

**LES FACTEURS D'INSECURITE LIES A LA DEGRADATION DES RESSOURCES PASTORALES:
PRATIQUES D'EXPLOITATION DES TERRES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE**

Pierre Hiernaux, Centre National de Recherche Scientifique (CNRS), Géosciences Environnement Toulouse (GET), France, pierre.hiernaux@get.obs-mip.fr

Résumé

Les ressources pastorales des espaces saharo-sahéliens, eau d'abreuvement et fourrages, ont fortement évolué au cours des cinq dernières décennies, en quantité, qualité, distribution spatiale et accessibilité au bétail. Ces évolutions sont complexes car orientées différemment selon les périodes et les éléments du paysage, avec des causes multiples et interactives: variations du climat, des systèmes de production agraires, des sols et de l'occupation des sols. La végétation des sols sableux s'avère très résiliente et est à la base du 'reverdissement' des télédétecteurs, alors que celle des glacis est fragile et sujette à 'désertification'. Les prédictions des modèles climatiques divergent sur les pluies sauf sur leur plus grande irrégularité à venir, ce qui devrait exacerber les tendances contradictoires de résilience et de dégradation. Par ailleurs, l'essor démographique a généré une expansion des cultures au détriment des parcours confinés aux terres dont le potentiel est marginal, alors que les effectifs du bétail et la sédentarité des troupeaux progressaient, tous contribuant au renforcement de la charge animale. Certes, la production végétale des cultures est souvent supérieure à celle des parcours mais la qualité, disponibilité et l'accès au bétail de ses composantes fourragères sont réduites avec une privatisation croissante de l'usage de la ressource. Feux exceptés, la gestion pastorale recycle au moins les 2/3 de la production végétale in situ auxquels s'ajoutent l'excrétion de près de la moitié de la matière organique et 70 à 90% des minéraux ingérés, tous contribuant à la fertilité des sols. Certes, la pâture de saison des pluies affecte localement la production herbacée mais c'est surtout à long terme quelle modifie la flore en fonction de l'intensité et du calendrier de pâture. Intense, elle favorise soit des espèces à cycle court appréciées mais peu productives, soit des espèces nitrophiles très productives, mais sans valeur fourragère. Finalement, lorsqu'elle n'est pas compensée par des intrants, l'alimentation du bétail par la pâture s'est appauvrie entraînant une baisse des performances reproductives qui vulnérabilise les élevages pastoraux aux aléas de toute nature. La mobilité pastorale a toujours visé l'optimisation de l'offre fourragère. Elle reste une stratégie majeure de réponse aux crises fourragères et permet d'optimiser le rôle bénéfique de la pâture sur la végétation et les sols et d'en réduire les effets dommageables comme l'expansion des refus.

Summary:

Security losses related to the degradation of pastoral resources: land use practices and climate changes

Pastoral resources of the Sahara-Sahel belts, drinking water and fodder, have changed considerably over the past five decades, in quantity, quality, spatial distribution and accessibility to livestock. These changes are complex because oriented differently over time and landscape components, with multiple and interactive causes: variations in climate, agricultural production system, soils and land use. The vegetation of deep sandy soils is highly resilient and funds the 're-greening' trend of the remote sensors, while that of shallow soils is fragile and prone to 'desertification'. Predictions of climate models diverge on rainfalls except for their greater irregularity which should exacerbate conflicting trends between the resilience and degradation pathways. In addition, population growth has generated an expansion of crops over rangelands increasingly confined to marginal lands, while livestock numbers increased with herds more sedentary, all contributing to rising stocking rates. Although crop production is often higher than rangeland's, the quality, availability and access to livestock of the feed components are reduced with increasing privatization of the resource use. Bush fire excluded, pastoral management recycles in situ at least 2/3 of the production. In addition, livestock excrete nearly half of the organic matter and 70 to 90% of ingested minerals, all contributing to soil fertility. Although grazing during the rainy season locally affects grass production, the main effect of grazing is on the long term, though species composition that depends on the intensity and

timing of grazing. Intense grazing favors either short-cycle species palatable but less productive, or very productive eutrophic species but with poor forage value. Finally, when not offset by inputs, cattle grazing feed is depleted by all these trends resulting in lower reproductive performance rendering pastoral livestock vulnerable to any crisis. Pastoral mobility has always aimed to optimize forage supply. It remains a major adaptation strategy to crisis and also optimizes the beneficial role of grazing on vegetation and soils and reduces its damaging effects such as the expansion of refusal.

Mots clés: pâture, bilan fourrager, recyclage organique, résilience, dégradation

Les ressources pastorales des espaces saharo-sahéliens, eaux d'abreuvement et fourrages, ont fortement évolué au cours des cinq dernières décennies, en quantité, qualité, distribution spatiale et accessibilité au bétail. Ces évolutions sont complexes car orientées différemment selon les périodes et les éléments du paysage. Ces évolutions sont aussi complexes par leur causes multiples et interactives: variations du climat et des sols d'une part, des systèmes de production agraires et de l'occupation des sols d'autre part.

L'effet des variations et changements climatiques sur les ressources pastorales

Les variations climatiques

Les variations du volume et de la distribution des pluies de mousson sont un facteur majeur de la dynamique des ressources. En effet, elles déterminent le stockage des eaux de ruissellement et la recharge des nappes, la production végétale herbacée, celle du feuillage des plantes ligneuses. Cependant, les relations entre pluviosité et production végétale ne sont pas linéaires (Hiernaux et al., 2009a) car elles sont contraintes par les processus de la dynamique des populations (dispersion des semences, structure des peuplements) et par la fertilité des sols (Penning de Vries & Djiteye, 1982). À l'échelle des cinq dernières décennies, trois grandes périodes climatiques se sont succédées. Deux décennies de pluies abondantes et régulières jusqu'à la fin des années 60, ont été suivies de 25 années de pluies faibles et irrégulières émaillées de deux sécheresses régionales sévères en 1972-73 et 1983-84. Et enfin, depuis 1994, un retour à des pluviosités annuelles moyennes mais avec de fortes variations interannuelles et une fréquence plus élevée de très fortes précipitations (Lebel & Ali, 2009). En plus de leur effet à court terme, spectaculaire et parfois catastrophique, les événements extrêmes de sécheresse ou d'inondation ont un impact à long terme sur les peuplements ligneux (mortalité de masse, régénération par cohortes), sur les états de surface et l'érosion des sols et les systèmes hydriques. Ces effets entraînent de profonds changements des cycles biogéochimiques et du fonctionnement de l'écosystème (Hiernaux et al. 2009b, Gardelle et al. 2010). En outre, ces effets diffèrent par leur intensité et leur orientation d'un élément du paysage à l'autre: si la végétation des sols sableux s'avère très résiliente aux accidents climatiques, celles des glacis d'érosion et affleurement rocheux sont beaucoup plus fragiles et restent marquées sur le long terme par l'effet des sécheresses. Enfin dans les vallées et dépressions aux sols à texture fine les effets sont hétérogènes et varient au grès des modifications locales des systèmes hydriques (Hiernaux et al. 2009a,c). Abstraction faite de la gestion agricole et pastorale, la forte résilience des végétations sur sols sableux et dans une partie des vallées commanderait la tendance au 'reverdissement du Sahel' observée depuis les satellites (Dardel et al. 2013). Par contre l'ouverture de la végétation, le déboisement et l'érosion persistants observés sur les affleurements rocheux, glacis d'érosion et sur une partie des vallées relèveraient de la tendance à la dégradation de l'écosystème, ou désertification. Les deux tendances contradictoires peuvent donc voisiner dans les paysages (Brandt et al., 2013).

Les changements climatiques

Les changements climatiques globaux avérés dans les espaces saharo-sahéliens portent sur la hausse des températures (surtout en saison sèche) et de la concentration en gaz à effet de serre alors que la tendance des pluviosités est variable (IPCC, 2007). Les modèles de circulation générale prédisent une poursuite de la hausse des températures et des concentrations en gaz carbonique, mais ne convergent pas sur la tendance des pluies si ce n'est pour prédire une plus grande variabilité des précipitations (gros orages et épisodes secs au cours de la saison des pluies plus fréquents). À long terme, la hausse des températures et concentrations en gaz carbonique pourraient infléchir la composition floristique (équilibre entre plante à photosynthèse de type C3 et C4) et plutôt élever la production végétale surtout si elles sont associées à une hausse des pluies (Ghannoum, 2009). Par contre l'irrégularité croissante de la distribution des pluies devrait exacerber les tendances contradictoires, avec la poursuite de la dégradation du couvert végétal sur les glacis d'érosion, le renforcement des écoulements et remplissage des mares et aquifères, alors que les parcours sur sols sableux devraient maintenir leur résilience aux variations climatiques.

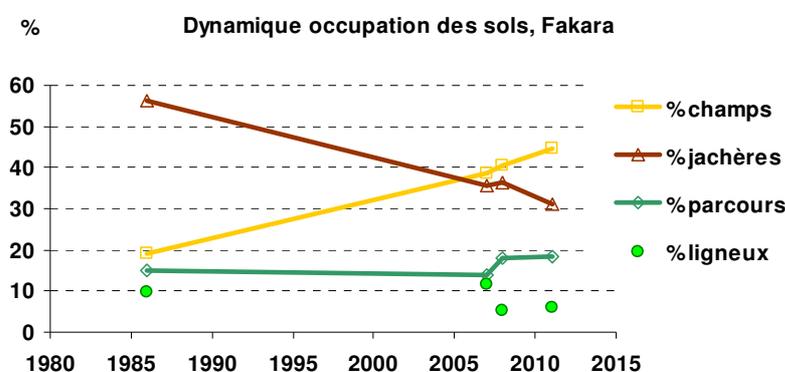
Un contexte démographique, social et économique très dynamique

Les espaces saharo-sahéliens ont connu au cours des cinq dernières décennies une croissance forte et régulière des populations rurales (taux annuels de 2,5-3%) et un essor urbain sans précédent (Guengant et al. 2003). Sans profonde mutation technologique des modes de production agricole, cette démographie s'est traduite par une expansion des surfaces cultivées dans des proportions voisines au moins jusqu'à la saturation du domaine cultivable qui est advenue localement en zones soudaniennes et sud-sahel, entraînant la réduction et le morcellement des espaces de parcours et de jachère, et les confinant aux terres les plus marginales pour la production comme illustré par l'évolution de l'occupation des sols sur la commune de Dantiandou dans l'ouest Niger (**Fig. 1**).

Taux annuels de changement sur la période (%)					
Cultures		Jachères		Parcours	
50-75	75-94	50-75	75-94	50-75	75-94
7.7	3.3	5.8	0.0	- 3.6	- 4.5

Figure 1. Dynamique historique de l'occupation des sols dans la commune de Dantiandou :

Tableau des taux annuels de changement d'occupation de sol entre 1950-1975 et 1975-1994 (cartes par photo-interprétation visuelle de photographies aériennes)



Dynamique de 1986 à 2011 établie par classification supervisée d'images LANDSAT et SPOT. L'expansion des champs se poursuit à un rythme moyen de 3.3% par an.

Parallèlement le cheptel a progressé même si les effectifs sont affectés par de lourdes pertes lors des sécheresses, et localement lors d'inondations, de pluies froides ou d'épizooties (Ickowicz et al., 2012). Cette augmentation des effectifs tient au croît naturel et aux partitions intergénérationnelles du cheptel pastoral, mais aussi au large développement de l'élevage au sein d'exploitations autrefois spécialisées dans les cultures (associées à un élevage de volaille et quelques petits ruminants) qui ont investi une partie des revenus des cultures de rente dans un cheptel le plus souvent sédentaire. Parallèlement une fraction des pasteurs se sont investi dans les cultures vivrières en se sédentarisant plus ou moins (bergers et troupeaux pratiquant des transhumances saisonnières pour optimiser l'offre fourragère). Il résulte de la réduction de surface et la fragmentation des terres de parcours (jachères comprises), de l'augmentation des effectifs du bétail, et de la sédentarité croissante des troupeaux, une forte progression de la charge animale sur l'écosystème en général et les parcours en particulier. Le renforcement de la charge animale est souvent présenté comme une des cause principale de la 'dégradation de l'écosystème' par 'surpâturage' (Dregne, 1992). Il convient toutefois de nuancer cette assertion que contredisent les 'tendances régionales au reverdissement du Sahel' mais aussi plusieurs suivis à long terme (Hiernaux et al. 2009a, b ; Miehé et al., 2010).

Impact des tendances sur le bilan fourrager

Les cultures produisent aussi des fourrages

Tout d'abord la mise en culture d'un parcours ne se traduit pas systématiquement par une perte sèche de ressources pastorales. La production végétale des cultures, et parfois sa fraction fourragère (chaumes et fanes, sons, adventices), est souvent supérieure à celle du parcours préexistant (Hiernaux et al. 2009c). Mais la qualité, le calendrier de disponibilité et l'accès au bétail de cette ressource sont profondément modifiés. En effet, si les fanes et sous-produits (tels que les sons) ont toujours été

appropriés et gérés par le cultivateur, les chaumes, mauvaises herbes et rejets ligneux, longtemps fourrages libres d'accès sur le champ une fois la récolte des grains faite, sont de plus en plus réservés pour une utilisation privée par le cultivateur (mise en meules sur le champ ou transport à la ferme).

A court terme, l'impact de la pâture est modéré, elle accélère le recyclage

Quelle que soit l'intensité de la charge animale, le cumul annuel du prélèvement fourrager des ruminants par la pâture se limite à 1/3 de la production du fait des pertes par piétinement, du prélèvement des autres herbivores et de la décomposition microbienne et fongique (Hiernaux et al., 2013). En conséquence, feux exceptés, la gestion pastorale recycle *in situ* au moins les 2/3 de la production végétale comme pour le bilan d'une forte pâture sur un parcours du Gourma (Fig. 2).

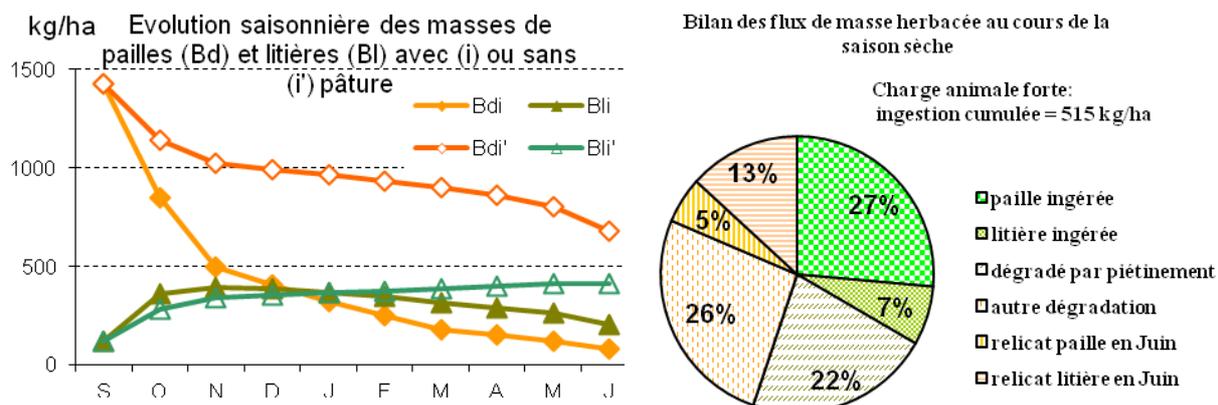


Figure 2. Evolution des masses de paille et de litière d'un parcours sahélien (Agoufou, Mali) au cours de la saison sèche avec et sans pâture. Bilan fourrager du site pour une forte charge (38UBT km⁻²)

En outre, les ruminants restituent par leurs excréments près de la moitié de la matière organique ingérée, et 70 à 90% des minéraux ingérés (Schlecht et al., 2006). Certes, la moitié de l'azote est excrétée par voie urinaire est largement perdue par volatilisation de l'ammonium, mais par ailleurs le dépôt des urines relève durablement le pH des sols acides (Somda Z.C. et al., 1995). Seule une fraction de ce recyclage advient sur les terres de parcours, une moitié au moins est concentrée sur les sites de repos (gîtes d'étape, parc, abords des campements et des points d'eau) opérant un transfert spatial et une concentration de la fertilité sur quelques sites privilégiés du paysage (Hiernaux et al. 1998 ; Manlay et al., 2004).

A long terme, l'impact de la pâture est modéré et biologiquement bénéfique

Reste l'impact de la pâture sur la production végétale qui se limite à la saison des pluies pour les herbacées annuelles, largement dominantes au Sahel (Hiernaux et Le Houerou, 2006). Même les plantes annuelles répondent au broutage par une reprise de la croissance végétative (augmentation du tallage des graminées, port en rosette ou branchu des dicotylédones) dont l'efficacité dépend du stade phénologique et de l'intensité du broutage (Ayantunde et al. 1999). À court terme, il y a donc risque de perte de production (dont le maximum est estimé à 50% de la production potentielle pour des charges très élevées et continues). Cependant, à moins que la charge soit maintenue artificiellement forte par le recours à une alimentation importée en saison sèche, la charge que peuvent supporter les ressources pastorales sur l'année limite ce risque à quelques sites très fréquentés le long des couloirs de passage, aux abords des points d'eau et des campements conformément aux principes du modèle de dynamique de la végétation dit en 'non-équilibre' (Wehrden von H. et al, 2012). En outre dans ces sites, l'effet à court terme est souvent masqué par l'effet à long terme de la pâture sélective sur la composition floristique des parcours. En effet, à plus long terme, la pâture sélective, le piétinement et le recyclage des excréments modifient la flore en fonction de la saison et de l'intensité de pâture. L'effet du piétinement sur la compaction des sols, souvent incriminé, dépend de la texture et de la teneur en matière organique des sols, et n'est finalement opérant que sur des sols humides et de texture équilibrée, et il est largement compensé par la destruction des croûtes qui facilite l'infiltration et s'enfouissement des semences. L'intensité modérée favorise les espèces dont les diaspores sont

diffusées par le bétail, à germination rapide et cycle court, plutôt des graminées assez productives, et entretiennent une bonne diversité très locale tout en homogénéisant la strate herbacée à l'échelle du paysage (Hiernaux, 1998). Plus intense et associée à une eutrophisation par une concentration des dépôts excrétoires, la pâture favorise toujours des espèces dont les diaspores sont diffusées par le bétail, à germination rapide, mais soit des espèces à cycle court qui résistent de ce fait à la pâture bien que bonne fourragères mais sont peu productives (*Zornia glochidiata*, *Tribulus terrestris*, *Tragus berteronianus*), soit des espèces nitrophiles à cycle plus long, très productives, et qui sont des refus fourragers au moins partiels (*Sida cordifolia*, *Cassia ssp.*, *Acanthospermum hispidum*...). En zone plus humide, la pâture intense associée à l'eutrophisation peut favoriser les ligneux et conduire à un embroussaillage local. La tendance à l'expansion de certains refus fourragers, souvent perçus comme des plantes invasives dues au 'surpâturage', est donc associée à la sédentarité du bétail et la concentration de ses déplacements (couloirs de passage, gîtes, parcs).

La résultante des tendances met en question la viabilité de l'élevage pastoral

La résultante de la réduction, du morcellement et de la marginalisation des espaces pastoraux, de l'extension locale des refus fourragers, associés à une hausse globale de la charge et d'une perte de mobilité est une moins bonne alimentation du bétail par la pâture. Les ressources fourragères des espaces agro-pastoraux, parcours, jachères et champs compris, permettent de moins en moins souvent d'assurer l'alimentation du bétail sur l'année comme c'est le cas pour le terroir de Dantiandou au Niger (Fig. 3). Lorsqu'elle n'est pas compensée par l'apport d'une supplémentation alimentaire ou une mobilité appropriée, cette situation entraîne une perte de productivité, avec une baisse des performances reproductives (âge à la première mise bas, taux de fécondité) qui rend vulnérables les élevages pastoraux aux aléas de toute nature (sécheresse, inondation, épizootie, vol, conflits). Il devient en effet difficile à l'éleveur de reconstituer son troupeau suite à une perte d'effectif accidentelle (Lessnoff et al., 2012).

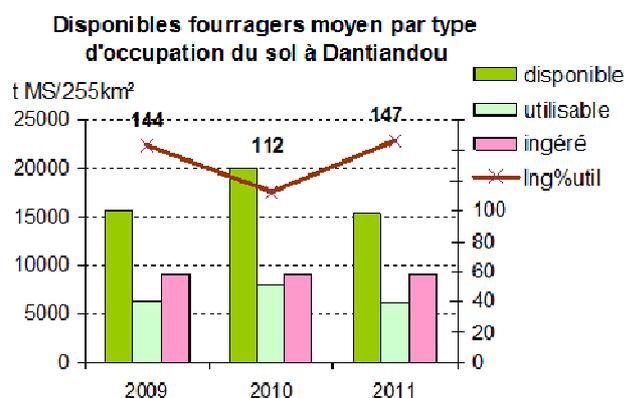


Figure 3.

Disponible fourrageur annuel, fraction utilisable du disponible comparé à l'ingestion fourragère cumulée du bétail séjournant sur le terroir de 11 villages de la commune de Dantiandou de 2009 à 2011. La courbe est celle de l'indice du rapport entre l'ingestion cumulée sur le cumul de la ressource fourragère utilisable (Ing%util).

La mobilité du bétail reste l'option majeure avec l'accès aux aliments du bétail.

De tous temps la mobilité pastorale a été une stratégie pour optimiser l'utilisation des ressources variables en quantité et qualité dans le temps et l'espace, et de fait un des principaux outils pour répondre aux crises sur les ressources. La mobilité pastorale concertée permettrait en outre d'optimiser le rôle bénéfique de la pâture sur la végétation et les sols et d'en réduire les effets dommageables. En effet, outre les bénéfices de l'élevage, le recyclage des fourrages par le bétail accélère la minéralisation et les cycles biogéochimiques ce qui favorise la productivité végétale et améliore la fertilité des sols (teneurs en matière organique, éléments minéraux et pH). La mobilité pastorale concertée limite par ailleurs l'expansion des refus fourragers promus par une pâture intense et continue du bétail sédentaire.

Références

- Ayantunde, A. A., Hiernaux, P., Fernandez-Rivera, S., van Keulen H., Udo, H.M.J., 1999.** *Selective grazing by cattle on spatially and seasonally heterogeneous rangelands in the Sahel.* J. of Arid Envir., 42: 261-279.
- Brandt, M., Romankiewicz, C. Spiekermann, R. & C. Samimi, 2013.** *Environmental change in time series and high resolution imagery - An interdisciplinary study in the Sahel of Mali and Senegal.* Journal of Arid Environments, in review.
- Dardel C., Kergoat L., Mougin E., Hiernaux P., Grippa M., 2013.** *Analysis of vegetation trends in Sahel using 30 years of remote sensing data (GIMMS-3g) and 28 years of field observations (Gourma/Mali, Fakara/Niger).* Submitted to Remote Sensing of Environment
- Dregne H.E. 1992** (Edit.)- *Degradation and Restoration of Arid lands.* ICASALS, Tech. Univ. Lubbock, Texas 289p.
- Fernández-Rivera S., Hiernaux P., Williams T.O., Turner M.D., Schlecht E., Salla A., Ayantunde A.A., & Sangaré M., 2005.** Nutritional constraints to grazing ruminants in the millet-cowpea-livestock farming system of the Sahel. *Coping with feed scarcity in smallholder livestock systems in developing countries* (eds Ayantunde A.A., Fernandez-Rivera S. & McCrabb G.), pp. 157-182, ILRI, Nairobi.
- Gardelle, J., Hiernaux, P., Kergoat, L., Grippa, M., 2010.** *Less rain, more water in ponds: a remote sensing study of the dynamics of surface waters from 1950 to present in pastoral Sahel (Gourma region, Mali).* Hydrol. Earth Syst. Sci., 14: 309-324
- Ghannoum O., 2009.** C-4 photosynthesis and water stress. *Annals of Botany* 103, 635-644.
- Guengant J.-P., M. Banoin and A. Quesnel, 2002.** *Dynamique des populations, disponibilité en terres et adaptation des régimes fonciers : le cas du Niger.* Gendreau Francis, Lututala Mumpasi, FAO, Rome : 155p
- Hiernaux P., 1998.** *Effects of grazing on plant species composition and spatial distribution in rangelands of the Sahel.* Plant Ecol, 138: 191-202.
- Hiernaux P., A. Ayantunde, A. Kalilou, E. Mougin, B. Gérard, F. Baup, M. Grippa, B. Djaby, 2009c,** *Resilience and productivity trends of crops, fallows and rangelands in Southwest Niger: impact of land use, management and climate changes.* Journal of Hydrology, 375 (1-2): 65-77
- Hiernaux P., Diarra L., Trichon V., Mougin, E., Baup F., 2009b,** *Woody plant population dynamics in response to climate changes from 1984 to 2006 in Sahel (Gourma, Mali).* Journal of Hydrology, 375 (1-2): 103-113
- Hiernaux, P. Fernández-Rivera, S., Schlecht, E., Turner, M.D. and Williams, T.O. 1998.** *Livestock-mediated nutrient transfers in Sahelian agro-ecosystems.* In: Renard, G., Neef, A., Becker, K. and von Oppen, M. (eds) *Soil Fertility Management in West African Land Use Systems.* Margraf Verlag, Weikersheim, Germany. pp. 339-347.
- Hiernaux, P., Le Houérou, H.N., 2006.** *Les parcours du Sahel.* Sècheresse, 17(1-2): 51-71.
- Hiernaux P., Mougin E., Diarra L., Soumaguel N., Lavenu[†] F., Tracol Y., Diawara M., 2009a,** *Rangeland response to rainfall and grazing pressure over two decades: herbaceous growth pattern, production and species composition in the Gourma, Mali.* Journal of Hydrology, 375 (1-2): 114-127
- Hiernaux P., Mougin E, Diawara M., Soumaguel N., Diarra L., 2013.** *How much does grazing contribute to herbaceous decay during the dry season in Sahel rangelands?* (submitted to Agriculture, Environment and Ecosystem)

- Ickowicz A., Ancy V., Corniaux C., Duteurtre G., Pocard-Cappuis R., Touré I., Vall E., Wane A., 2012.** *Crop-livestock production systems in the Sahel - increasing resilience for adaptation to climate change and preserving food security.* In Meybeck et al. (eds) 'Building resilience for adaptation to climate change in agriculture sector. Proc. Joint FAO-OECD workshop, Roma: 243-276
- IPCC, 2007.** Climate change 2007: synthesis report. 73p
- Lebel, T. & Ali, A., 2009. *Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007).* J of Hydrology, 375 (1-2), 52–64.
- Lesnoff M., Corniaux C., Hiernaux P., 2012.** *Sensitivity analysis of the recovery dynamics of a cattle population following drought in the Sahel region.* Ecological Modelling, 232: 28-39
- Manlay R.J., Ickowicz A., Masse D., Feller C., Richard D., 2004.** *Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of the West African savanna.* II Element flows and functioning of a mixed-farming system. Agricultural Systems 79: 83-107
- Manoli C., Ancy V., 2012.** *Sécurisation des systèmes pastoraux et dynamiques de changement : le cas des pasteurs migrants en ville au Sénégal.* Colloque « Mobilités, migrations, développement et environnement ». MOMIDEN, Pretoria
- Miehe S., Kluge J. von Wehrden, Retzer V., 2010.** *Long-term degradation of Sahelian rangeland detected by 27 years of field study in Senegal.* J. of Appl. Ecol., 47: 692-700
- Penning de Vries, F. W. T., Djiteye, M.A., (eds.), 1982.** — *La productivité des pâturages sahéliens, une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle,* Pudoc, Wageningen, Agric. Res. Rep, 525 p.
- Schlecht, E., Hiernaux, P., Turner, M.D., 2001.** *Mobilité régionale du bétail: nécessité et alternatives? Elevage et gestion de parcours au Sahel, implications pour le développement.* In Tielkes, E., Schlecht, E., Hiernaux, P., (eds), Verlag Grauer, Beuren-Stuttgart: 65-77.
- Schlecht, E., Hiernaux, P., Kadaouré, I., Hülsebusch, C., Mahler, F., 2006.** *A spatio-temporal analysis of forage availability and grazing and excretion behaviour of herded and free grazing cattle, sheep and goats in Western Niger.* Agric., Ecosys. and Envir. 113: 226-242
- Somda Z.C., Powell J.M., Fernandez-Rivera S. & Reed J. 1995.** *Feed factors affecting nutrient excretion by ruminants and the fate of nutrients when applied to soil.* In: Powell J.M., Fernández-Rivera S., Williams T.O., and Renard C. (eds) Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa. ILCA, Addis Ababa, Ethiopia. Vol 2, pp. 227-243.
- Wehrden von H., Hanspach J., Kaczensky P., Fisher J., and K. Wesche, 2012.** *Global assessment of the non-equilibrium concept in rangelands.* Ecological Applications, 22, 2: pp. 303-399