

Bilan de masse de l'érosion éolienne à l'échelle d'un terroir sahélien : rôle des jachères

Jean-Louis Rajot*

Lorsque le mot « érosion » est employé sans épithète, c'est généralement d'érosion hydrique qu'il s'agit. Pourtant au Sahel, de nombreuses études montrent que l'érosion éolienne mobilise également des quantités considérables de sols. Sterk & Stein, (1997) ont calculé une perte en sol nette de quarante-cinq tonnes à l'hectare, survenue en seulement quatre tempêtes dans une parcelle cultivée en station expérimentale. Buerkert *et al.* (1996) obtiennent en 1994 par des mesures microtopographiques des pertes de cent soixante tonnes à l'hectare pour le même type d'événement et le même site expérimental. Biielders *et al.* (1999) estiment à cent dix-neuf tonnes à l'hectare les pertes en terre moyennes en trois années sur un sol nu cultivé en mil en milieu paysan. Pour comparaison, Collinet & Valentin (1985) ont estimé par simulation de pluie sur des sols nus des pertes en terre par érosion hydrique variant de quatre-vingts tonnes à l'hectare par an en Côte-d'Ivoire (2000 mm de pluie) à deux tonnes à l'hectare par an au Nord du Sahel (150 mm de pluie). Dans la zone étudiée, à l'échelle de la parcelle cultivée, les pertes en terres dues à l'érosion éolienne seraient donc, en moyenne, plus importantes que celles dues à l'érosion hydrique. Par ailleurs, elles affectent spécifiquement la surface du sol. Or, les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, sur lesquels reposent toute la production agricole vivrière de cette zone, se développent sur des accumulations sableuses éoliennes qui représentent quatre-vingts pour cent de la surface du Niger méridional (Gavaud, 1977). L'essentiel des réserves en nutriments de ces sols est concentré dans les quelques centimètres de l'horizon de surface avec un très faible taux d'argile (5 % en moyenne) et de matière organique (0,3 % de C organique en moyenne). Ainsi, au cours des quatre tempêtes citées plus haut, Sterk *et al.* (1996) ont mesuré des pertes de cinquante-sept et six kilogrammes à l'hectare respectivement en potassium et en phosphore. Ces valeurs correspondent aux quantités requises pour une production annuelle moyenne de mil (2000 kg de paille et 600 kg de grain.ha⁻¹).

Cependant, ces données récentes qui montrent l'ampleur des processus éoliens ne concernent que les événements qui se produisent en début de saison des pluies et ne sont valables qu'à l'échelle de la parcelle cultivée. L'objectif de ce travail est de prendre en compte l'érosion éolienne à l'échelle d'un cycle saisonnier complet et d'estimer les quantités de sols réellement perdues lorsque l'on prend en compte non plus la parcelle, mais un terroir de 25 × 25 km dans la région de Niamey.

* Institut de recherche pour le développement (I.R.D., ex-Orstom)-Lisa-C.N.R.S. UM.M.R.7583, université Paris XII, 61, avenue du Général-de-Gaulle, 94010 Créteil (France).

Matériel et méthodes

Site d'étude

Le champ et la jachère étudiés (13°31'30" Nord, 2°38'21" Est) font partie du terroir de Banizoumbou, soixante kilomètres à l'est de Niamey, sous un climat caractéristique du Sahel avec cinq cents millimètres de pluie annuelle. Ils sont situés sur un grand épandage sableux long de plusieurs kilomètres orienté est-ouest, vestige de l'erg ancien. Les deux parcelles présentent le même sol ferrugineux tropical sableux (Gavaud 1977) - *Sandy Siliceous Isohyperthermic Psammentic Paleustalfs* (West et al., 1984) - typique des sols cultivés de la zone d'étude. L'horizon superficiel (0-5 cm) se caractérise par une très faible teneur en fines particules (2,8 % d'argile et 2,4 % de limons) et un stock de carbone organique également très faible (0,2 %).

Distants de deux kilomètres du village, le secteur est cultivé traditionnellement en faisant alterner périodes de culture et de jachère sans apport de fumure organique (De Rouw, 2000). Le champ étudié est ainsi cultivé depuis 1992 après une période de huit ans de jachère ; la jachère est en place depuis 1991 après une période de culture de cinq ans. Le champ a une surface de vingt-cinq hectares et la jachère d'environ huit hectares mais elle est entourée d'autres parcelles de jachère à l'est et au nord qui créent ainsi une surface équivalente à celle du champ.

Dynamique saisonnière

La jachère âgée de six ans en 1996 présente un taux de recouvrement végétal d'environ vingt pour cent dû aux arbustes (*Guiera senegalensis*). Le taux de recouvrement par les herbacées, essentiellement annuelles, dépasse cinquante pour cent au maximum de leur développement en septembre-octobre, mais décroît jusqu'à près de zéro pour cent en début de saison des pluies en mai du fait du pâturage par le bétail et de la consommation de la litière par les termites. En février 1996, un incendie accidentel a détruit la totalité du couvert herbacé.

Le champ présente une forte dynamique annuelle avec des taux de recouvrement par la culture de mil (*Pennisetum glaucum*) associé au niébé (*Vigna unguiculata*) et à l'oseille (*Hibiscus sabdariffa*) qui atteignent quinze pour cent en octobre pour décroître à deux pour cent en mai.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental de la jachère est le même que celui du champ. Il en est distant de quatre cent cinquante mètres à l'est. Ils sont situés au centre des parcelles. Des mâts météorologiques permettent de mesurer les profils de vitesses de vent et de température ainsi que la direction du vent.

Le flux de sédiment horizontal (F_H) est obtenu grâce à quatre mâts équipés chacun de trois collecteurs de sable de type BSNE (Fryrear, 1986) placés à dix, vingt-cinq et cinquante centimètres de haut. Ils sont maintenus en place durant toute l'année à une distance de trente mètres des mâts météorologiques selon les directions nord, sud, est et ouest. Les sédiments piégés sont récupérés après chaque événement d'érosion pour être pesés (après passage à l'étuve (2 jours, 105 C) si une pluie a eu lieu après l'érosion éolienne). Le profil de flux est obtenu en ajustant l'équation théorique exponentielle (1) aux valeurs moyennes mesurées par les trois capteurs (Fryrear & Saleh, 1993).

$$Q(z) = a e^{-bz} \quad (1)$$

$Q(z)$ = flux horizontal à la hauteur z en g.cm^{-2} ; z = hauteur depuis le sol en centimètres; a et b constantes.

Le flux horizontal total F_H (en g.cm^{-1}) est calculé en intégrant l'équation (1) jusqu'à soixante centimètres de hauteur.

Le flux vertical d'érosion (F_V) est considéré, en première approche, comme une fraction constante du flux horizontal (Marticorena & Bergametti, 1995). La constante de transfert entre les deux flux, a ($F_V = a F_H$), est obtenue en appliquant l'équation proposée par Marticorena & Bergametti, (1995) qui tient compte de la teneur en argile de l'horizon de surface des sols (2).

$$\log(a) = 0,134 \times \% \text{ argile} - 6 \quad (2)$$

La constante ainsi obtenue pour nos sols avec un taux d'argile de 2,8 % vaut $2,37 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^{-1}$.

Le flux de dépôt est mesuré directement à partir d'un capteur passif de type Capyr (Orange *et al.*, 1990), dont l'ouverture ($0,25 \text{ m}^2$) est placée à trois mètres de haut par rapport au sol. Les Capyr, placés au centre du champ et de la jachère, sont relevés quotidiennement par lavage de la cuve à l'eau distillée et filtration sur filtres millipore à 0,45 microns en acétate de cellulose prépesés. Ils sont passés deux jours à l'étuve à soixante-dix degrés Celsius et pesés de nouveau au dixième de milligrammes. Les résultats expérimentaux montrent que les sédiments récoltés dans les Capyr comprennent un pourcentage non négligeable de particules dont la taille est supérieure à vingt microns (Herrmann, 1996). Or le flux vertical d'érosion estimé avec la méthode présentée ci-dessus ne prend en compte que des particules inférieures à vingt microns. En utilisant les granulométries obtenues dans la même région d'étude données par Herrmann, (1996) nous avons corrigé les flux de dépôts pour ne prendre en compte que les plus fines particules ($20 \mu\text{m}$). La correction est de -11 % pour la période d'harmattan du 16 octobre au 31 avril et de -41 % pour la période de mousson du 1^{er} mai au 15 octobre. La présence de particules supérieures à vingt microns dans les capteurs s'explique sans doute par des événements d'érosion éolienne locale (Pye, 1987), sous forme de tourbillons pendant l'harmattan et sous forme de tempêtes pendant la mousson.

Résultats et discussion

Dépôts

Les dépôts bruts mesurés dans le Capyr du champ et celui de la jachère sont significativement corrélés entre eux (Figure 1). La pente de la droite de corrélation (1,066) montre que les quantités mesurées sont sensiblement les mêmes sur les deux sites. Nous considérerons donc dans la suite de l'étude que les dépôts sont répartis de façon homogène sur l'ensemble du terroir étudié. Ils seront représentés par les valeurs du Capyr de la jachère dont les données présentent le moins de lacunes temporelles. La figure 2 montre l'évolution des dépôts en fonction de la saison. La période d'harmattan se caractérise par des pics larges qui augmentent d'intensité d'octobre à mars. Ils correspondent aux événements de brume sèche qui durent généralement plusieurs jours. Le bruit de fond, qui augmente également pendant cette période, traduit une atmosphère toujours relativement chargée en poussières. Les mois de mai et juin correspondent au début de la saison des pluies et se caractérisent par des pics nombreux et intenses de faibles largeurs qui marquent le passage des tempêtes. Le bruit de fond diminue, l'atmosphère étant de plus en plus lessivée par les pluies. La fin de la saison des pluies, d'août à octobre, présente quelques pics de dépôts de faible intensité et un bruit de fond très faible ce qui correspond au passage de tempêtes et à une atmosphère généralement très peu chargée. Le mois d'avril est une période de transition entre l'harmattan et le début de la saison des pluies.

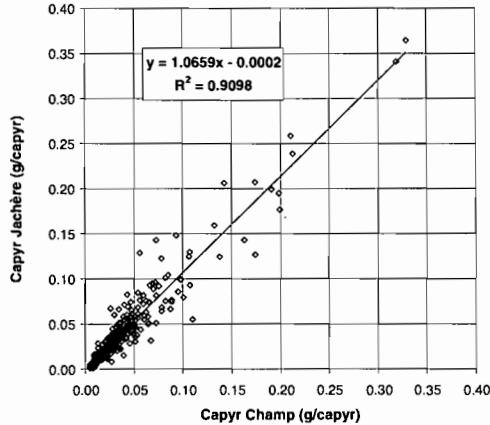


Figure 1. Corrélation entre les masses de poussières récoltées dans les capteurs de dépôt passifs (CAPYR) de la jachère et du champ (g par capteur).

Figure 1. Correlation between mass of dust collected in passive deposition traps (CAPYR) placed in the studied fallow and field (g by dust trap).

La quantité totale de sédiments déposée sans correction en fonction de la taille est de sept cent quarante kilogrammes à l'hectare pour l'année 1996. Cette valeur est du même ordre de grandeur que celles trouvées par Herrmann (1996) avec le même type de dispositif et dans la même région pour les années 1992 à 1994 (respectivement, 1 250, 850 et 760 kg.ha⁻¹). Elle est plus faible que les valeurs moyennes de deux mille kilogrammes à l'hectare trouvées par Drees *et al.* (1993) pour les années 1987 à 1989 sur les mêmes sites, mais cet auteur a manifestement piégé plus de sédiments grossiers d'origine locale dans ses collecteurs d'un type légèrement différent du nôtre.

Érosion

Les calculs d'érosion obtenus à partir de quatre dispositifs BSNE distants de quarante mètres dans le champ et dans la jachère montrent des coefficients de variation respectivement de quarante-huit et de soixante-deux pour cent. Ces coefficients sont de l'ordre de ceux obtenus dans un champ expérimental de mil par Sterk *et al.* (1996) avec vingt et un capteurs (36 %). Ils varient dans le champ au cours de la saison et atteignent un maximum en mars-avril et en août-septembre, au moment où les taux de recouvrement par la végétations sont élevés induisant une forte variabilité spatiale.

Les valeurs de flux horizontal obtenues varient de 1,5 à 380 grammes par centimètre dans le champ et de 0,5 à 53 grammes par centimètre dans la jachère. Ces valeurs sont comparables à celles obtenues en 1996 dans le même champ par Bielders *et al.* (1999), mais sont plus faibles que celles obtenues par ces auteurs en 1995 (2 400 g.cm⁻¹ au maximum) ou que celles de Sterk *et al.* (1996; 1 360 g.cm⁻¹ au maximum) obtenues en 1993 sur un champ expérimental avec un autre type de dispositif de mesure. Cette différence peut s'expliquer par les variations inter-annuelles dans l'intensité des événements érosifs.

À l'inverse des dépôts qui se produisent chaque jour de l'année, l'érosion ne s'observe qu'au cours d'événements ponctuels qui durent quelques heures au maximum. Trente-huit événements érosifs ont été enregistrés dans le champ contre vingt-trois dans la jachère. Dans le champ, vingt-neuf événements donnent un flux de plus de dix grammes par centimètre pour seulement six dans la jachère (Figure 3). Les quantités de sédiments mobilisées dans la

jachère représentent moins de cinq pour cent des quantités mobilisées dans le champ. Néanmoins, il est remarquable de mesurer une érosion non négligeable dans la jachère malgré le taux toujours important de recouvrement végétal dû aux arbustes. Cela ne se produit que pour les plus fortes tempêtes, lorsque le flux horizontal dépasse deux cents grammes par centimètre dans le champ (Figure 3) et avant que les herbacées ne se développent, jusqu'au tout début du mois de juillet. De la même façon, la dynamique saisonnière est très marquée dans le champ : il n'y a pas d'événements importants en période d'harmattan ni dans la deuxième partie de la saison des pluies lorsque la litière ou la culture protège suffisamment la surface du sol. L'essentiel se produit en mai et juin au début de la saison des pluies (Figure 2).

Bilan

Si l'on se place à l'échelle de la parcelle de champ cultivé pour réaliser un bilan, il faut prendre en compte le flux horizontal de sédiment formé de particules grossières (jusqu'à 500 μm) qui se déplacent par saltation sur de courtes distances. Il est clair alors qu'à cette échelle l'érosion est bien supérieure aux dépôts (Sterk *et al.* 1996), même s'il existe une forte redistribution des sédiments au sein même du champ en fonction du taux de recouvrement par la végétation (Bielders *et al.* 1999). L'inverse se produit à l'échelle de la parcelle de jachère qui piège rapidement l'essentiel des sédiments grossiers exportés du champ.

En revanche, à l'échelle du terroir (25 \times 25 km) qui est ici pris en compte, il ne faut considérer que les sédiments fins ($\sim 20 \mu\text{m}$) susceptibles d'être réellement transférés sur de grandes distances (Pye, 1987). Après correction des quantités totales déposées (740 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) pour ne retenir que les particules inférieures à vingt microns, on obtient une valeur annuelle de dépôt de cinq cent trente kilogrammes à l'hectare pour 1996 (fig. 4). En appliquant le coefficient de transfert aux flux horizontaux mesurés, on obtient des pertes en sédiment fin de neuf cent kilogrammes à l'hectare dans le champ et de quarante dans la jachère, pour la même année 1996 (Figure 4). La figure 4 montre que les dépôts de poussières sont toujours supérieurs à l'érosion dans la jachère alors que l'inverse se produit dès le début du mois de juin dans le champ. En terme de bilan, une surface de type champ a donc fourni trois cent

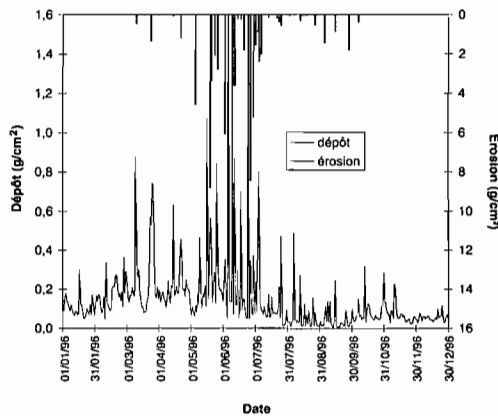


Figure 2. Quantités de poussières (de taille μm) déposée ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ par jour) ou érodée ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ par événement) au cours de l'année 1996.

Figure 2. Mass of dust (size μm) deposited ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ per day) or eroded ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ per wind-storm) during 1996 year.

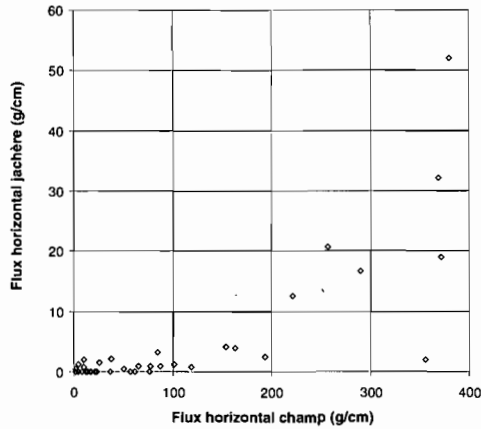


Figure 3. Flux horizontaux totaux de sédiment par événement ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}$) de la jachère en fonction des flux du champ pour l'année 1996.

Figure 3. Total horizontal sediment fluxes for each wind storm ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}$) in the fallow area versus fluxes from the field, during 1996 year.

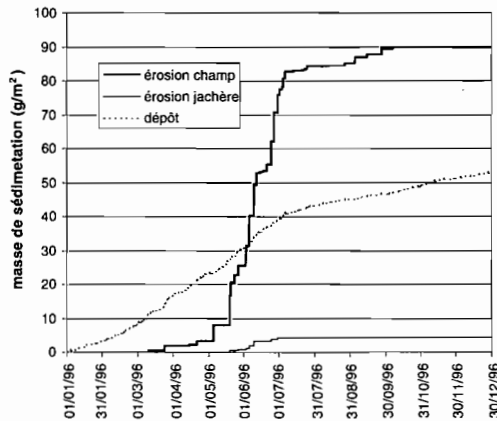


Figure 4. Masse de sédiments (de taille μm) érodés d'une parcelle de champ et d'une parcelle de jachère et masse de sédiments (de taille μm) déposés pour tout type d'état de surface, cumulées sur l'année 1996.

Figure 4. Mass of dust (size μm) eroded from a field and from a fallow area cumulated over 1996. Mass of deposited dust for all soil surface type, cumulated over the same year.

soixante-dix kilogrammes à l'hectare de poussières exportées hors du terroir alors qu'une surface de type jachère en a reçu quatre cent quatre-vingt-dix à l'hectare en 1996. Le terroir étudié comporte également des plateaux. La nature très argileuse de leur sol, leur fort taux d'encroûtement et le type de végétation qui les recouvre (la brousse tigrée souvent organisée en bandes concentriques) permettent de supposer qu'ils ne subissent pas d'érosion éolienne. On obtiendrait ainsi une valeur de dépôt pour ce type de surface de cinq cent trente kilogrammes à l'hectare.

Pour spatialiser ces données à l'échelle du terroir, il faut supposer vérifiées *et al.* (1998) obtiennent des pertes en terre de seize mille cinq cent kilogrammes à l'hectare par an pour

les trente dernières années sur l'ensemble d'un terroir immédiatement voisin du notre. Ces résultats obtenus avec la méthode du ^{137}Cs prennent également en compte l'érosion hydrique. Néanmoins, sachant que les écoulements sont endoréiques sur la zone d'étude, de telles pertes ne peuvent s'expliquer que par érosion éolienne. Cette valeur est en contradiction avec nos résultats d'autant plus que, dans les trente dernières années, le pourcentage de champs cultivés a augmenté par rapport aux jachères (Loireau, 1998). Le bilan que nous obtenons pour 1996 correspond sans doute ainsi aux plus faibles valeurs possible sur cette durée si l'on considère les dépôts comme sensiblement constants ce qui est vérifié au moins pour la dizaine d'années antérieures (Drees *et al.*, 1993; Herrmann, 1996). Par ailleurs, même en considérant un terroir sans plateau totalement cultivé, on obtiendrait une perte maximale de trois cent soixante-dix kilogrammes à l'hectare par an. Il semble que les valeurs proposées par Chappell *et al.* (1998) soient largement surestimées.

Conclusion

Le bilan de l'érosion éolienne à l'échelle d'un terroir sahélien de 25×25 km montre que la région étudiée est actuellement une zone de dépôt. Cela est dû à la présence de jachères sur la moitié de son terroir cultivable. En effet, en utilisant les valeurs obtenues pour 1996 et en faisant l'hypothèse que les dépôts restent relativement constant, il apparaît qu'une diminution de six pour cent de la surface des jachères au profit des champs cultivés entraînerait un bilan nul sur l'ensemble des terres cultivables. La situation actuelle du terroir de Bani-zoumbou est donc proche de l'équilibre. Une faible diminution de la surface des jachères suffirait à provoquer des pertes nettes par érosion éolienne de particules fines de l'horizon superficiel et donc, à terme, un appauvrissement généralisé des sols.

Références

- Biielders C., Michels K. & Rajot J.-L. (1999). « Management Practices to Reduce Soil Losses by Wind Erosion in Niger, West Africa », *Soil Sci. Soc. Am. J.*
- Buerkert A., Lamers J.P.A., Marschner H. & Bationo A. (1996). « Input of mineral nutrients and crop residue mulch reduce Wind erosion effects on millet in Sahel », in Buerkert *et al.* (1996) : pp. 145-160.
- Buerkert B., Allison B.E. & Von Oppen M. (éd.) (1996). *Wind erosion in West Africa : The problem and its control*, Proc. of Intern. Symp., Univ. Hohenheim, Stuttgart (Germany), 5-7 Dec. 1994.
- Chappell A., Warren A., Oliver M.A. & Charlton M. (1998) « The utility of ^{137}Cs for measuring soil redistribution rates in southwest Niger », *Geoderma*, n° 81 : pp. 313-337.
- Collinet J. & Valentin C. (1985) « Evaluation of factors influencing water erosion in West Africa using rainfall simulation », *Challenges in African Hydrology and Water Resources*, IAHS Publ., n° 144 : pp. 451-461.
- De Rouw A. (2000) « Rendements élevés et rendements sûrs : deux objectifs des agriculteurs sahéliens. », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 133-141.
- Drees L.R., Manu A. & Wilding L.P. (1993). « Characteristics of aeolian dusts in Niger, West Africa », *Geoderma*, n° 59 : pp. 213-233.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (2000). *La jachère en Afrique tropicale*, 2 vol., vol. I, *Actes du séminaire international*, Dakar (Sénégal), 13-16 avr. 1999, 1023 p. ; vol. II, *De la jachère naturelle à la jachère améliorée : Le point des connaissances*, Paris, John Libbey.
- Fryrear D.W. (1986) « A field dust sampler », *J. Soil and Water Conserv.*, n° 41 : pp. 185-188.
- Fryrear D.W. & Saleh A. (1993). « Field wind erosion : vertical distribution », *Soil Sci.*, n° 155 : pp. 294-300.

- Gavaud M. (1977). *Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional*, Paris, Orstom, 102 p. (coll. *Travaux et documents*, n°76).
- Herrmann L. (1996). *Staubdeposition auf Böden West-Afrikas : Eigenschaften und Herkunftsgebiete der stäub und ihr Einfluß auf Boden und Standortseigenschaften*. Hohenheimer Bodenkundlich Hefte 36. Universität d'Hohenheim, Stuttgart, 239 p.
- Loireau M. (1998). *Espaces-Ressources-Usages : Spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques au Sahel nigérien*, th. doct. géographie, université Montpellier-III, Paul-Valéry, 400 p.
- Marticorena B. & Bergametti G. (1995). « Modeling the atmospheric dust cycle : I. Design of a soil-derived dust emission scheme », *J. Geophys. Res.*, n° 100 : pp. 16415-16430.
- Orange D., Gac J.-Y., Probst J.-L. & Tanre D. (1990). « Mesure du dépôt au sol des aérosols désertiques, une méthode simple de prélèvement : le capteur pyramidal », *C.R. Acad. Sc.*, série II : pp. 167-172.
- Pye K. (1987). *Aeolian dust and dust deposits*, New York (NY), Academic Press, 334 p.
- Sterk G. & Stein A. (1997). « Mapping Wind blow mass transport by modelling variability in space and time », *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n° 61 : pp. 232-239.
- Sterk G., Herrmann L.A. & Bationo A. (1996). « Wind-blown nutrient transport and soil productivity changes in southwest Niger », *Land degradation and development*, n° 7 : pp. 325-335.
- West L.T., Wilding L.P., Landeck J.K. & Calhoun F.G. (1984). *Soil survey of the ICRISAT Sahelian Center, Niger, West Africa*. Tropsoils, Texas A & M University, College station, TX.

La jachère en Afrique tropicale

Rôles, Aménagement, Alternatives

Ch. Floret et R. Pontanier

Volume 1

Actes du Séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999



**La jachère en Afrique tropicale.
Rôles, aménagement, alternatives**

*Fallows in tropical Africa.
Roles, Management, Alternatives*

Volume I

Actes du Séminaire international

Dakar, 13-16 avril 1999

Proceedings of the International Seminary

Dakar, Avril 13-16, 1999

Édité par

Ch. Floret et R. Pontanier



ISBN : 2-7099-1442-5

ISBN : 2-7420-0301-0

Éditions John Libbey Eurotext

127, avenue de la République, 92120 Montrouge, France

Tél : (1) 46.73.06.60

e-mail: contact@john-libbey.eurotext.fr

[http : www.john-Libbey.eurotext.fr](http://www.john-Libbey.eurotext.fr)

John Libbey and Company Ltd

163-169 Brompton Road,

Knightsbridge,

London SW3 1PY England

Tel : 44(0) 23 80 65 02 08

John Libbey CIC

CIC Edizioni Internazionali

Corso Trieste 42

00198 Roma, Italia

Tel. : 39 06 841 26 73

© John Libbey Eurotext, 2000, Paris