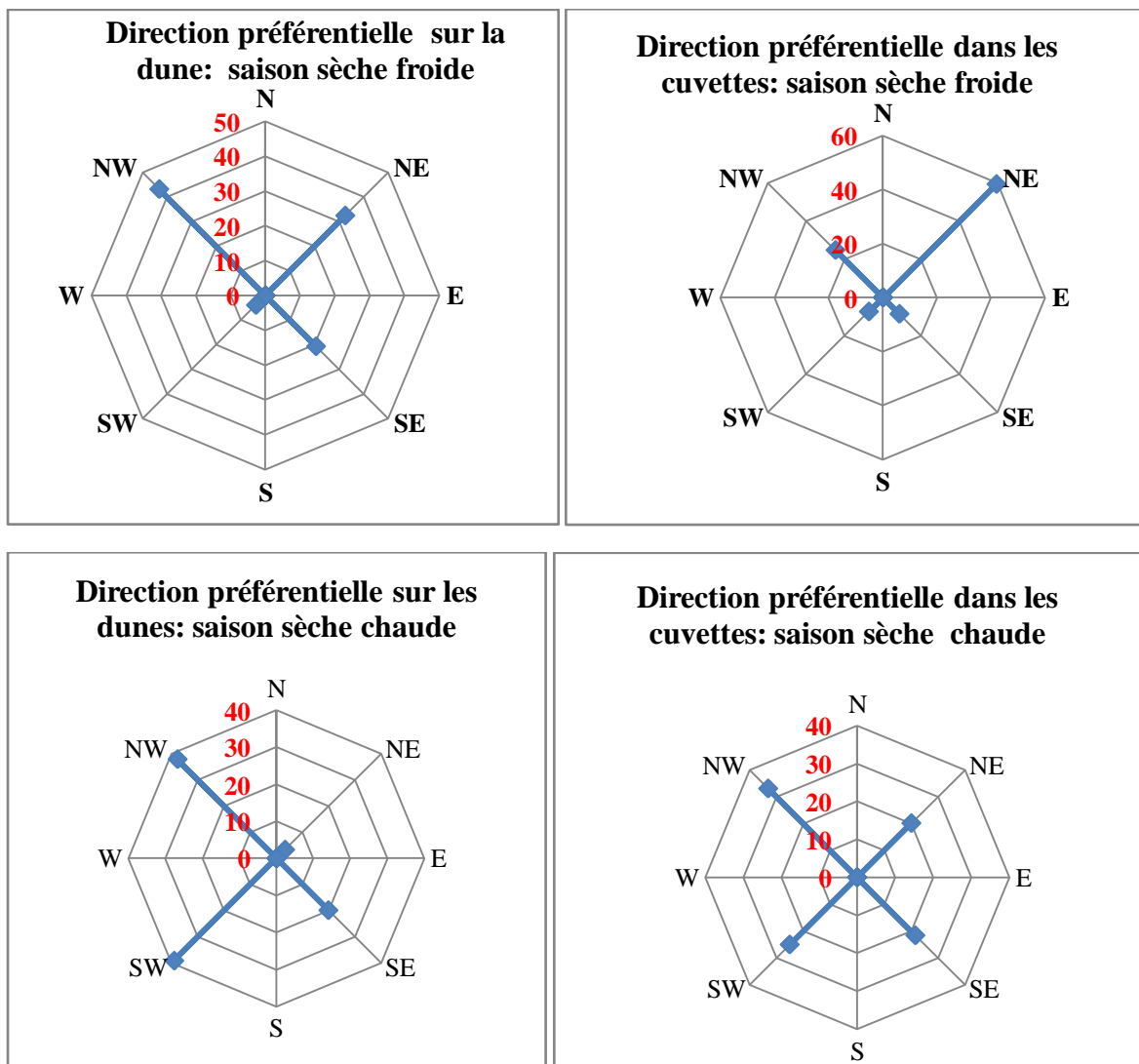
Dans la dépression, la saison sèche domine avec 79,75 %, soit 4/5 de la masse sableuse durant l'année dans le système du Gandiol. En effet, l'assèchement des particules provoqué par une forte évaporation déclenche le manque de cohésion et la diminution de la force électrostatique entre les particules, ce qui entraîne une plus grande sensibilité à la déflation et au transport. A cela s'ajoute, la disparition rapide du tapis herbacé qui expose le sol, par voie de conséquence immédiate, facilite la remobilisation des sables vers les bas-fonds.

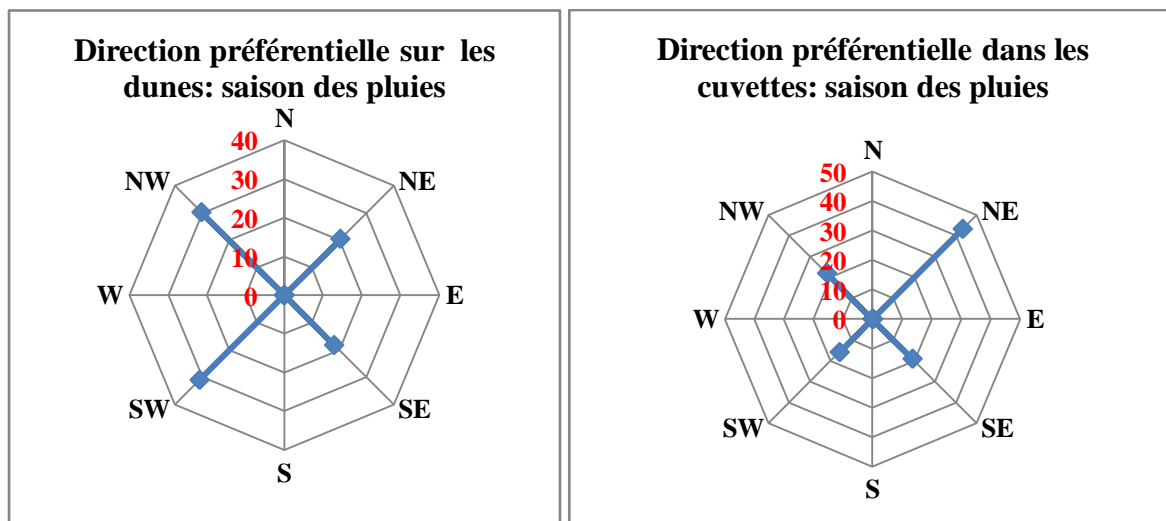
En saison des pluies. Le transit sédimentaire pendant cette période diminue très sensiblement dans les 4 directions préférentielles de piégeage des sables. Le risque d'ensablement est effectivement présent toute l'année seulement à des degrés plus modérés en hivernage. La protection jouée en fin de saison des pluies par le couvert végétal explique que l'on ne retrouve pas les mêmes conditions d'érosion au passage de l'hivernage à la saison sèche. (VEYRET *et al.*, 1992: 278). Les modifications de la surface dunaire sont plus accentuées dans les dunes ogoliennes que celles littorales vives où la nature des quartz et les embruns marins ne permettent pas un développement rapide du tapis herbacé.

La saison des pluies cumule 40,74 % des sédiments transportés, soit 2/5 du stock sédimentaire dans la dune ravivée. Par contre, dans les Ndioukis, la masse sableuse représente 20,24 % de la masse totale.

Cette diminution dans la rose sédimentaire est étroitement liée aux modifications dans le fonctionnement éolien, aux conditions physiques et biologiques du milieu gandiolais. La conjugaison de la grande dispersion de la rose des vents, le fléchissement des vitesses maximales, l'humidification et l'apparition du tapis herbacé permettent d'élucider cette baisse sensible de la rose sédimentaire pendant la saison des pluies observable plus dans les dunes ogoliennes qu'au niveau des systèmes dunaires littoraux du Gandiol.

Figure 3: Directions préférentielles des sédiments en fonction des saisons





Les tableaux 1 et 2 résument les tendances sédimentaires aux différentes campagnes de piégeage et fournit le bilan massique à travers le poids/gr. piégés selon la saison sur la dune.

Tableau 1: Poids récoltés par direction et par saison de collecte sur la dune

Saisons	Saison sèche froide	Saison sèche chaude	Saison des pluies
NW	8283,70	8 230,82	9 311,70
NE	6227,22	713,31	6 320,94
SW	740,270	8 508,01	9 527,80
SE	3 947,93	4 315,57	5 613,49
Total	19 199,12	21 767,71	30 773,93

Les poids piégés sont importants à l'échelle de la saison de déflation. En considérant l'année, c'est quelque 59 865,5 grammes qui ont transité par roulage ou par saltation sur une largeur de 19 cm (cf. tableau 3).

Tableau 2: Poids récoltés par direction et par saison de collecte dans la dépression

Saisons	Saison sèche froide	Saison sèche chaude	Saison des pluies
NW	26,45	2,23	65,53
NE	63,27	1,36	128,93
SW	7,87	1,69	47,49
SE	9,17	1,46	57,00
Total	106,76	6,74	298,95

Les poids piégés sont considérablement réduits au niveau de la dépression (G 2), soit un total de 413 grammes pour l'ensemble des saisons de déflation contre 59 856,5 grammes sur la dune (G 1). Ces résultats traduisent l'importance des brises vent dans la protection des Niayes et des Ndioukis le long du littoral du Sénégal. En effet, la valeur relative du poids de la station de G 2 par rapport au poids total des 2 stations d'observation (60 278,5 grammes) est inférieure 2 % (1,45 %).

Tableau 3. Débits solides/gr. en transit par mètre de largeur du courant éolien¹

Sites d'observation	NW	NE	SW	SE	Total
Gadga 1 (G 1)	135 926	6 982	98 821	73 353	315 082
Gadga 2 (G 2)	496	1 019	300	356	2171
Total	136 422	8 001	99 121	73709	317 253
En %	43	2,52	31,24	23,23	100

Par rapport aux espaces maraichers, le tableau 3 indique que 43 % des débits solides éoliens sont déplacés du cadran NW au cadran SE, dans le sens estran-revers du cordon vif-Niayes. Le cadran SW fait 31,24 % (même sens de migration des sédiments), soit un total de 74,24 % des vents compétents qui soufflent dans la direction des bas-fonds. Ces chiffres indiquent l'importance des débits solides qui ensevelissent les jardins maraichers le long du littoral Nord du Sénégal et justifient l'urgence du renouvellement du rideau des brises vent.

Les tableaux 4 et 5 montrent que, dans le Gandiol, toutes les intensités sont compétentes et sont susceptibles de transporter sans grande difficulté des masses importantes de sédiments. Il est donc difficile dans ce système de mettre en évidence une matrice de compétence où une saison serait prépondérante. Une compilation entre nos résultats et ceux de SY A. A. et *al* (2011) permettent une meilleure lecture de la distribution sédimentaire sur 8 mois représentatifs des 3 saisons définies dans ce travail. Elle confirme l'augmentation des volumes sédimentaires de décembre à août. Le détachement mensuel est plus illustratif des débits massiques en transit par mètre de largeur du courant éolien dans le Gandiol.

¹ Certains chiffres du tableau sont arrondis

Tableau 4: Volume sédimentaire moyen journalier à G1 et à G2 de déc. à mars

Mois	décembre		janvier		février		mars	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
NW	268,58	0,55	132,41	3,33	295,85	0,94	369,35	15,46
NE	222,89	0,28	247,49	0,51	222,40	2,26	359,13	2,9
SW	156,74	0,15	136,99	1,34	26,44	0,28	352,78	0,89
SE	108,08	0,12	209,38	0,29	141,00	0,33	189,9	4,91

Ces chiffres confirment les calculs du tableau 3. Les débits mobilisés à l'échelle du mois sont significatifs au niveau notamment de la station exposée aux flux éoliens efficaces (G1).

Tableau 5: Volume sédimentaire moyen à G1 et à G2 entre avril et septembre

Mois	avril		Juin		août		Sept.	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
NW	356,86	6,6	357,86	0,10	332,56	2,34	371,23	0,4
NE	340,49	1,41	31,01	0,06	225,75	4,60	125,44	0,55
SW	330,32	1,2	369,91	0,07	340,28	1,70	244,5	0,81
SE	268,27	0,5	187,63	0,06	200,48	2,04	171,36	0,33

Les données quantifiées sont obtenues à partir d'une surface d'expérimentation de 0,1026 m². Ces quantités sont plus pertinentes si elles sont appréciées sur des surfaces correspondant aux bases factorielles dans le Gandiol. Les extrapolations sur un hectare (10 000 m²) et 500 m² à partir des cumuls des volumes sédimentaires expriment un risque morphogénique diffus et accéléré mettant en péril les bases de la production maraîchère. Les extrapolations appartiennent certes à la géomorphologie dite du «probable». L'extrapolation répond plus à des logiques d'espace qu'à des logiques statistiques ou géostatistiques. Elle suppose que les quantités de débits massiques s'inscrivent dans une réalité morphodynamique où les conditions d'expérimentation et d'action du vent sont homogènes sur tout le segment dunaire considéré. Le caractère monotone du substrat dunaire du Gandiol et l'importance de l'efficacité énergétique du vent valident l'extrapolation et le bilan massique.

Tableau 6: Bilan massique par extrapolation sur un hectare

Unité d'observation	Saison d'observation	Quantité en gr./ha/mois	Quantité en gr./ha/jour
Dune	Saison sèche froide	1.871.259.259	66.830.687,83
Cuvette		10.405.458,09	371.623
Dune	Saison sèche chaude	2.121.609.162	75.771.775,78
Cuvette		656.920.078	23.461,43
Dune	Saison des pluies	2.999408382	107.121.727,9
Cuvette		291374269	1.040.622

Le tableau 6 indique une grande mobilisation de débits solides éoliens sur le revers du cordon vif où ces importantes quantités sont entraînées globalement dans les cuvettes maraîchères. Ce qui constitue une contrainte majeure pour les maraîchers de l'espace gandiolois.

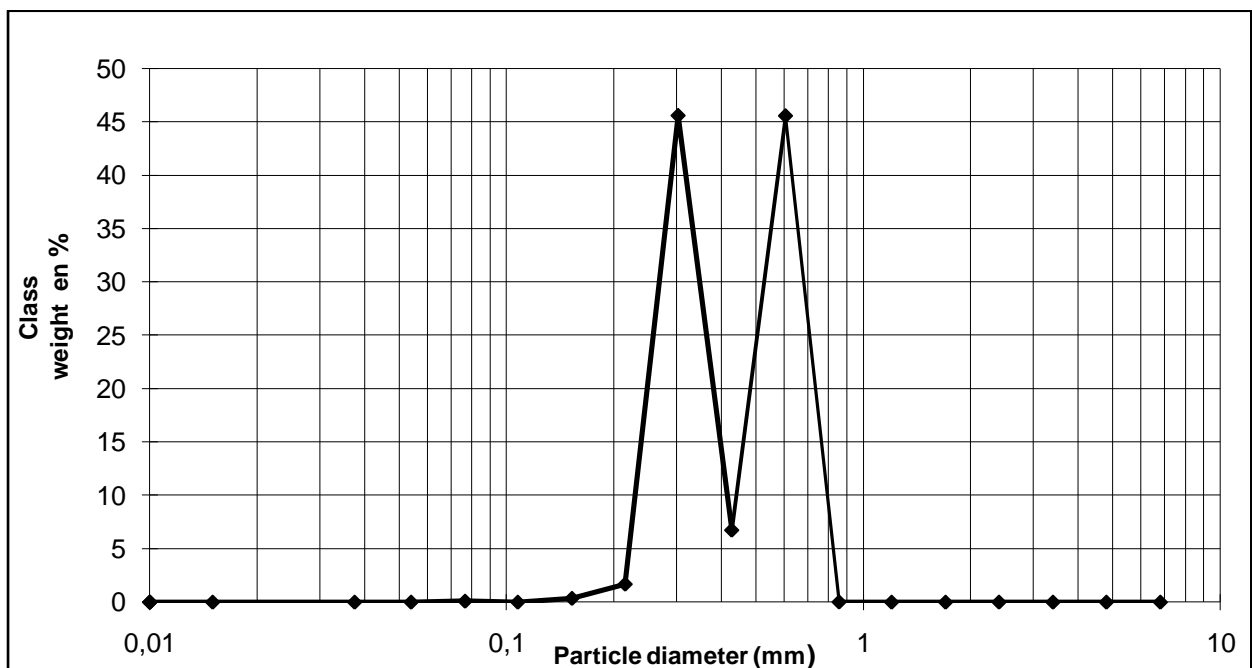
Tableau 7: Bilan massique par extrapolation sur une parcelle de 500 m²

Unité d'observation	Saison d'observation	Quantité en gr./500 m ² /mois	Quantité en gr./500 m ² /jour
Dune	Saison sèche froide	93 562 962,96	3 118 765,432
Cuvette		520 272,9045	17 342,43015
Dune	Saison sèche chaude	106 080 458,1	3 536 015,27
Cuvette		3 370	112,33
Dune	Saison des pluies	149 970 419,1	4 999 013,97
Cuvette		1 456 871,245	48 562,37517

Les débits massiques déposés dans les cuvettes ou potentiellement mobilisables vers ces espaces sont très importants si le processus de transport n'est pas stabilisé. Les sables piégés

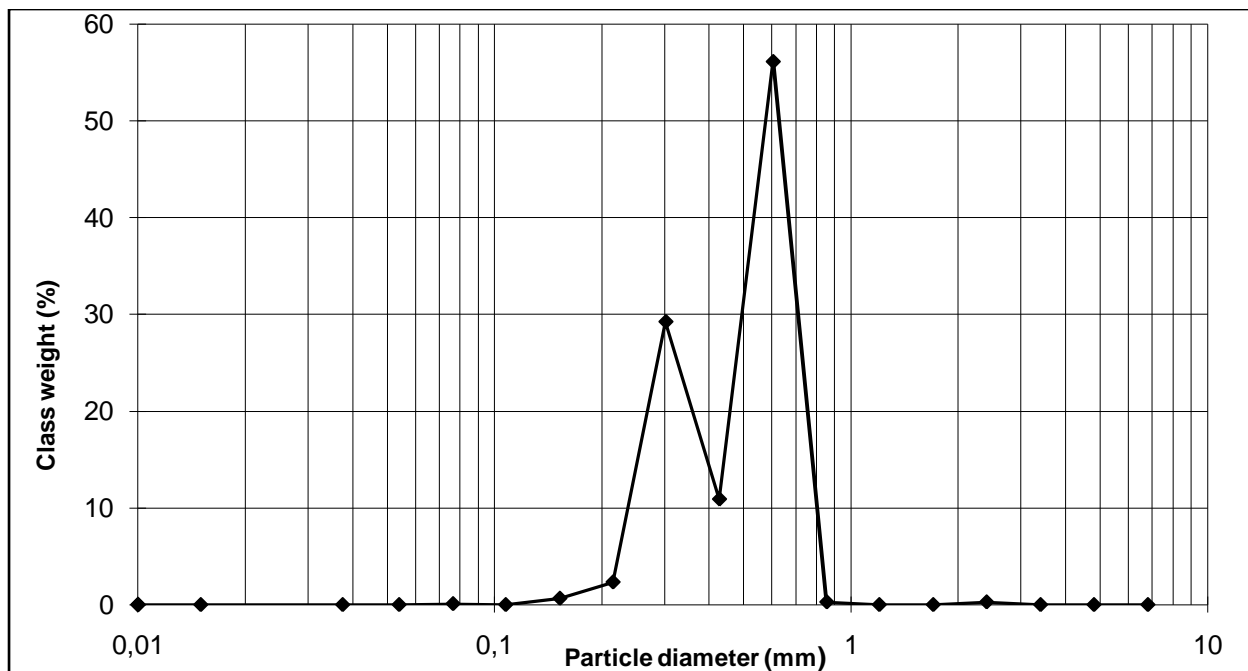
dans les cuvettes enfouissent le peu de matières organiques, soit moins de 1 %. L'absence d'un important taux de bases échangeables au niveau des dunes renforce le risque d'une perte de fertilité si les échanges sédimentaires se poursuivent. Le changement de la composition granulométrique en faveur des particules grossières montre une dynamique d'ensablement accélérée. La partie superficielle des Ndioukis s'enrichit en éléments grossiers. Sur la base des études de SY B. A. (2008) sur les Niayes du secteur Gandiol-Potou et de nos analyses granulométriques, il est établi une perte de concentration des argiles et des limons et une absence de sables très fins. L'ensemble de nos échantillons indiquent une fraction très fine de 0,004 mm en moyenne. Ces mêmes résultats signifient la modification de la composition granulométrique des sols. Les sables fins à moyens varient de 86 % à 97 % dans les Ndioukis. Les courbes de distribution démontrent une parenté génétique très forte entre les Niayes et les dunes, ce qui confirme l'hypothèse d'un renforcement des échanges sédimentaires et une redistribution sédimentaire en faveur des particules grossières.

Figure 4: Courbe de distribution granulométrique des sables dunaires



Le caractère bimodal de la distribution granulométrique, centrée sur les sables moyens et fins, valide l'hypothèse d'une accentuation des échanges entre le revers du cordon des dunes blanches vives et les Niayes (bas-fonds) et une perte progressive d'éléments fins dans les cuvettes maraîchères du littoral Nord du Sénégal. Cette tendance est confirmée par la figure 5.

Figure 5: Courbe de distribution granulométrique des sables des Niayes



La perte des fractions fines assurant le potentiel de fertilité des sols justifie la baisse des rendements et appelle des stratégies de gestion afin de garantir une exploitation plus durable des Niayes et des Ndioukis du Gandiol.

3. Conclusion/discussion

L'érosion éolienne, accentuée par la destruction du couvert végétal, a fini par donner à cet espace géographique l'image d'une région naturelle où les processus morphodynamiques éoliens sont un élément important du décor environnemental. La dynamique de colmatage hypothèque les possibilités de développement offertes par le secteur maraîcher et la configuration du milieu. La vulnérabilité socio-environnementale est accentuée par la pauvreté rurale gandiolaïse. Mais, son analyse reste délicate dans la zone puisqu'il y a une absence d'intégration cognitive du risque d'ensablement.

L'ensablement entraîne des abandons assez importants dans certains villages notamment Keur Barka, Bountou Ndour, Pelour et Gadga Lahrar. Mais, il est difficilement perceptible par les maraîchers puisque l'érosion est, par essence, un phénomène insidieux. Les populations gandiolaïses savent que c'est le processus de destruction du couvert végétal qui est à l'origine des mécanismes éoliens. Cependant, le maraîcher gandiolaïse cherche plutôt à contrecarrer la résultante de la dynamique sédimentaire sur ses récoltes par le biais de forts amendements

biologiques et dosages chimiques au détriment d'une structure pédologique de plus en plus dégradée. L'utilisation d'engrais chimiques quelque soit la quantité risque d'affecter la terre et la ressource hydrique qui constitue la base fondamentale de l'existence de ces cuvettes agricoles. Les processus d'adaptation sont susceptibles de générer des vulnérabilités induites produisant des situations plus graves que le simple état initial (BELLIVEAU et *al.*, 2006).

Les stratégies locales d'adaptation, au-delà des amendements, demeurent la forte consommation d'espace. Les pertes de terres successives ont favorisé un éloignement des cuvettes fonctionnelles de plus en plus loin des espaces villageois. Les maraichers situés sur le secteur des dunes vives siliceuses (Mouit, Gadga Lahrar, Dégou Niaye, Moumbaye) possèdent des cuvettes à quelques kilomètres de leur zone d'habitat notamment dans les villages de Ricotte, Gouye Reine et Rimbakh Gandiol dans le secteur des dunes jaunes. L'espace paysan gandiolaï s'élargit dans les zones à vocation pastorale. Les terres de culture maraichère avancent sur les dunes jaunes et les dunes rouges et s'accompagnent d'importants défrichements vers l'est d'où un renforcement des processus morphodynamiques éoliens.

Cette situation fragilise de plus en plus l'économie du Gandiol essentiellement fondée sur le maraichage et la pêche dans la lagune de Moumbaye. Cette contrainte dessine un début de recomposition et/ou d'adaptation à travers par exemple la vente d'humus pour contrer les pertes de fertilité ou la migration en tant que réponse face à la dégradation physique et chimique du principal facteur de production: les sols.

La quantification des débits massiques dans le Gandiol par la méthode de trappe à sables a permis de constater l'importance des échanges sédimentaires entre dunes et dépressions de type *Ndioukis*. Les flux sédimentaires enregistrés durant les campagnes de collecte corroborent l'idée que les processus morphodynamiques s'accroissent sur le littoral Nord occasionnant une baisse des rendements agricoles. Ces processus morphodynamiques marquent l'installation de la désertification dans ce secteur du littoral. Le couvert végétal ne se régénère toujours pas dans le Gandiol malgré une hausse notée des totaux pluviométriques enregistrés à la station de Saint-Louis. Même si le phénomène d'ensablement est moins important dans le Gandiol que le reste du littoral Nord, il est urgent de procéder à des actions de stabilisation des cordons dunaires et protéger les Niayes qui constituent la base de production de l'activité principale des populations gandiolaïses. Un renforcement ou un remplacement de l'espèce exotique *Casuarina equisetifolia* permettra de diminuer la force aérodynamique des vents du cadran NW qui sont responsables, en grande partie, du transport

sédimentaire. Les actions de mise en défens et une plus grande protection des champs par les haies vives doivent être favorisées et intégrées dans le système de production tout en évitant l'utilisation de l'espèce *Opuntia tuna* dont la capacité de dissémination est un facteur de la dégradation du couvert végétal. L'espèce *Euphorbia balsamifera* semble très indiquée pour clôturer les champs et freiner le transit sédimentaire. Les actions de stabilisation devront être faites de concert avec les populations qui en sont les principaux bénéficiaires. Cela suppose que les populations puissent tirer profit des espèces plantées d'où l'importance de l'agroforesterie.

Références bibliographiques

- KANE C. (2010): Vulnérabilité du système socio-environnemental en domaine sahélien: l'exemple de l'estuaire du fleuve Sénégal, Thèse de Doctorat, université Strasbourg, 317 p.
- NIANG A. J. (2008): Les processus morphodynamiques, indicateurs de l'état de la désertification dans le SW de la Mauritanie, Thèse de Doctorat, université de Liège, 286 p.
- SALL M. M. (1971): Dynamique et morphogenèse actuelle: Contribution à l'étude géomorphologique du Sénégal nord-occidental, Thèse de 3^e cycle, UCAD, 290 p.
- SY A. A. (2013): Dynamique sédimentaire et risques actuels dans l'axe Saint-Louis-Gandiol, littoral Nord du Sénégal, littoral Nord du Sénégal, Thèse de Doctorat, UGB, 293 p.
- SY B. A. (2008): Milieux, Sécheresse climatique et érosion éolienne. Étude géomorphologique du Sahel sénégalais, thèse de Doctorat d'Etat, UGB, UFR-LSH, 429 p.
- SY B. A.; Bilbao I. A. et SY A. A. (2011): Résultats des mesures et des observations in situ du mouvement des débits solides éoliens à la station de Gadga dans le Gandiolais au Sénégal, Revue de Géographie du Laboratoire Leïdi, N°09, pp: 90-104.
- TANGARA A. (2010): «Données anémométriques et charriage de sable sur la cote Nord du Sénégal: cas des secteurs de Kayar et Mboro» in Revue de géographie du Laboratoire Leïdi, UGB, n°8, pp: 145-153.
- VEYRET Y. et REGHEZZA M. (2005): Aléas et risques dans l'analyse géographique, Annale des mines, Université de Paris X-Nanterre, pp: 61-69.