Chapitre 5

L'encroûtement des sols, ou comment sécheresse se met à rimer avec inondation... et désertification...

« La diminution de la pluviosité a pour première expression dans le paysage l'appauvrissement de la végétation et l'accroissement des zones dénudées. Les sols nus et appauvris en matières organiques deviennent instables et sujets à l'érosion et/ou aux phénomènes d'encroûtement. Cette modification des états de surface due aux actions conjuguées d'une longue période sèche et de pratiques culturales extensives font descendre bien au sud les paysages-types du Sahel. »

(Albergel et Valentin, 1988)

En guise d'introduction, laissons parler de grands connaisseurs des jachères sahéliennes :

> « En zone semi-aride de l'Ouest africain, la croûte d'érosion, caractérisée par une fine pellicule plasmique (mélange de particules fines d'argile et de limon) colmatant un horizon sous-jacent tassé, serait un des états de surface qui influencerait de façon extrême l'ensemble de ces propriétés (Casenave et Valentin, 1992). Au Sahel, le système traditionnel d'utilisation des sols consiste, généralement, en une phase de culture de courte durée suivie d'un abandon cultural plus ou moins long (ou phase de jachère) après la baisse des rendements. Dans la majeure partie de la zone sahélienne, ce système a aujourd'hui conduit à la saturation des agrosystèmes dont la principale caractéristique est l'augmentation de surfaces cultivées (Haywood, 1981) aux dépens, d'une part, des terres marginales et, d'autre part, des jachères dont la durée a été de plus en plus raccourcie ».
>
> « La forte corrélation observée entre ce phénomène et l'accroissement des surfaces érodées (Albergel et Valentin, 1988) pourrait, assez rapidement, conduire à l'installation d'un système écologique dégradé à niveau de productivité très bas » (Floret *et al.*, 1993).

> « Des résultats de l'étude de l'encroûtement pelliculaire des sols dans le paysage agraire de Banizoumbou, il ressort que la mise en culture, en favorisant l'allégement de la texture par érosion surtout hydrique et éolienne et en remaniant la couche de surface par les façons culturales répétitives, contrarie fortement la formation et l'extension de la croûte d'érosion. Lorsque, en revanche, le niveau d'anthropisation est demeuré faible (précédent cultural « récent ») et que la parcelle est en jachère, les sols ont tendance à subir un encroûtement très sévère ; cette forte susceptibilité à l'encroûtement des sols dès qu'ils sont mis en jachère serait probablement favorisée par l'enrichissement superficiel des sols en éléments fins éoliens piégés par la végétation qui se réinstalle après l'arrêt de la culture et par la baisse de l'activité des termites liée à l'absence des résidus de récolte. Aussi, l'efficacité de la jachère comme technique de restauration de propriétés de l'hydrodynamique de surface des sols sableux fins au Sahel ne serait optimale que pour une fourchette d'âge de jachère comprise entre 4 et 7 ans et en dehors de laquelle son influence tendrait plutôt à être négative » (Ambouta *et al.*, 1996).

Si les chercheurs de l'Orstom-IRD et leurs partenaires sahéliens (du Niger en particulier) ont bien montré comment l'encroûtement réduisait fortement la capacité de rétention en eau des sols, conduisant à une forme de « sahélisation » ou de désertification, il reste à vérifier si l'accroissement des coefficients de ruissellement est à l'origine du « paradoxe du Sahel ». Plus récemment, Moussa Malam Abdou (2014) dans sa thèse a démontré le rôle des pratiques culturales sur l'infiltrabilité des sols, en particulier en zone de socle.

1 l'encroûtement, malédiction du Sahel

Le grand mérite d'Ambouta *et al.* (1996), dans la foulée des travaux de Albergel et Valentin (1988), est d'avoir cherché à déterminer les facteurs de formation des croûtes au Sahel. Dans le cadre du programme AMMA, de nombreuses mesures ont été effectuées afin de connaître les propriétés hydrodynamiques des sols (Le Breton, 2012 ; Mamadou, 2012 ; Descroix *et al.*, 2012a) ; on a pu ainsi déterminer avec précision quelles étaient les valeurs de ruissellement et de conductivité hydraulique à attendre des sols et des états de surface et de diverses occupations des sols caractéristiques de la région. Le tableau 7 ci-dessous résume ces données pour les quatre types de couverture les plus fréquents (déterminés ici comme des états de surface).

On peut constater que par rapport à un champ cultivé non dégradé, l'encroûtement produit un accroissement très fort du coefficient de ruissellement, ce qui s'explique par la très forte baisse de la conductivité hydraulique à saturation (mesurée ici par infiltromètre à disque et à succion contrôlée).

Ces valeurs de ruissellement et de conductivité sont les moyennes de toutes les mesures réalisées de 2003 à 2012 dans le cadre du programme AMMA par une équipe d'une bonne demi-douzaine de chercheurs et étudiants. Elles sont donc relativement robustes et, ayant été mesurées sur 4 sites différents, plutôt représentatives de cette région, malgré des écarts-types très forts qui sont comme partout le reflet de l'extrême

Tableau 7 – Valeurs de coefficient de ruissellement et conductivité hydraulique à saturation sur les principaux états de surface répertoriés dans le degré carré de Niamey (Descroix *et al.*, 2012)

États de surface	**Coefficient de ruissellement (%)**	**Conductivité hydraulique à saturation mm.h^{-1}**
Surface culturale cultivée en mil	4 +/- 1.4	172 +/- 79 (*20*)*
Sols structurés sous jachère	10 +/- 4	79 +/- 41 (*20*)
Croûte biologique sur jachère ancienne	25 +/- 7	18 +/- 12 (*30*)
Croûte d'érosion sous culture et jachère	60 +/- 8	10 +/- 5 (*30*)

** (Nombre de répétitions.)*

variabilité spatiale des caractéristiques des sols. Elles diffèrent de celles fournies par Malam Abdou (voir plus loin) qui ont, elles, l'avantage d'avoir été réalisées dans seulement deux sites (un en sédimentaire l'autre en cristallin) mais par la même personne. Si les valeurs absolues de Ks sont assez éloignées (un écart de 1 à 3), l'ordre des types d'états de surface du plus filtrant au plus encroûté reste le même. Les données présentées dans le tableau 7 suffisent à expliquer le rôle hydrologique primordial que sont appelées à jouer les zones de sols encroûtés. Elles sont en amont des processus, l'explication de l'essentiel des modifications morphologiques observées ces dernières décennies dans la région de Niamey et du Fakara.

Albergel et Valentin (1988), Casenave et Valentin (1989) puis Valentin et Bresson (1996) ont montré comment l'accélération des rotations cultures/jachères dans un système dont la période de repos (jachère) est la seule méthode de fertilisation (ou plutôt de récupération de la fertilité) conduisait à une fatigue des sols ; même les sols très sableux du Sahel (plus de 90 % de sable mesurés au granulomètre laser) ont tendance à s'encroûter très facilement dès qu'ils sont mis à nu du fait entre autres de la forte intensité moyenne des précipitations. Ambouta *et al.* (1996) ont mis en évidence le lien entre jachère et encroûtement.

Par ailleurs, Le Breton (2012) a montré que sur les bassins expérimentaux de Wankama, 43 % de la précipitation annuelle tombait avec une intensité supérieure à 60 mm/h, 75 % tombant avec une intensité supérieure à 30 mm/h. Les sols nus sont donc soumis à un *splash* intense ; c'est le cas de toutes les zones cultivées en début de saison tant que le sol n'est pas couvert par les cultures sortantes.

Les croûtes se forment en principe en priorité sur des zones peu pentues ; elles apparaissent le plus souvent au départ sous forme de « dépressions hydro-éoliennes » formées en saison sèche par le vent tourbillonnant qui exagère la moindre dépression pré-existante. Ces dépressions ont ensuite tendance à devenir coalescentes, ce qui favorise grandement l'écoulement de l'une à l'autre, les processus hydrologiques prenant dès lors le relais des processus éoliens du début. Le rôle de l'érosion éolienne en lien avec l'hydrologie a été décrit en détail par Rajot et al. (2009).

La figure 61 montre une dépression hydro-éolienne isolée sur un plateau latéritique, celui de Komakoukou, largement recouvert de placages sableux. La figure 62 est une



Figure 61 – Dépression hydro-éolienne (DHE) récente sur le plateau de Komakoukou, près de Banizoumbou (65 km à l'est de Niamey)

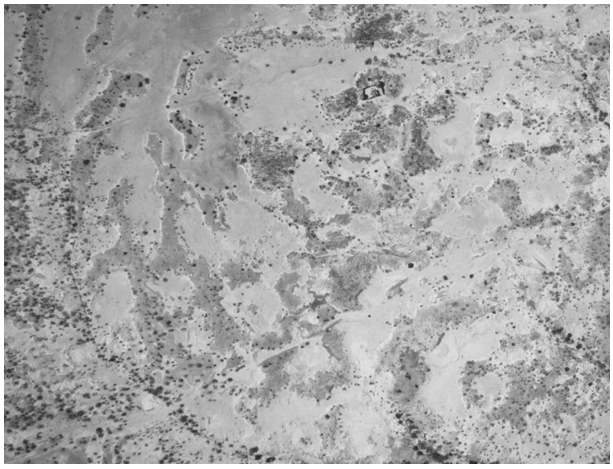


Figure 62 – Vue aérienne de la partie aval du bassin de Wankama, où les DHE sont devenues coalescentes, et constituent un secteur en dégradation totale rapide (courtoisie J.-L. Rajot, IRD)

photo prise du drone PIXY de l'IRD Niamey, piloté par Jean-Louis Rajot, chercheur à l'IRD en pédologie, sur la partie aval du bassin de recherche de Wankama. Toutes les tâches claires et rosées sont des zones encroûtées (croûte ERO) ; elles sont en grande partie coalescentes et représentent plus de la moitié de la surface totale de cette zone, reflétant une très forte dégradation du terroir ici tout proche du village de Wankama (500 à droite – est – de la photo).

Sur la figure 63 on distingue une zone sévèrement encroûtée coupée par une ravine franche (récente) et très marquée, les bords escarpés reflétant la résistance du sol encroûté ; la formation de la ravine a été facilitée par le fort ruissellement sur la zone encroûtée, qui a concentré les flux d'écoulement dans le bas-fond. Le décapage, par le vent et l'eau, du sol en voie d'encroûtement déchausse les racines des arbres et arbustes (figure 64).



FIGURE 63 – Encroûtement sous un rebord de plateau, entraînant un fort ruissellement ayant causé la formation d'une grosse ravine guidée par la piste de Komakoukou à Banizoumbou



FIGURE 64 – Dégradation rapide d'un glacis sous replat latéritique sur la piste de Banizoumbou à Sabara Bangou, juste avant le gué du kori de Sama Dey vers le nord ; déchaussement des *gueira senegalensis*

Sur les sols structurés caractéristiques des jachères anciennes se forme, au bout de 5-6 ans une croûte biologique (des algues en général ; figure 65). Celle-ci, bien qu'hydrophobe et peu perméable (elle facilite bien le ruissellement), n'est pas du tout un signe de dégradation des sols mais au contraire le témoin du rétablissement d'une certaine fertilité du sol recouvert. Les figures 66 et 67 décrivent la forme d'encroûtement le plus fréquente et le plus ruisselante : la croûte ERO ou croûté d'érosion.



FIGURE 65 – Même secteur : croûte algale sous un gueira, formant corniche, témoignant de la dégradation d'une jachère ancienne



FIGURE 66 – La croûte ERO (Casenave et Valentin, 1989) ; ici dans une fosse creusée pour réaliser des tests d'infiltromètre à succion contrôlée en profondeur au milieu du bassin de Wankama (Niger) ; le rectangle noir est agrandi dans la figure 67

2 Encroûtement, jachère et travail du sol

Le travail de Malam Abdou (2014) a permis de caractériser et de suivre l'évolution de la conductivité hydraulique de la surface du sol sur un petit bassin sur socle de l'ouest du Niger. Ces zones se caractérisent par une mosaïque des surfaces cultivées et des surfaces en jachère. Partout, la conductivité est minimale sur les trois premiers centimètres par rapport à la couche sous-jacente. Le suivi saisonnier montre une quasi-stationnarité de la conductivité des surfaces en jachère (âgée de cinq à sept ans) autour de 20 $mm.h^{-1}$ qui s'explique par la faible influence de la végétation herbacée sur la structure superficielle du sol. Sur les surfaces cultivées en revanche, le suivi (réalisé en

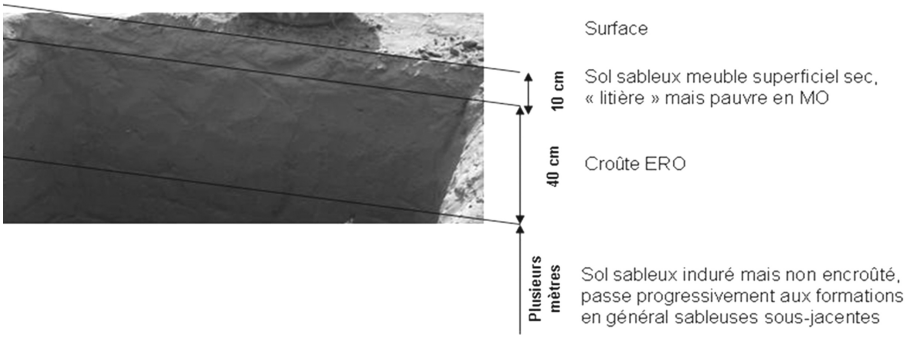


Figure 67 – Croûte ERO d'une quarantaine de centimètres d'épaisseur

suivant le protocole décrit figure 68) montre que ces propriétés évoluent sous l'effet du sarclage qui opère une redistribution superficielle de la structure et de la macroporosité qui se colmate au fur et à mesure que la surface reçoit la pluie. L'effet du sarclage sur l'infiltration qui va jusqu'à augmenter la conductivité à 120 $mm.h^{-1}$, s'estompe dès que la surface sarclée enregistre un cumul de pluie de l'ordre de 70 mm (figure 69). Après un cumul de pluie de l'ordre de 200 à 250 mm, la surface sarclée présente la même valeur de conductivité que les surfaces de type ERO, ce qui traduit l'encroûtement progressif des surfaces cultivées. L'encroûtement est d'ailleurs plus rapide lorsque le sarclage est effectué sur un sol sec du fait de la faible agrégation qu'entraîne le travail du sol dans ces conditions (figure 70). Cette étude permet ainsi d'établir le lien direct entre la mise en culture, l'encroûtement et l'augmentation du ruissellement dans les zones cultivées. Ceci a pu être mis en évidence à l'échelle saisonnière. Il reste, à l'avenir, à concevoir et mettre en place des protocoles permettant de saisir l'effet de la mise en culture à l'échelle pluriannuelle (Malam Abdou *et al.*, 2015).

L'analyse comparée de la conductivité en zones cristalline et sédimentaire (fig. 71) suggère les remarques suivantes :

- sur l'état de surface ERO la valeur de conductivité hydraulique est du même ordre de grandeur en zones cristalline et sédimentaire ;
- la conductivité de la croûte biologique mesurée sur le site cristallin vaut près du triple de celle mesurée en zone sédimentaire ; inversement, la conductivité de ST (jachère) du site sédimentaire est double de celle du site cristallin.

Les conductivités hydrauliques représentées dans ce graphique sont déterminées en surface pour une succion imposée à 10 mm, K (h = -10 mm) tant pour le site cristallin que sédimentaire.

Elles diffèrent de celles citées au début de ce chapitre, n'ayant pas été faites suivant le même protocole ; mais l'ensemble des mesures utilisées là ont été faites par Moussa Malam Abdou et suivant un même protocole.

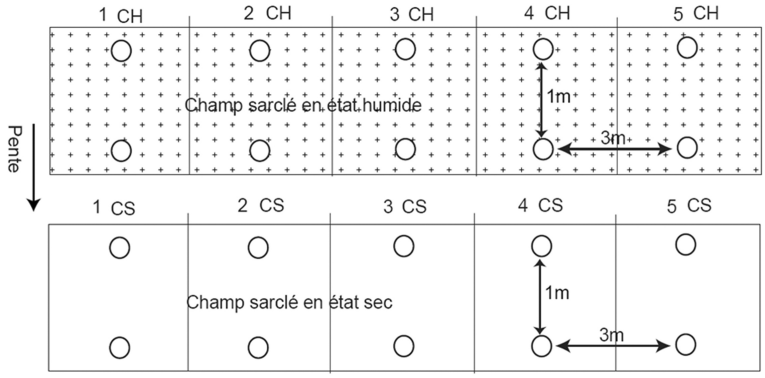


Figure 68 – Protocole de suivi temporel de la conductivité sur les champs sarclés en état humide et en état sec pour la saison 2013 (pas à l'échelle). CH = champ cultivé en état humide ; CS = champ cultivé en état sec (Malam Abdou *et al.*, 2015)

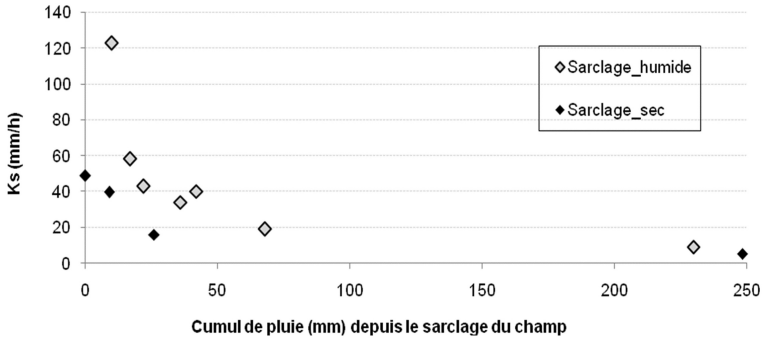


Figure 69 – Effet de la teneur en eau lors du sarclage sur l'évolution de la conductivité hydraulique en fonction du cumul de pluie reçu depuis le sarclage. Chaque point correspond à la valeur moyenne des deux mesures (Malam Abdou *et al.*, 2015)

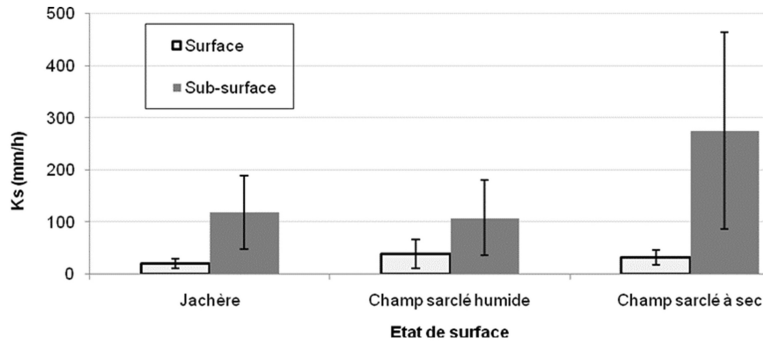


Figure 70 – Valeurs moyennes des conductivités mesurées en surface (0-3 cm) et en sub-surface (3-6 cm). Le nombre de répétitions des essais par état de surface est fourni dans le tableau 7. La barre d'erreur correspond à un écart type (Malam Abdou *et al.*, 2015)

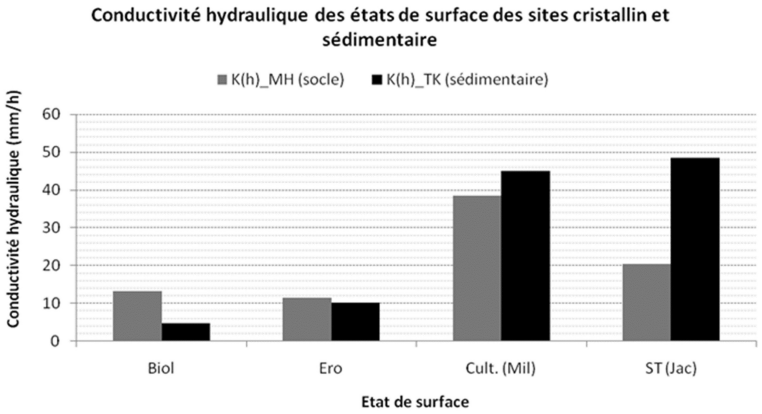


FIGURE 71 – Comparaison de la conductivité hydraulique des états de surface des sites cristallin et sédimentaire (Malam Abdou *et al.*, 2015)

3 De l'encroûtement aux inondations

Le Sahel est la région semi-aride emblématique par excellence, la plus médiatisée ces dernières décennies en lien avec les processus de « désertification » et la sévère sécheresse qu'a connu cette région, comme une grande partie de l'Afrique de l'Ouest, de la fin des années 1960 aux années 1990. Les deux pics de sécheresse des années 1973-1974 et 1984-1985 ont été dramatiques pour les sociétés mais également pour le milieu.

Et pourtant, le modelé et la topographie sont entièrement dessinés par le cycle de l'eau et s'il est un élément qui est vraiment typique des paysages, des usages et de la structuration de l'espace au Sahel, c'est bien les mares ; du fait de la péjoration climatique ayant suivi la phase humide Atlantico-Boréale (Faure, 1986), de nombreuses vallées ont été fermées par des cordons dunaires, ou bien souvent les cours d'eau n'ont plus eu le débit suffisant pour s'extraire des accumulations sableuses ; des vallées se sont fermées et l'endoréisme s'est généralisé dans les secteurs sédimentaires. Les zones de socle comme le Liptako Gourma ont, elles, continué à « produire » suffisamment d'eaux de ruissellement pour assurer une pérennisation des cours d'eau, la plupart étant d'ailleurs intermittents (écoulement saisonnier durant la mousson et les semaines ou les mois suivants, en fonction de la taille du bassin).

On a repris ci-après en grand partie le chapitre 7 de la thèse de Kadidiatou Souley Yéro, *Évolution de l'occupation des sols dans l'Ouest du Niger : influence sur le cycle de l'eau*, soutenue fin 2012 ; ainsi que deux cartes de l'introduction d'un document produit pour le programme ANR ESCAPE (« *Environmental and Social Changes in Africa : Past, Present and Future* » ; son livrable 1.3b), mais sur celles-ci on n'a représenté que les surfaces encroûtées, de type ERO (Casenave et Valentin, 1992). Ces deux cartes résument l'élément clé de la problématique hydrologique sahélienne ; malgré un probable reverdissement, à confirmer et surtout à caler chronologiquement, on observe une augmentation des surfaces de sols encroûtés ; or celles-ci sont réputées être très ruisselantes (tableau 1).

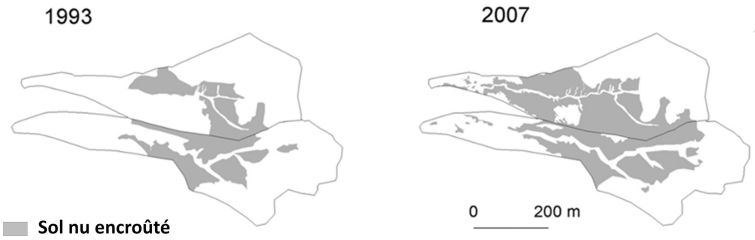


FIGURE 72 – Cartographie diachronique montrant l'extension des zones de sols encroûtés des bassins de Tondi Kiboro (à partir de Souley Yéro, 2008)

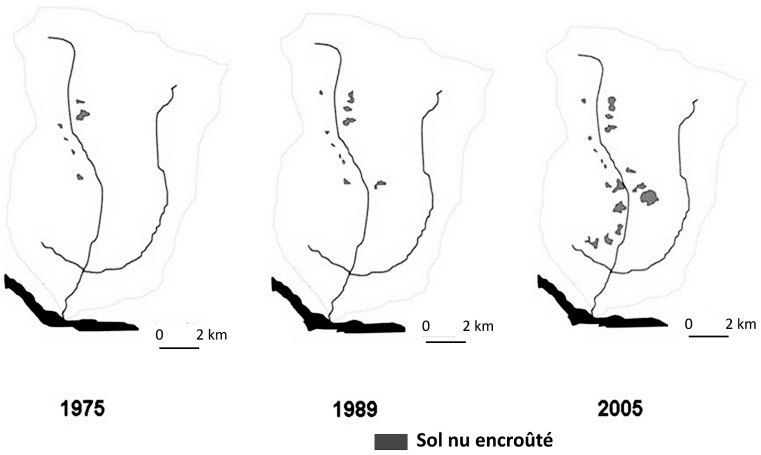


FIGURE 73 – Cartographie diachronique de l'extension des zones de sols encroûtés dans le bassin de Boubon (à partir de Souley Yéro, 2007)

La figure 72 montre l'extension des surfaces de sols encroûtés (croûte ERO) des bassins de Tondi Kiboro (deux bassins de 12 hectares environ) entre 1993 et 2007 (Souley Yéro, 2008). Ces dates correspondent à celles pour lesquelles des mesures hydrologiques ont été réalisées dans ces bassins (1991-1994, expérience HAPEX SAHEL, 2004-2011, expérience AMMA). Les surfaces correspondant à la croûte ERO passent de 20 % à 40 % de la surface totale entre ces deux dates. C'est surtout sous le talus de cuirasse latéritique, dans la partie amont de la jupe sableuse, que cet encroûtement s'est le plus développé, entraînant une forte propension au ruissellement de ce bassin, dès la tête de celui-ci. Cette partie du versant a été mise en culture relativement tôt dans l'historique du terroir de Tondi Kiboro, ce début de versant étant toujours réputé plutôt plus fertile que le reste du glacis.

Dans le bassin du kori de Boubon, qui s'étend sur 160 km^2 (figure 73), la proportion de sols encroûtés reste pour l'heure bien plus faible (5 % en 2005) (Souley Yéro, 2007). Mais comme l'a bien montré Mamadou (2012), ce bassin est devenu très actif en termes de ruissellement et d'érosion ces dernières décennies, ayant lui-même connu une rupture d'endoréisme (voir chapitre 1) avant 1975. Par ailleurs, les zones encroûtées

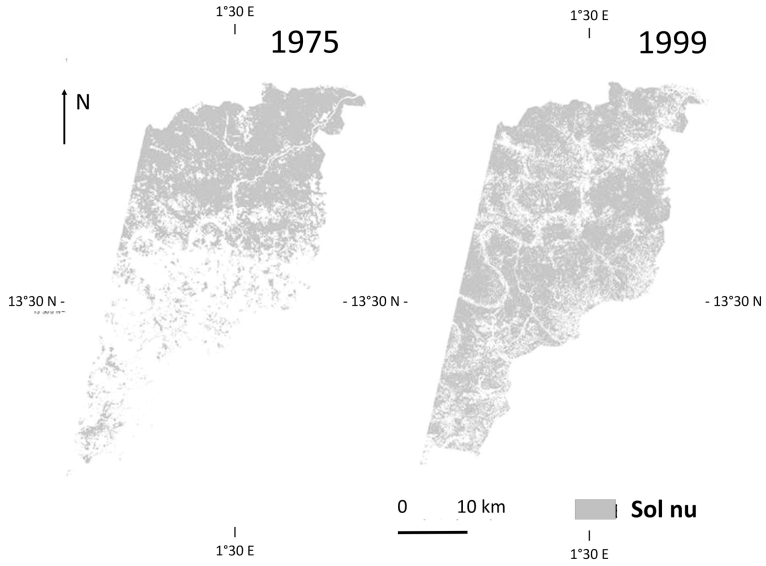


FIGURE 74 – Cartographie diachronique de l'extension des zones de sols nus du bas bassin de la Sirba (Amogu, 2009)

sont proches du talweg, favorisant l'érosion des bas de versants et une rapide fourniture de ruissellement au kori principal.

Ces deux travaux précédents ont été réalisés par photo-interprétation, concernant des surfaces peu importantes. Pour des superficies plus étendues, il est difficile de prétendre faire une carte d'occupation des sols à partir de photos aériennes (ce qui a toutefois été fait pour le bassin du Dargol et la partie centrale du DCN, voir chapitre 4). C'est donc par télédétection, et à partir d'images LANDSAT TM que Amogu (2009) a réalisé les cartes d'occupation des sols de parties étendues (plusieurs milliers de km^2 à chaque fois) de trois bassins versants affluents de rive droite du fleuve Niger : le Gorouol (sahélien), la Sirba (sud sahélien) et la Mékrou (soudanien). La figure 74 représente la partie aval du bassin de la Sirba, et on n'a retenu ici que l'extension de sols nus, sans qu'il soit possible à ce stade, de distinguer par télédétection les sols nus encroûtés de ceux qui ne le sont pas.

Cette augmentation des surfaces de sol nu semble appartenir à une tendance lourde liée à la mise en culture, qui même sans dégradation des sols, laisse le sol à nu une grande partie de l'année. L'accroissement des surfaces mises en culture a été mis en évidence au Niger par Guengant et Banoin (2003) (voir figure 48, chapitre 4), ainsi que la tendance lourde à la baisse continue des rendements, obligeant, pour maintenir une disponibilité alimentaire par habitant constante, à augmenter les surfaces cultivées à un rythme plus rapide que celui de la croissance démographique.

Une des grandes préoccupations des programmes AMMA (« Analyse multidisciplinaire de la mousson africaine ») et de l'ANR ESCAPE (« Changements environnementaux et sociaux en Afrique : passé, présent et futur »), ainsi que d'autres projets

en gestation, est la détermination des conséquences des changements d'occupation des sols sur le cycle de l'eau. Il semble évident qu'une extension notoire des surfaces sur lesquelles on enregistre par ailleurs, et une faible conductivité hydraulique, et, en conséquence, de forts coefficients de ruissellement, ne peut mener qu'à une augmentation généralisée des écoulements. Celle-ci n'aura pas les mêmes conséquences en zone endoréique, où elle a pu dans la région de Niamey, conduire à une hausse de la nappe phréatique par l'intermédiaire d'une multiplication des mares et de l'augmentation de leur durée en eau, ce qui entraîne la hausse observée du niveau de la nappe du CT3 depuis le début de la sécheresse, processus connu sous le nom de « paradoxe de Niamey » (Leduc *et al.*, 1997), et en zone exoréique où elle a pu produire une augmentation du risque de crue.

La synthèse des conséquences hydrologiques des changements environnementaux observés qui vient ci-dessous a été alimentée par les nombreux travaux de terrain menés dans le cadre de AMMA, à savoir les cinq thèses de Okechukwu Amogu (2009), Éric Le Breton (2012), Ibrahim Mamadou (2012), Kadidiatou Souley Yéro (2012) et Moussa Malam Abdou (2014), ainsi qu'une bonne quinzaine de mémoires de Master ou de mémoire de fin d'étude d'école d'ingénieur, pour la plupart d'étudiants nigériens, réalisés durant le programme AMMA. Cette synthèse a aussi été l'objet du livrable n° 3 du programme ANR ECLIS (« Environnement, Climat et Société ») sur l'évolution de l'occupation des sols produit par l'équipe LTHE-ESPACE DEV en juin 2010.

Par ailleurs, cet accroissement des écoulements est à l'origine de dynamiques sédimentaires locales notoires, en particulier dans la formation de zones d'épandage et de cônes de déjection.

Comme on vient de le voir, les conditions sont réunies pour que le ruissellement et l'érosion s'accroissent dans le haut des versants. La croissance continue des zones de sol nu encroûté se traduit par une diminution de la capacité de rétention en eau des sols, et par suite, par une augmentation du ruissellement et de l'érosion. Les matériaux arrachés aux versants sont transportés par un flux écoulé en augmentation. Qui dit érosion dit sédimentation et dépôt ; dans le secteur endoréique qui nous intéresse, le dépôt se fait forcément dans une dépression fermée, sans dommage donc dans ce cas-là pour le lit du fleuve Niger, qui souffre aussi, ces dernières décennies d'un fort problème d'ensablement, ou d'un de ses affluents.

Dans la zone sédimentaire du bassin des Iullemeden, et en particulier, pour la région qui nous intéresse entre la vallée du fleuve Niger et la vallée fossile du Dallol Bosso (figures 46 et 47, chapitre 4), on trouve aussi assez souvent des replats à mi-pente. Ces replats constituent parfois des coupures complètes pour l'écoulement des eaux, qui s'arrête dans des mares situées sur ces replats ; toutefois le processus d'accroissement des écoulements, observé depuis quelques décennies, pourrait bien conduire à des débordements de ces mares, comme ceux qui ont permis les ruptures d'endoréisme observées près de Niamey (Mamadou, 2012 ; Descroix *et al.*, 2012b).

Dans les bassins d'études du programme AMMA, Tondi Kiboro et Wankama, tous deux situés dans la commune de Dantiandou dans l'ouest du Niger, on observe deux configurations différentes, qui ont été décrites par Le Breton (2012).

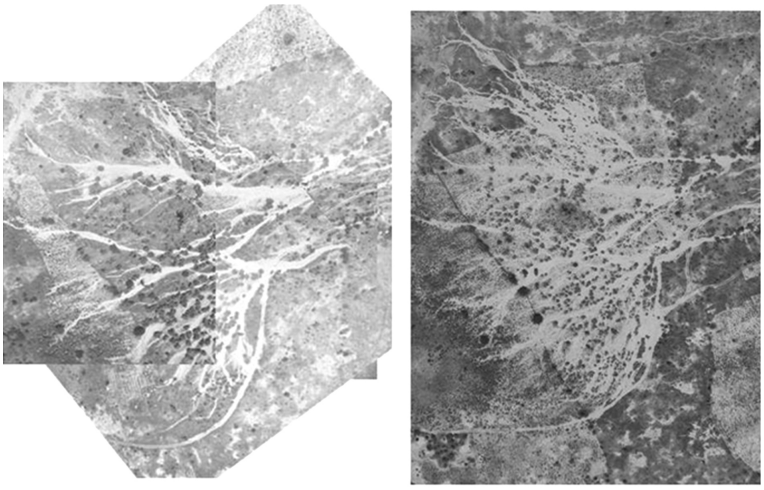


FIGURE 75 – Évolution du cône de déjection double des deux ravines nord et sud de TondiKiboro entre septembre 2005 et septembre 2007 : progression des dépôts sableux

- Tondi Kiboro : dans les bassins de Tondi Kiboro, le replat héberge une mare temporaire qui recueille les eaux arrivant des deux koris équipés (voir Descroix *et al.*, 2012a et Le Breton, 2012) ; les observations ont été menées de 1991 à 1994 (Esteves et Lapetite, 2003) puis de 2004 à 2011 (Descroix *et al.*, 2012a) ; on sait donc que cette mare ne débordait traditionnellement pas, arrivant à retenir l'intégralité des eaux d'écoulement (figure 75). Toutefois en 2006, il est apparu pour la première fois un écoulement déversant de cette mare perchée vers l'aval, raccordant ce réseau hydrographique à celui du kori de Dantiandou (lui-même étant très parcellaire et intermittent, occupant une vallée fossile).
- Wankama : dans le bassin de Wankama (0,9 km^2), malgré la défluvation évoquée au chapitre 1, l'écoulement est continu du haut en bas de la toposéquence ; la zone d'épandage qui occupe le replat (et qui est à l'origine de la défluviation) est parcourue de ravines dont la tête remonte annuellement à un rythme décamétrique (Le Breton, 2012, voir plus bas). Mais arrivée au fond de la vallée fossile, celui-ci est tellement plan que l'eau hésite entre deux mares et peut suivant les années « remonter » quelques centaines de mètres vers l'amont et vers le creux formé par la mare ouest (voir chapitre 7).

4 Un réseau hydrographique rajeuni

Les travaux d'Éric Le Breton (Le Breton, 2005 ; Le Breton, 2012) ont bien illustré le lien entre augmentation du ruissellement et des écoulements, d'une part, densité de drainage de l'autre ; on observe bien une forte augmentation du linéaire du réseau hydrographique en corollaire de l'augmentation des volumes d'eau à écouler. Cette

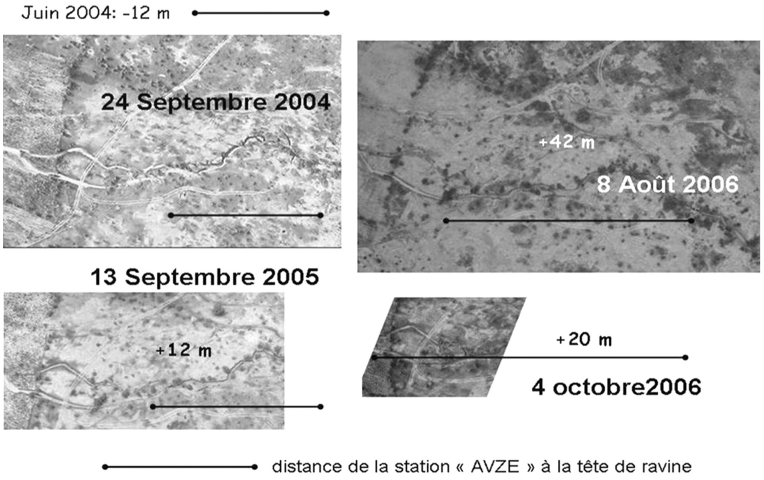


Figure 76 – Évolution de la ravine du drain central du bassin de Wankama de 2004 à 2006 (Le Breton, 2012)

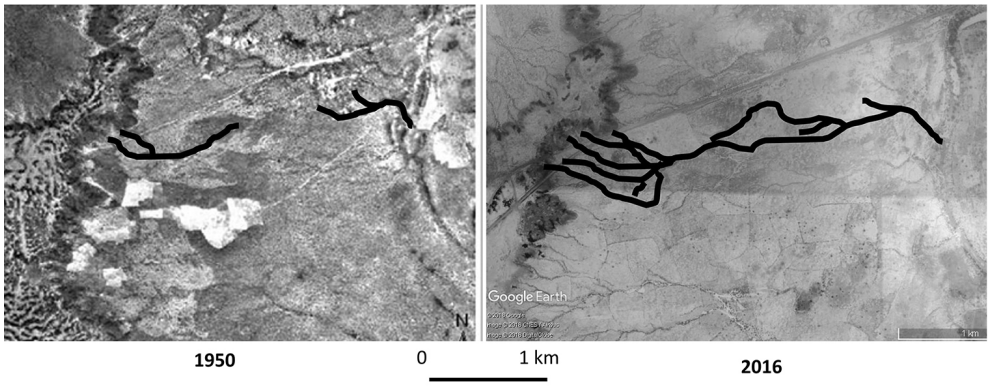


Figure 77 – Évolution du réseau de ravines à Wankama, 1950-2016

comparaison a par ailleurs fait l'objet d'un chapitre bien illustré de la thèse de Sylvain Massuel (2005) et constitue un des points forts de l'article de Leblanc *et al.* (2008).

Le Breton (2005 et 2012) s'est en particulier intéressé à la zone d'épandage qui se trouve comme on l'a dit au centre du bassin de Wankama, position héritée du léger replat structural qui caractérise ce site. Il a assuré pendant 4 ans (2004-2008) le suivi de l'évolution de la ravine qui s'est creusée sur le drain principal, par recul de tête, avant et après la défluviation de 2006 (figures 76 et 77).

Cette ravine a été caractérisée par un recul de tête rapide les deux premières années, avant que la défluviation ne lui ôte l'essentiel de son agent érosif, l'essentiel du courant s'écoulant ensuite dans un autre kori situé plus au sud et parallèle au kori équipé. Le replat et la présence de cette zone d'épandage, dans laquelle s'infiltre une grande

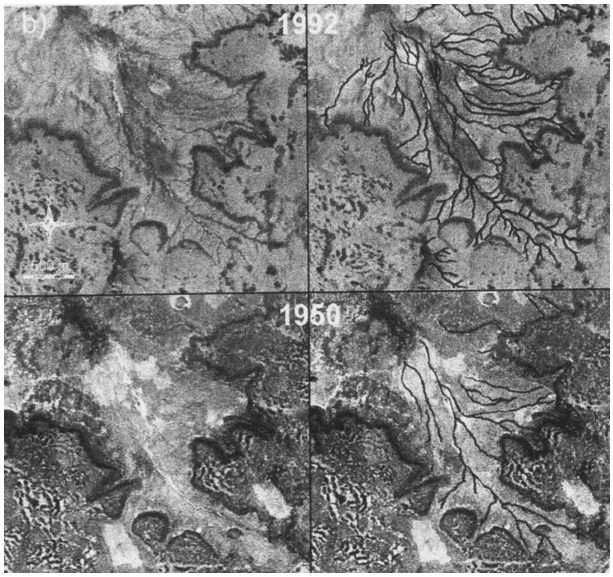


Figure 78 – Évolution du réseau de ravines dans un secteur du degré carré de Niamey (Massuel, 2005)

partie de l'eau provenant du haut du bassin, expliquent la baisse des débits observée (Descroix *et al.*, 2011 ; Le Breton, 2012) entre l'amont et l'aval de la zone d'épandage ; ce processus, mis en évidence par Esteves et Lapetite (2003) sur le bassin de Tondi Kiboro, est à la base de l'alimentation secondaire des nappes que constituent ravines et dépôts de versants. Il est clair que l'alimentation principale de la nappe du CT3 provient des mares, mais de plus en plus, elles sont secondées par un grand nombre de zones d'infiltration apparues avec la dégradation des milieux (Descroix *et al.*, 2012a) : ravines aux dépôts sableux parfois épais (figures 76 et 79), zones d'épandage, cônes de déjection, sont autant de secteurs dans lesquels l'eau peut à présent être stockée temporairement en attendant une infiltration profonde dans les sols et terrains sableux sous-jacents.

La zone d'épandage de mi-versant de Wankama fait l'objet de mesures hydrologiques puisqu'on s'est vite aperçu qu'elle représentait une zone d'infiltration importante (Le Breton 2012) ; dès 2003, des mesures géophysiques ont permis de confirmer par des méthodes géophysiques l'importance de l'infiltration profonde sous cette zone (Massuel *et al.*, 2006). Le Breton (2005) avait montré que la longueur totale du réseau de drainage avait été multipliée par 5 entre 1950 et 1992 (figure 78).

Le recul de tête est le processus principal de formation et d'entretien/évolution des ravines dans les milieux sahéliens aux sols sableux. On en voit le stade en 2004 sur la photo de la figure 79. Le bras gauche de cette ravine a les années suivantes reculé de plusieurs centaines de mètres au gré de ce recul de tête, avant de voir l'essentiel de son alimentation changer de bassin et stopper pratiquement ce processus de recul de tête.



Figure 79 – Ravine formée par le drain central (à gauche) du bassin de Wankama en juillet 2004



Figure 80 – Ruissellement de type hortonien sur un plateau latéritique à la pente imperceptible lors du passage d'un grain (pluviographe de Sabara Bangou, plateau du Fakara)

Que ce soit sur les bassins expérimentaux (Wankama, Tondi Kiboro, Dyabou, Boubon, Mélé Haoussa) ou ailleurs (voir encart JEAI, en fin de ce chapitre), on voit bien que le ravinement est extrêmement rapide dans les sols sahéliens sableux, et ce, malgré des pentes généralement très faibles. On a pu montrer qu'une pente de 0,5 % jouait le même rôle dans la collecte du ruissellement qu'une pente bien plus prononcée, du moment que la surface concernée est très ruisselante, comme sur les plateaux cuirassés (figure 20, sur le plateau du Fakara à Sabara Bangou) ou les zones de sols encroûtés par les pratiques culturales. La photo de la figure 81 a été prise le 30 avril 2004 lors d'un évènement pluvieux très précoce où 34 mm étaient tombés à Wankama (plus de 130 mm localement à Niamey). Le ruissellement se produit ici sur des zones encroûtées qui se sont formées à proximité du talweg, et qui mettent de plus en plus en communication les zones de cultures avec les drains, contribuant à accroître sensiblement les coefficients d'écoulement des bassins (Descroix *et al.*, 2011).

Il s'agit bien sûr d'un ruissellement de type hortonien, lié au dépassement par l'intensité de la pluie de l'infiltrabilité des sols.



Figure 81 – Crue du 30 avril 2004, bien avant le début de la mousson, sur la station Wankama AVZE alors en chantier ; le débit spécifique est fort du fait de l'absence totale d'activité végétale, comme pour les pluies de début de mousson ; ce jour-là, 130 mm sont tombés dans la moitié nord de la ville de Niamey, causant d'énormes dégâts et des pertes humaines



Figure 82 – Sapements de berge observés par Mamadou (2012) en bordure du kori de Boubon ; ces sapements pourvoient l'essentiel du volume de matériaux érodés dans le bassin

Mamadou (2012) a parfaitement analysé le rôle des sapements de berge dans l'alimentation en sédiments des cours d'eau et dans leur dépôt. Ces matériaux prélevés sur les bords, formant des talus sub-verticaux du fait de la proportion de sable dans les sols et les terrains encaissants, constituent l'essentiel des matériaux transportés et déposés (figure 82).

Ceci explique l'extrême facilité et rapidité de la dégradation des terroirs dans la commune de Dantiandou comme dans l'ensemble de la région (figure 83)



FIGURE 83 – Sapements de berge et berges sub-verticales dans le bassin du kori de Dantiandou (piste Wankama- Maourey Kouara Zéno)

5 Résumé des observations faites sur les sites expérimentaux AMMA

Toujours est-il que, sur les sites expérimentaux du degré carré de Niamey, on observe, aussi bien à court terme (d'une année sur l'autre) qu'à long terme (sur les 15-20 dernières années, a fortiori des périodes plus longues), une évolution très nette des terroirs, caractérisée par :

- une très forte diminution de la végétation naturelle, remplacée par cultures et jachères ;
- une très forte dégradation des sols, qui se traduit par une très forte érosion (par ravine et par dépressions hydro-éoliennes) et de très importants dépôts sableux en bas de versants ;
- une dégradation des propriétés physiques des sols, due à un fort encroûtement (croûte de type ERO, suivant classification de Cazenave et Valentin, 1989).

Ceci se traduit par une très forte baisse de la perméabilité des sols et donc de l'infiltration de l'eau, une forte augmentation des ruissellements, des écoulements et des débits ; comme on est dans une zone endoréique, ces eaux se concentrent dans les bas-fonds, formant des mares qui sont les principaux points de recharge de la nappe phréatique. Le niveau de celle-ci, dans le DCN (« Degré Carré de Niamey »), a donc monté de plus de 4 m dans les vingt dernières années (voir chapitre 4). Cependant, autant la forte augmentation de l'encroûtement et du ruissellement est un processus qu'on observe presque partout en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne, autant la hausse de la nappe ne concerne que certains secteurs endoréiques.

Sur les bassins de Wankama et Banizoumbou, mais aussi dans toute la région du degré carré de Niamey, on observe une dégradation actuelle, active et constante des sols et de la végétation. Ceci n'est pas forcément représentatif de l'ensemble de l'Ouest du Niger ni du Niger ni du Sahel ni de l'Afrique de l'Ouest (mais les cartes produites par Fensholt et Rasmussen, 2011, permettent de se faire une idée de la possible extension spatiale de cette dégradation), mais n'en constitue pas moins un élément à prendre en considération dans l'étude de la vulnérabilité des sociétés et le rôle de l'élevage face

à celle-ci. Cependant, comme on l'a vu plus haut, la tendance majoritaire en Afrique de l'Ouest sahélienne, semble être au reverdissement.

On observe, entre autres :

- Une progression des ravines (voir Le Breton, 2005 pour le BV de Wankama), qui coupent les pistes et menacent les ballasts des routes. La ravine creusée par le drain principal du bassin de Wankama a ainsi vu sa tête reculer de 240 m entre 2004 et 2009 (figure 79 ci dessus), repoussant d'autant vers l'amont le chemin permettant de la franchir. Cela a bien été décrit par Le Breton (2005 et 2012). Une étude régionale a été réalisée par Massuel (2005) (voir figure 78 ci dessus) et par Leblanc *et al.* (2008).

- Une augmentation de la surface encroûtée et des dépressions hydro-éoliennes ; la surexploitation des sols commence par une diminution des temps de jachère et un allongement des temps consacrés à la culture. Les sols sableux fragiles et peu fertiles du Sahel se détériorent très vite si un repos de quelques années (jachère) n'est pas planifié pour restaurer leur structure. Cette fragilité et la pratique consistant à défricher complètement les parcelles au moment de la mise en culture ont deux conséquences :

  · la première est un encroûtement des sols du fait de leur fatigue : la structure se dégrade et les pores se referment peu à peu, entraînant une baisse de la perméabilité et très rapidement, une croûte de type ERO se forme sur les premiers centimètres (figure 84) ; sur des jachères anciennes se forment aussi des croûtes algales, peu perméables du fait de leur hydrophobie) (figure 65 ci-dessus) ;

  · la deuxième est que le vent peut agir facilement en saison sèche en emportant les particules fines en surface, le moindre creux pré-existant pouvant vite devenir une « dépression hydro-éolienne » (DHE) (figures 61 et 62 ci-dessus) qui s'auto-entretient et s'accentue par aéro-dynamisme (figure 85) ; celles-ci peuvent apparaître aussi bien sur les glacis (le plus souvent) que sur les placages sableux des plateaux et parfois même dans les bas-fonds, et sont constituées d'une croûte de même type ; les paysans, pour le moment, ne cherchent pas, dans le degré carré de Niamey, à pallier ce fait, alors que mettre en culture ces zones et en multiplier les sarclages suffit, au début, à en récupérer en quelques années la fertilité d'origine. Peu à peu les DHE deviennent coalescentes, comme on peut l'observer dans la moitié aval du bassin de Wankama (près de la station de flux « dégradé ») (figure 62).

- En aval, on note des dépôts plus abondants et la formation de zones d'accumulation sableuses à mi versant comme en aval des bassins expérimentaux de TondiKiboro, où l'on note l'évolution rapide de ces dépôts en deux ans (figures 75, 76 et 77).

- L'accumulation de sédiments à mi versants peut conduire à des captures par déversement, le sable accumulé gênant la progression de l'eau dans son cours naturel, le flux peut aller se déverser dans le kori voisin, car les versants ont



FIGURE 84 – Parcelle de mesure constituée de croûte ERO sur le site expérimental du bassin de Boubon (Mamadou, 2012)



FIGURE 85 – Dépression créée par la surpression du vent gêné par l'obstacle d'un *Balanites aegyptiaca*, très touffu même en saison sèche (Luxereau et Roussel, 2009)

très plans ; cela s'est produit à la fin de l'hivernage 2005 au milieu du bassin versant de Wankama (voir chapitre 1).

- Si rien n'arrête l'écoulement et ses transports solides, ces éléments sableux sont transportés jusque dans les bas-fonds, pouvant contribuer localement au colmatage de mares comme celle de Wankama Sud-Ouest (figure 77).

Conclusion – Des débits en forte augmentation

Pour conclure, laissons à nouveau la plume aux collègues qui ont le mieux étudié ces processus :

> « L'augmentation démographique très rapide (2,6 % par an) conjuguée à une pluviométrie déficitaire pousse les agriculteurs à modifier leurs pratiques culturales : une des réponses adoptées face à la faiblesse des rendements est l'extension des cultures. Les nouvelles zones érodées apparaissent surtout lors des mises en culture de l'unité n°2 -surfaces à sables grossiers et termitières- (elle devient alors l'unité n°3 –surfaces à sables grossiers et

à termitières très érodées) et de la (sur) exploitation des unités n°7 -bas-fonds- et 6-zone d'écoulement- (qui tendent à devenir l'unité n° 5 – surfaces érodées à sables grossiers sans termitières). Les sols de l'unité n° 4 – surfaces pelliculaires sans sables grossiers ni gravillons – la plus cultivée, sont assez résistants à l'érosion hydrique. Nous avons vu néanmoins qu'ils étaient sensibles au processus de réorganisations superficielles et à la dénudation. Or le développement des pellicules et la raréfaction de la végétation favorisent considérablement le ruissellement. Ainsi, bien que cette unité présente peu de marques d'érosion, elle n'en contribue pas moins à favoriser, par le ruissellement qu'elle produit, la dégradation des unités situées à l'aval » (Albergel et Valentin, 1988).

« Il est nécessaire enfin de souligner que ce qui est indiqué comme jachère, correspond parfois à des zones qui ont été cultivées naguère, puis abandonnées, sur lesquelles la végétation de savane arbustive ne se reconstitue pas. Ces anciens champs présentent en effet, de vastes zones nues pelliculaires semblables aux surfaces sahéliennes, où le recrû ne semble constitué que d'épineux (*Balanites Aegyptiaca*) l'érosion en nappes y est marquée, formant des micro-dénivelés en forme de marches. Si l'on se réfère à différentes observations concernant l'extension des zones érodées et dénudées sur le bassin, et aux résultats des expérimentations sur le ruissellement au mini-simulateur de pluie, il est possible d'expliquer qualitativement l'augmentation du coefficient de ruissellement malgré une nette diminution de la pluviométrie » (Albergel et Valentin, 1988).

« Les caractéristiques de la végétation et des organisations pédologiques superficielles sont prépondérantes parmi les facteurs intervenant sur la dynamique de l'eau à l'interface sol-atmosphère. Leurs modifications dans le temps peuvent largement expliquer les variations des régimes hydrologiques observées pour les petits bassins versants.

« La diminution de la pluviosité a pour première expression dans le paysage l'appauvrissement de la végétation et l'accroissement des zones dénudées. Les sols nus et appauvris en matières organiques deviennent instables et sujets à l'érosion et ou aux phénomènes d'encroûtement. Cette modification des états de surface due aux actions conjuguées d'une longue période sèche et de pratiques culturales extensives font descendre bien au sud les paysages types du SAHEL. Conjointement à la réduction du couvert végétal, on assiste à une adaptation à la sécheresse de types d'espèces. Les graminées annuelles se développent au détriment des espèces pérennes. Les jeunes arbres sont en majorité des épineux à surface foliaire réduite et remplacent les combrétacées de la savane arborée. Dans l'hypothèse d'un retour à un régime pluviométrique plus abondant, les questions suivantes se posent :

« • Le milieu pourra-t-il se régénérer ou un seuil de non retour a-t-il été franchi ?

« • Quel sera la durée de l'effet mémoire, de cette période sèche sur les états de surface ? » (Albergel et Valentin, 1988).

Cette étude, comme bien d'autres observations, montre que souvent « *la sécheresse, en favorisant les conditions du ruissellement ne met pas à l'abri des crues les plus catastrophiques qu'elle peut accroître de façon indifférenciée* » (Albergel et Valentin, 1988). Ces conclusions de 1988 sont, plus que jamais, d'actualité à l'heure où, après l'augmentation des moyennes annuelles, on constate une intensification des pluies avec une proportion accrue de pluie tombée lors d'évènements de fort cumul (Panthou *et al.*, 2014).

En résumé :

↪ L'encroûtement des sols semble être la cause première de l'augmentation des coefficients d'écoulement et de débits en zone sahélienne.

↪ Cet encroûtement est en grande partie lié à la mise à nu du sol nécessaire à la mise en culture. Les rendements des cultures baissant plutôt sur le long terme, l'extension de la surface consacrée aux cultures est rapide.

↪ Le rôle des jachères est plus ambigu car d'une part les jachères anciennes se couvrent d'une croûte biologique (ou algale) qui est hydrophobe et ruisselante ; mais d'autre part les jachères sont le principal moyen de récupération de la fertilité dans les sols sableux, très peu fertiles naturellement, du Sahel.

↪ Le sarclage est la meilleure méthode pour faire infiltrer l'eau et éviter ruissellement et érosion ; mais son influence diminue très vite avec les précipitations ; il conviendrait donc d'augmenter le nombre de sarclages durant la saison, mais les agriculteurs disent manquer de main d'œuvre pour le faire et de plus, certains agronomes remettent en question l'intérêt d'augmenter le nombre de sarclages.

Encart 2 – La JEAI Savane Parc à Long Terme : les relations entre la végétation et le cycle de l'eau au Sahel. Impacts sur l'aménagement

La JEAI (« Jeune Équipe Associée à l'IRD ») Savane parc à Long Terme (SAPALOTE ; 2011-2015) s'est consacrée à étudier les conséquences de la dégradation des sols et de la végétation sur le cycle de l'eau, ainsi qu'à chercher des moyens d'encourager l'eau à s'infiltrer afin d'améliorer la capacité de rétention en eau des sols, ce qui améliore la productivité des agro-systèmes et de la végétation naturelle, et ce qui réduit les risques hydriques. Cinq sites ont servi aux observations, mesures et expérimentations ; ils sont représentés figure 86.

La JEAI est animée par Ibrahim Bouzou Moussa et Oumarou Faran Maiga, professeurs de géographie à l'Université Abdou Moumouni de Niamey.

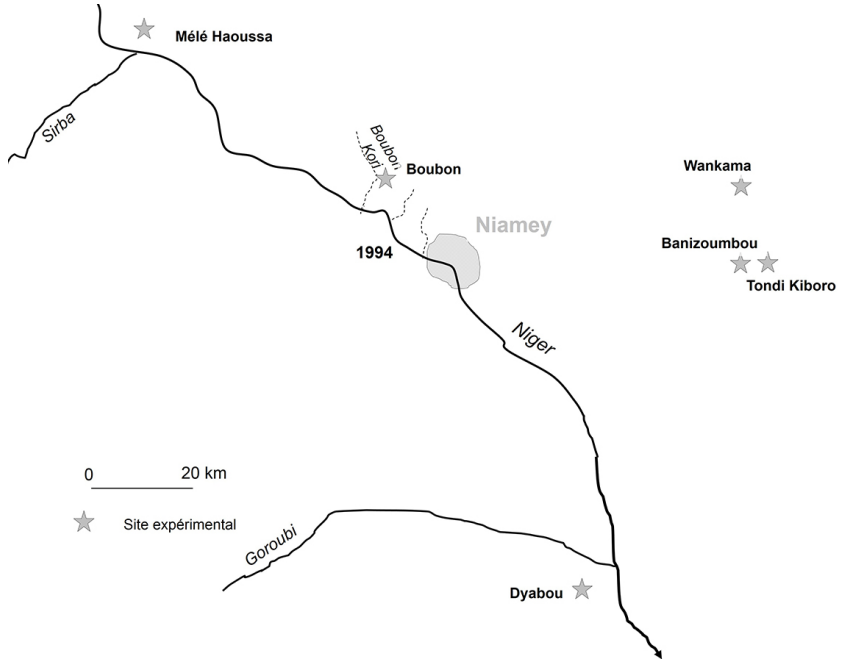


Figure 86 – Localisation des sites expérimentaux de la JEAI SAPALOTE

Dans un contexte de changement climatique et de changements drastiques d'usages des sols dont la désertification constitue la conséquence majeure, on observe des modifications importantes du cycle de l'eau : accroissement de l'érosion, des dépôts et de l'ensablement, crues plus brutales et plus courtes, étiages plus prononcés, diminution des débits de base et augmentation des débits de crue. On a aussi observé une hausse des écoulements, attribuée aux changements d'occu-

pation des sols (brousse naturelle remplacée par des cultures, tassement des sols qui limite fortement l'infiltration des eaux). On observe aussi que le temps de réponse des bassins et des sols aux précipitations s'est raccourci ; en contrepartie, les écoulements de base, c'est-à-dire ceux qui se produisent après les évènements pluvieux, et après la saison des pluies, sont très amoindris. Or ce sont les plus utiles pour agriculteurs, éleveurs, pêcheurs et autres usagers de l'eau.

Cette jeune équipe avait plusieurs volets :

> *Tâche 1* – Suivi de la Dynamique hydro-érosive et mesures hydrodynamiques des sols.
>
> *Tâche 2* – Décrire et cartographier l'évolution des surfaces de sols encroûtés, susceptibles d'être les zones de formation des crues.
>
> *Tâche 3* – Suivi de la limite entre les zones endoréique et exoréique au long de la vallée du Niger.
>
> *Tâche 4* – Végétation et rétroaction sur l'hydrologie : lutte antiérosive et impacts d'aménagements forestiers à court, moyen et long terme sur les sites de Banizoumbou-Sama Dey-Tondi Kiboro (bassin sédimentaire) et Mélé Haoussa (zone de socle).

Dans le cadre de la JEAI, des essais ont été réalisés (banquettes, reboisement, etc.) afin d'en mesurer l'efficacité ; les figures 87 et 88 ci-dessous montrent comment on peut de manière expérimentale illustrer l'intérêt du sarclage.

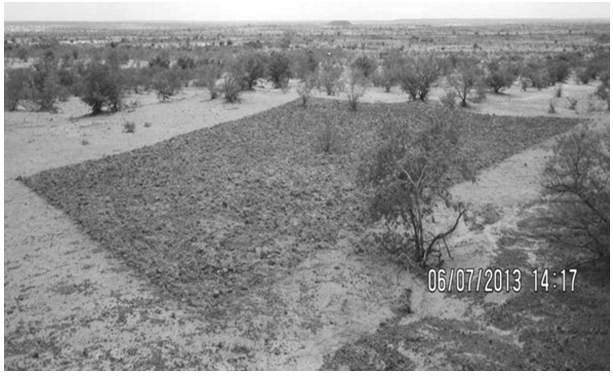


Figure 87 – Efficacité du sarclage pour l'infiltration de l'eau (Boubacar *et al.*, 2017) (1)



FIGURE 88 – Figures 87 et 88 : Efficacité du sarclage pour l'infiltration de l'eau (Boubacar *et al.*, 2017) (2)

Encart 3 – Sols et états de surface : quelle classification pour connaître le comportement hydrologique des surfaces ?

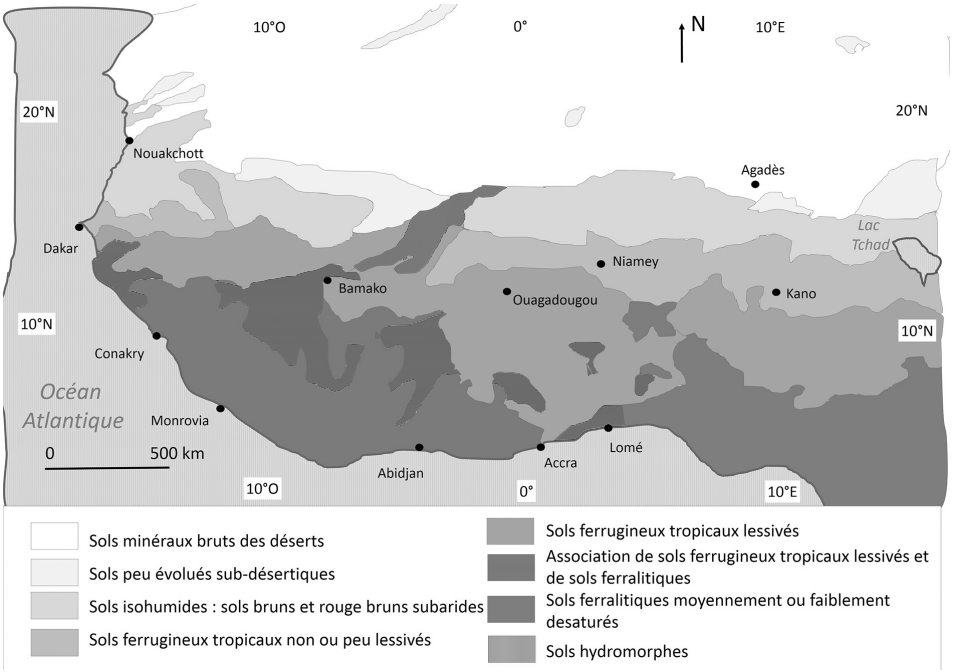


Figure 89 – Carte des sols de l'Afrique de l'Ouest (d'après Boulet *et al.*, 1971, *in* Casenave et Valentin, 1989)

Les principaux types de sols de la bande soudano-sahélienne sont (d'après la classification française) les sols ferrugineux tropicaux, lessivés ou non ; en allant vers le nord et les zones arides, les sols sont de plus en plus minéraux et bruts, on trouve plus fréquemment les sols bruns subarides, puis des régosols et des lithosols (d'après Casenave et Valentin, 1989). Les sols ferralitiques sont fort peu représentés et sont plutôt caractéristiques des zones guinéennes ou soudano-guinéennes (figure 32) ; ce sont « *les sols des régions humides, et ils possèdent en commun une très grande épaisseur et une faible différentiation des profils* » (Dabin et Maignien, 1979) ; les sols les plus fréquents sont donc les sols ferrugineux tropicaux, qui ont « *un profil différencié, sont peu à moyennement épais, de teinte claire, à horizons tranchés avec redistribution de l'argile et des oxydes de fer* » (Dabin et Maignien, 1979).

Des sols plus particuliers et localisés sont assez fréquents en Afrique de l'Ouest, mais ne figurent sur la carte car ils représentent néanmoins d'assez faibles surfaces. Il s'agit d'une part des sols à argiles gonflantes comme des vertisols ou

des sols bruns eutrophes, en particulier dans les dépressions du socle, y compris les vallées ; ces sols peu épais possèdent d'après Dabin et Maignien (1979), une grande réserve d'éléments utiles aux plantes. D'autre part des sols hydromorphes, caractérisés par l'action prolongée d'un excès d'eau, et par la présence de gley, ou pseudogley ; en bordure de mer, ils sont dominants dans les dépôts vaseux, plus ou moins sulfatés acides, de la mangrove et de ses franges (Dabin et Maignien, 1979).

Concernant la fertilité des sols en Afrique de l'Ouest, le constat fait par la FAO est sévère :

> « La plupart des sols de la zone semi-aride de l'Afrique de l'Ouest se caractérisent par leur faible teneur en éléments nutritifs et la fertilité de ces sols s'avère souvent un facteur plus limitatif à la production agricole que la pluviométrie. La réponse des cultures à l'azote dans cette zone dépend de la quantité totale de pluie et aussi de sa distribution. Le recyclage des résidus organiques est une condition préalable nécessaire pour une production agricole durable. La culture continue sans recyclage des résidus de récolte se traduit par une baisse rapide du niveau de matière organique dans les sols, un lessivage des bases suivi d'une apparition de toxicité de l'aluminium. Bien que beaucoup de technologies en matière de gestion intégrée de la fertilité des sols aient été développées dans la région, très peu de paysans les utilisent. Il est suggéré que, pour les recherches futures, l'accent soit mis sur la recherche en milieu réel, avec la participation des paysans afin de pouvoir tenir compte de leurs contraintes socio-économiques dans l'élaboration des technologies nouvelles ou le raffinement des technologies existantes. Les sols sont en général très sableux avec des teneurs en sable de l'horizon de surface (0-20 cm) variant entre 71 et 99 %. À cause de cette nature sableuse, la capacité de rétention en eau est très faible. Les sables dunaires du Sahel ont une conductivité hydraulique très élevée (150 à 200 cm/jour) et donc un drainage interne très rapide. Mais dans la zone soudanienne et nord guinéenne, avec l'augmentation de la teneur en argile, la formation de croûte peut réduire très significativement le drainage interne. De façon générale, ces sols ont une très faible fertilité naturelle qui s'exprime par les faibles teneurs en matières organiques et azote total et la capacité d'échange cationique effective. Les coefficients de corrélation entre différents paramètres de fertilité des sols indiquent d'une part que le taux de matières organiques augmente de façon très significative avec l'augmentation de la pluviométrie moyenne et, d'autre part, que la capacité d'échange cationique effective est plus corrélée avec le niveau de matière organique qu'avec le niveau d'argile » (FAO, 2004).

[http ://www.fao.org/docrep/w7304f/w7304f0b.htm (*auteur :* André Bationo, chercheur principal « Chimie des sols », IFDC / Centre sahélien de l'ICRISAT, BP 12404, Niamey, Niger ; et Zana Somda, post-doctorat, Centre sahélien de l'ICRISAT / ILRI, BP 12404, Niamey, Niger).]

Plusieurs constats faits directement sur le terrain confirment ce bref état de l'art.

La faible teneur en argile : les échantillons de sol qui ont été analysés dans le Sud Ouest du Niger, tant en zone de socle qu'en sédimentaire, ont montré une teneur en argiles et limons inférieure à 20 %, 80 % des échantillons ayant une part comprise entre 6 et 11 %.

Cette forte teneur en sable explique certes la faible capacité de rétention en eau des sols ; mais elle n'empêche par l'encroûtement, par formation de pellicules superficielles imperméables ou de croûtes épaisses et étanches (Casenave et Valentin, 1989) ; c'est ce type de dégradation superficielle qui explique le « paradoxe du Sahel » tant elle s'est étendue ces dernières années.

Au niveau hydrologique, que l'on s'intéresse au devenir de l'eau de pluie ou à la gestion des ressources en eau et des risques hydrologiques, il est donc plus utile de classifier les surfaces en fonction des « états de surface » que de leur type de sol.

Casenave et Valentin (1989) ont fourni les clés de détermination des différents types d'organisation pelliculaires de surface qu'ils ont déterminés. Le type de croûte le plus fréquent rencontré à l'Ouest du Niger, encore une fois que ce soit sur socle ou sur terrain sédimentaire, est la croûte d'érosion ; d'un point de vue hydrologique, nous y avons mesuré une conductivité hydraulique de l'ordre de 8 à 20 mm/h, la moyenne d'une bonne centaine de tests à l'infiltromètre étant proche de 12 mm/h. Un sol bien sarclé peut absorber plus de 200 mm/h ; on mesure bien l'impact hydrologique de ce type de dégradation.