

“Sahélisation” d'un petit bassin versant soudanien Kognere - Boulsa, au Burkina Faso

Jean Albergel et Christian Valentin

Une nouvelle méthode d'étude des petits bassins versants (de quelques dizaines de km²) est en cours d'élaboration. Elle consiste à tester les propriétés hydrodynamiques des sols sur un nombre réduit de sites à l'aide d'un simulateur de pluies, puis à relier les résultats acquis à cette échelle très ponctuelle aux valeurs de l'écoulement obtenues à l'exutoire du bassin (ALBERGEL et CASENAVE, 1984). Pour la mise en oeuvre de cette méthode, un certain nombre de bassins versants expérimentaux étudiés par l'ORSTOM en Afrique de l'Ouest ont fait l'objet de nouvelles campagnes de mesures... Tel est le cas du bassin versant de KOGNERE, qui avait été étudié entre 1960 et 1962 (SIRCOULON et KLEIN, 1964) et où les nouvelles observations, effectuées en 1984, ont révélé *d'importantes perturbations dans le fonctionnement hydrologique* de ce bassin versant...

*

* *

Dans le présent travail, les auteurs cherchent à expliquer ces variations de fonctionnement par des modifications du milieu dues, à la fois, à la péjoration climatique qui caractérise l'ensemble de cette zone soudanienne depuis plus de quinze ans (ALBERGEL et *al*, 1985-a) et à une pression anthropique régionale grandissante (taux d'accroissement démographique annuel de 2,6%, d'après VAUGELADE, com. orale).

La Dégénération des Paysages en Afrique de l'Ouest...

* Séminaire de Dakar, 21-26 novembre 1988 *

1. Données et méthodes

1) Présentation générale du bassin

Le bassin de KOGNERE est situé sur le "Plateau Mossi", au nord-est de Ouagadougou. Ses principales caractéristiques sont indiquées par DUBREUIL et *al.* (1972). De dimensions réduites (19,8 km²), il appartient au grand bassin de BOULSA (1 010 km²). Ses coordonnées sont 12°22'44" N et 0°28'49" W.

La pluviométrie annuelle moyenne était, pour la période 1930-1960, de 775 mm. A cette époque, la savane arbustive couvrait environ 80% de la superficie du bassin. Actuellement, la moyenne pluviométrique des quinze dernières années, est de 650 mm. La savane arbustive ne recouvre plus que 45% de la superficie du bassin.

La description pédologique du bassin (*anonyme dans DUBREUIL et al.*, 1972) signale la présence :

— de sols ferrugineux tropicaux généralement indurés en cuirasse, soit formations graveleuses sur les plateaux, soit cuirasse découpée en glacis sur les pentes et bas de pentes,

— de sols hydromorphes (à hydromorphie temporaire) argileux dans les thalwegs,

— d'alluvions graveleuses, en provenance des glacis, à la bordure des thalwegs.

Ces sols se sont développés sur des granites à biotite du précambrien et sur des schistes du birrimien.

Le réseau hydrographique est très dégradé. Manifestement en voie de comblement, le lit mineur tend à s'estomper ou à ne subsister çà et là que sous la forme de mares allongées, séparées par des seuils d'alluvion-nement.

2) Cartographie des milieux selon leur aptitude au ruissellement

A l'issue de nombreux travaux sur le comportement hydrodynamique des différents milieux de la zone intertropicale sèche Ouest-africaine, les critères d'aptitude au ruissellement retenus se rapportent à des «*états de surfaces*» (COLLINET et LAFFORGUE, 1979; ALBERGEL et *al.*, 1985-b). Ce terme, peu précis, mais souvent utilisé, recouvre deux composantes : les organisations pédologiques superficielles et le couvert végétal. Ces études ont montré que les organisations pédologiques internes n'influencent que très peu le ruissellement.

En accord avec ces résultats, une cartographie des états de surface a été mise au point (VALENTIN, 1985). La méthode utilisée

consiste à décrire, sur le terrain, un certain nombre de sites d'observation. Un regroupement de ces sites est effectué afin de définir différentes unités d'isoperméabilité. Une fois ces unités définies, leurs limites sont tracées par photo-interprétation (les différents points d'observation servant de "vérité-terrain"). Disposant de documents photographiques, dont les dates ne sont guère éloignées de celles des mesures hydrologiques (1956 et 1980), il a été possible de quantifier les grandes modifications de ces états de surface sur le bassin de KOGNERE.

3) Les données hydrologiques

Les caractéristiques pluies-débits, à l'échelle du bassin, ont été obtenues à partir de quatre années d'observations, 1960-1962 et 1984. Les paramètres hydrodynamiques des différents milieux cartographiés ont été étudiés au cours d'une expérimentation de pluie simulée sur onze parcelles de 1 m².

Le simulateur de pluie utilisé a été mis au point par des chercheurs de l'ORSTOM (ASSELIN et VALENTIN, 1978). Ses principales caractéristiques sont de pouvoir reproduire des événements pluvieux dont les paramètres (intensité, durée, fréquence, énergie cinétique des gouttes de pluie) sont ceux observés dans la zone d'étude. Un protocole de plusieurs pluies simulées (5 ou 7) sur quelques parcelles (3 ou 4), représentatives de l'hétéro-généité d'une unité cartographique, permet de quantifier l'aptitude au ruissellement de cette unité.

2. Les résultats

1) Etude comparée du ruissellement à vingt ans d'intervalle

Le tableau n°1 montre les caractéristiques annuelles de l'écoulement pour les quatre années observées. Malgré une pluviométrie très déficitaire en 1984 (cinquantennale sèche), l'écoulement annuel reste comparable à celui observé pour les années anciennes plus humides: le coefficient d'écoulement de 1984 est égal à celui prévu pour une année où la pluviométrie serait médiane (RODIER, 1975).

	1960	1961	1962	1984
Pluviométrie moyenne annuelle (mm)	725	685	1140	591
Lame d'eau écoulée (mm)	29	17	126	20
Coefficient d'écoulement annuel (%)	4	2,5	11	3,4

Tableau 1. Écoulement annuel sur le bassin-versant de KOGNERE

Lors de l'ancienne étude, le coefficient de ruissellement de chaque crue a été relié à la pluie moyenne calculée sur le bassin et à un indice représentant l'état d'humectation des sols avant la pluie (IH = somme des rapports de la pluie antérieure divisée par le temps séparant deux averses consécutives). Une courbe représentant le coefficient de ruissellement en fonction de la pluie a été tracée pour un indice d'humidité médian des sols en utilisant la méthode des déviations résiduelles (SIRCOULON et KLEIN, 1964).

En ramenant les valeurs des coefficients de ruissellement observés en 1984 à ce même indice, il est possible, malgré le faible nombre de crues survenues, de tracer une nouvelle courbe (fig.n°1).

Pour les pluies supérieures à 25 mm, les coefficients de ruissellements en 1984 sont supérieurs de 50% à ceux observés entre 1960 et 1962¹ !

2) Aptitude au ruissellement des différents milieux du bassin

Onze parcelles représentatives de sols et d'états de surfaces différents ont été testées (tableau n° 2).

Pour chaque pluie, la relation entre la lame ruisselée et la hauteur précipitée est linéaire à partir d'un certain seuil pluviométrique. Ce seuil représente l'établissement d'«un régime permanent de ruissellement» (LAFFORGUE, 1977).

¹ La courbe de ruissellement tracée pour 1984 ne peut être considérée comme une courbe de ruissellement dans des conditions moyennes; en effet, l'indice d'humidité médian qui est de 35 pour 1960-1962 n'est que de 17 pour la période récente.

L'eau : diminution de l'infiltration, augmentation du ruissellement

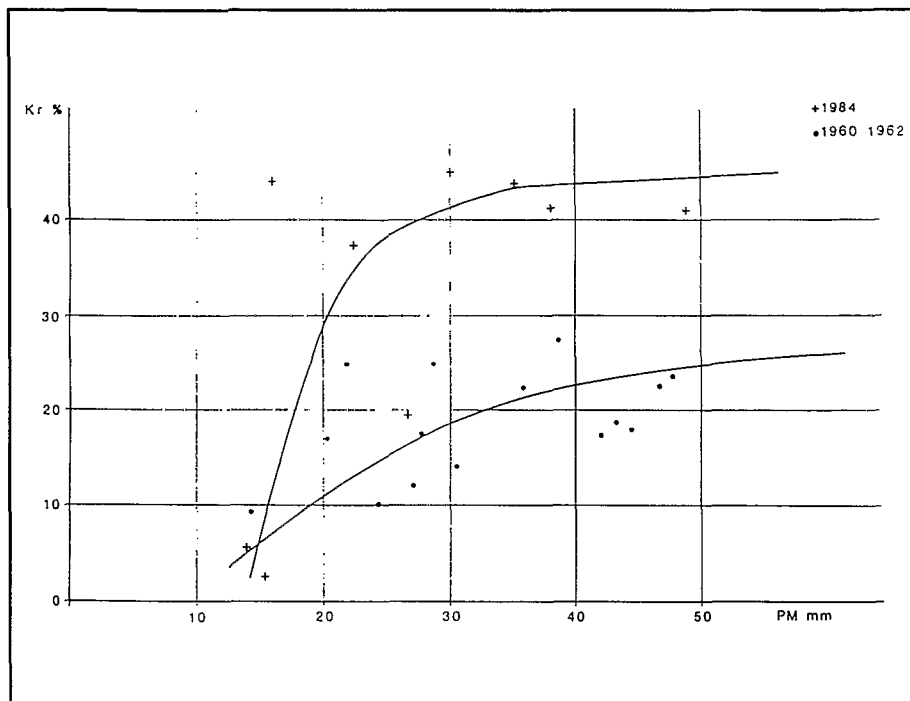


Figure 1. Coefficients de ruissellement ramenés à un indice d'humidité IH = 35 en fonction de la pluie moyenne

ETATS DE SURFACE	SOLS		Hydromorphes	Peu évolués			
	Fersiallitiques						
Cuirasse et surface gravillonnaire	8 CU	9 YN					
Surface à sables grossiers et à termitières				1 CU	2 YN	3 SN	4 YN
Surface pelliculaire sans sables grossiers	10 CU	11 YN					
Surface érodée à sables grossiers sans termitières	5 CU	6 SN					
Zone d'écoulement et de bas-fond			7 YN				

Tableau 2. Sols et états de surface des onze parcelles

7 = numéro de la parcelle

CU = sol cultivé; VN = végétation naturelle; SN = sol nu

La figure n° 2 représente ces droites de "régime permanent" pour la première pluie simulée (96,7 mm) qui survient toujours sur un sol très sec (l'humidité volumique mesurée sur les cinquante premiers centimètres de sol a sensiblement la même valeur pour toutes les parcelles). Sur chaque droite, a été indiqué le pourcentage de couverture végétale (notée C.V. en %). Les droites en pointillé représentent les sols cultivés. La couverture végétale est constituée de plants de mils (2 à 5 par m²) sur les parcelles cultivées, et, essentiellement, de Graminées sur les autres (*Loudetia togoensis*, *Andropogon gayanus*, *Pennisetum sp.*).

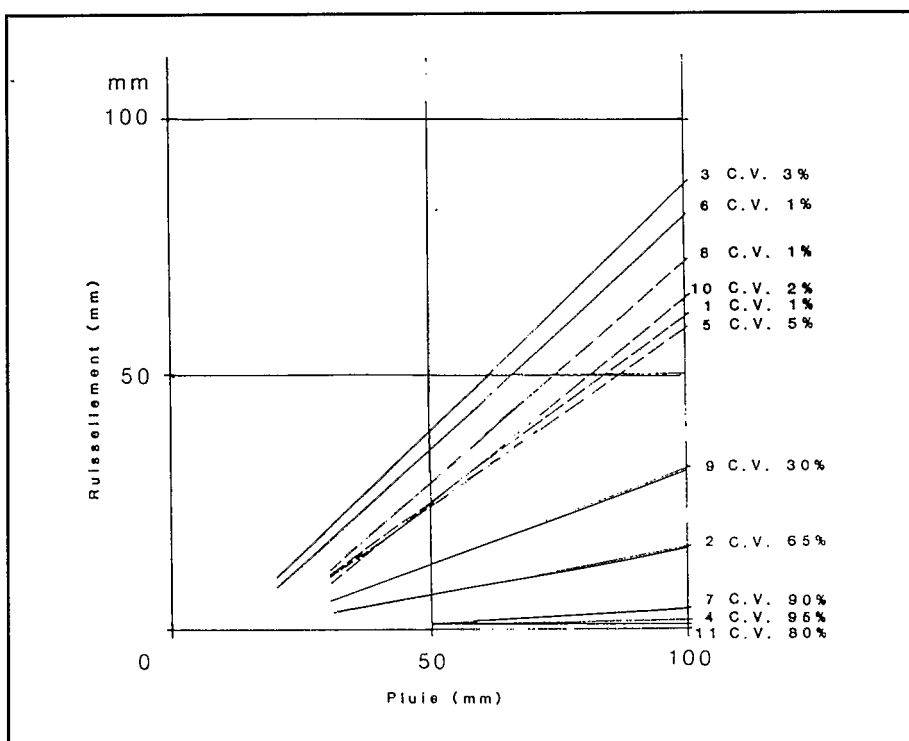


Figure 2. Lame ruisselée en fonction de la lame précipitée pour la première pluie simulée

Cette figure montre une relation étroite entre la pente des droites de ruissellement et le pourcentage de couverture végétale. En fonction de leur aptitude au ruissellement, elle permet de séparer les onze parcelles en trois classes :

- les parcelles nues (couverture végétale inférieure à 10%)
- les parcelles cultivées
- les parcelles à forte couverture végétale.

Dans une même classe, la variation du coefficient de ruissellement est assez faible. Pour les parcelles où la densité de végétation est la plus forte, cette variation est celle communément admise pour les différents types de sol : les sols peu évolués sont plus drainants que les sols hydromorphes mais moins que les sols fersiallitiques (BOULET, 1976). Pour les sols cultivés et les sols nus, le microrelief et les organisations pelliculaires de surface sont les principaux facteurs explicatifs des différences d'aptitude au ruissellement.

Sur l'ensemble du protocole de pluies simulées, ont été définis, par ailleurs, deux paramètres caractérisant l'hydrodynamique de la parcelle : a) un coefficient de ruissellement total (somme des lames ruisselées divisée par la somme des lames précipitées) et b) un coefficient d'infiltration à saturation (conductivité hydraulique de l'horizon de surface).

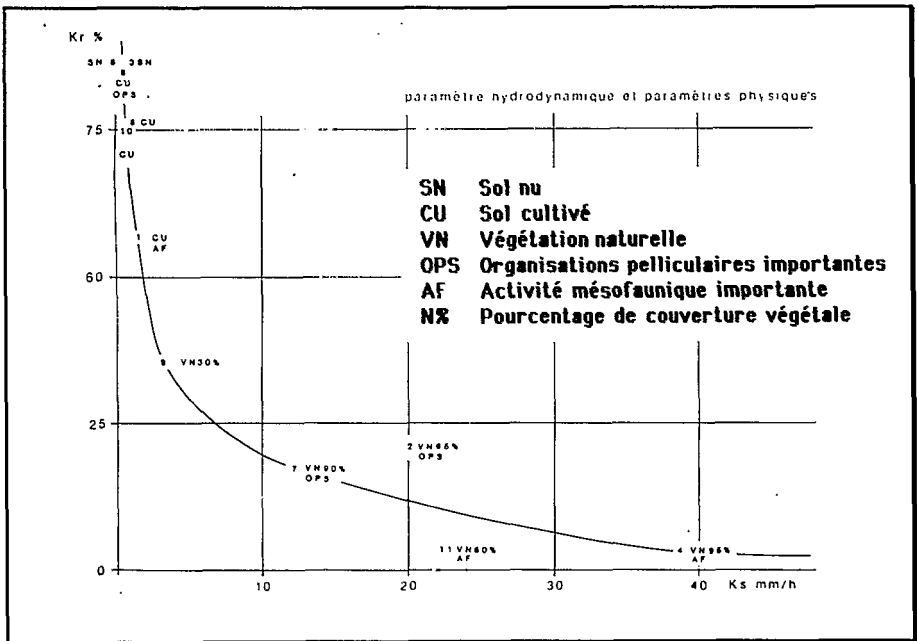


Figure 3. Coefficient de ruissellement en fonction de la conductivité hydraulique

La figure n° 3 montre la relation entre le coefficient de ruissellement et le coefficient d'infiltration à saturation. Les onze parcelles ont été reportées avec leurs principaux caractères physiques.

Sur cette figure 3, on remarque :

— une bonne séparation des trois groupes, sols nus, sols cultivés et sols à végétation naturelle : le couvert végétal est déterminant sur l'hydrodynamique de la parcelle,

— une influence importante des organisations pelliculaires, de l'activité mésofaunique et du microrelief sur cette hydrodynamique.

*
* *

L'augmentation sensible de l'aptitude au ruissellement de ce bassin peut sembler contradictoire avec deux observations :

— cette région connaît une sécheresse persistante depuis plusieurs années; la saturation hydrique des sols favorisant le ruissellement est plus rarement atteinte (l'indice d'humidité médian des sols est, en 1984, deux fois plus petit que pour la période 1960-1962),

— cette sécheresse se caractérise par une diminution des événements pluvieux les plus forts (ALBERGEL et al., 1985), qui donnent les crues les plus fortes.

L'augmentation du régime hydrologique de ce petit bassin versant ne peut trouver son explication que dans une transformation de grande ampleur des états de surface : pour confirmer cette hypothèse nous avons cherché à quantifier ces transformations à l'aide d'une photointerprétation comparée entre 1956 et 1980.

3. Evolution des états de surface (1956 à 1980)

1) Les états de surface actuels

A partir de 54 points d'observations, sept unités cartographiques ont été définies (fig. n° 4) :

unité 1 : cuirasse et surfaces gravillonnaires

Cette unité se localise essentiellement en haut des versants et en position d'interfluves, et correspond à la présence de cuirasse ou carapace subaffleurante. Assez délaissée par l'agriculture, elle présente une végétation naturelle relativement dense. C'est en effet dans cette unité que l'on rencontre les arbres les plus hauts, les recrûs ligneux les plus denses et un couvert herbacé assez développé. Les réorganisations superficielles se limitent à la présence d'environ 20% de taches gravillonnaires. L'érosion par contre y est assez forte.

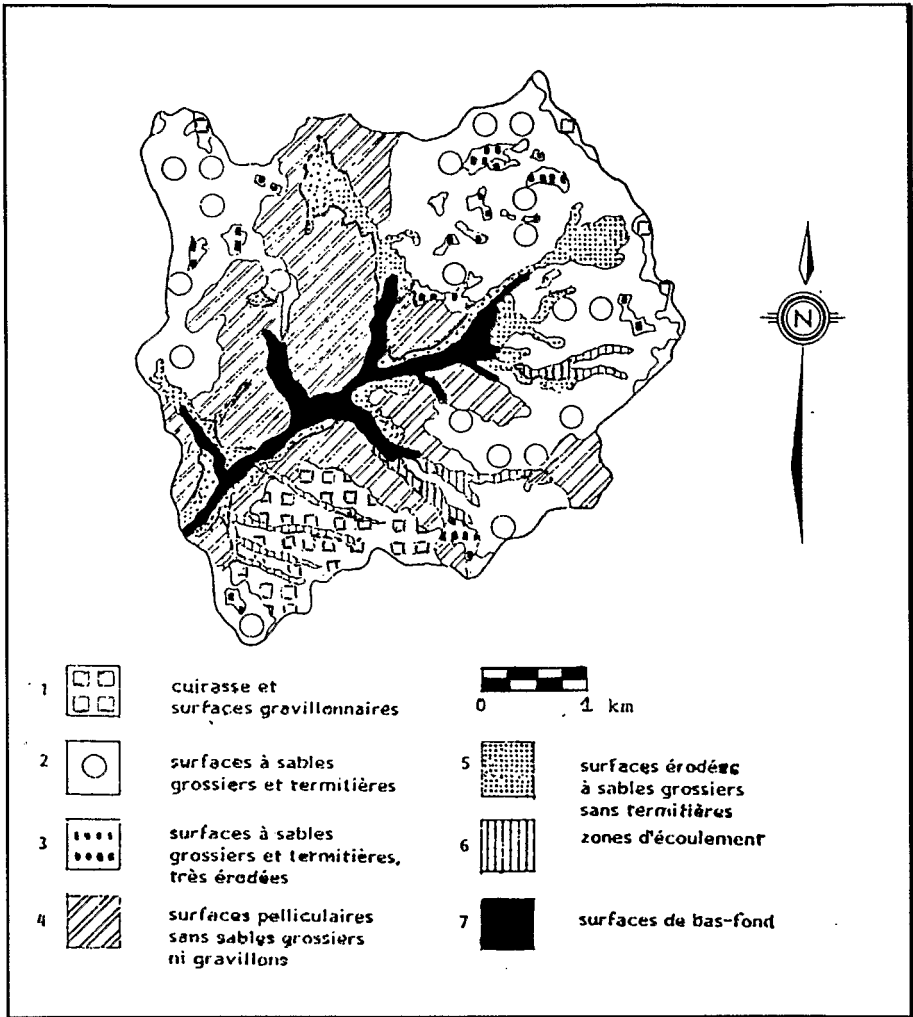


Figure 4. Cartographie des états de surface actuels

unité 2 : surfaces à sables grossiers et à termitières

Cette unité, en aval de la précédente, sur des sols peu épais, n'est pas non plus très cultivée et résiste assez bien à l'érosion. Elle se caractérise par la présence d'une forte densité de termitières épigées. Ces termitières, une fois érodées laissent des taches nues, indurées, très pelliculaires, qui incluent des sables grossiers et des gravillons.

unité 3 : surfaces à sables grossiers et à termitières très érodées

Cette unité dérive de la précédente par une dégradation due à une surexploitation culturale. Celle-ci, associée à la sécheresse de la dernière décennie, a entraîné des dénudations locales du sol favorisant ainsi des réorganisations superficielles importantes et une érosion intense. Ce type de surface n'est pas sans rappeler celles que l'on rencontre plus au nord, en zone sahélienne. Aussi peut-on qualifier de «sahélisation» l'ensemble de ces phénomènes de dégradation .

unité 4 : surfaces pelliculaires sans sables grossiers ni gravillons

Cette unité correspond sensiblement aux sols ferrugineux tropicaux, traditionnellement cultivés sur ce bassin. Bien que soumis à de fortes réorganisations superficielles lors de la mise en culture (pellicules peu perméables), ils résistent assez bien à l'érosion.

unité 5 : surfaces érodées à sables grossiers sans termitières

Il s'agit de l'unité la plus dénudée. L'herbe y est rare (pâturage), quand elle n'est pas absente. Cette unité correspond à plusieurs zones très dégradées par l'érosion : pentes de raccord aux marigots, proximité des villages et campements, champs en pente...

unité 6 : surfaces d'écoulement

Il s'agit de surfaces qui, sans être des bas-fonds, correspondent à des zones d'écoulement de l'eau. La végétation y est peu développée. Les surfaces présentent des pellicules et des indices d'hydromorphie. L'érosion y est surtout linéaire.

unité 7 : bas-fonds

La végétation se résume à une ligne d'arbres, assez denses, le long du marigot. Les surfaces hydromorphes présentent des variations latérales entre taches nues et zones à recouvrements sableux peu épais (1 cm). L'érosion y est moyennement marquée.

2) Comparaison des photographies aériennes de 1956 et 1980

La figure n° 5 présente les cartes d'utilisation des sols en 1956 et 1980. On observe une forte augmentation de la surface occupée par les champs, qui fait plus que doubler, tandis que la surface occupée par les jachères récentes se trouve amputée de près de la moitié.

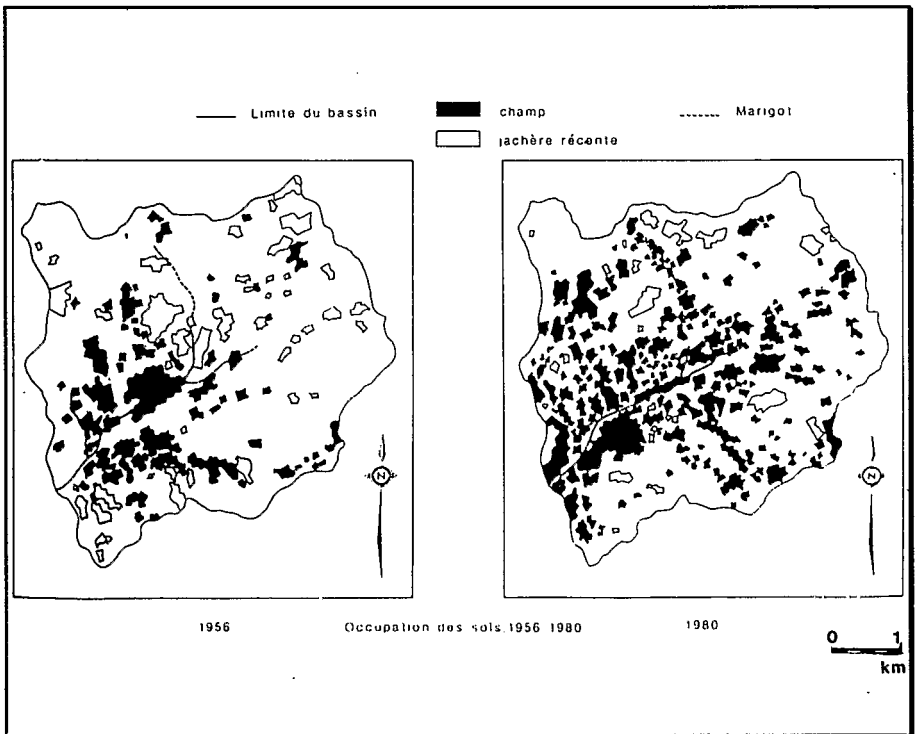


Figure 5. Comparaison de l'occupation des sols 1956-1980

Il est intéressant de comparer les cartes d'occupation des sols et celle des états de surfaces.

Apparaissent ainsi des types de surface jusqu'alors délaissées par les cultures et maintenant exploitées. En 1956, c'est surtout l'unité 4 qui est cultivée, secondairement l'unité 7 : les autres unités semblent être marginales pour la culture. En 1980, ce sont toujours les unités 4 et 7 qui sont les plus exploitées, mais elles tendent à devenir *complètement* et *en permanence* ; en effet, les jachères y sont presque absentes. De plus, les zones naguère marginales, comme l'unité 2, sont de plus en plus mises en culture.

Le doublement des zones cultivées, la division par deux des jachères, le défrichement des zones marginales, et des années très déficitaires quant à la pluviométrie (ce qui tend à laisser le sol nu), sont les facteurs qui favorisent une aptitude croissante au ruissellement et à la dégradation des sols par érosion hydrique (VALENTIN et RUIZ FIGUEROA, 1985).

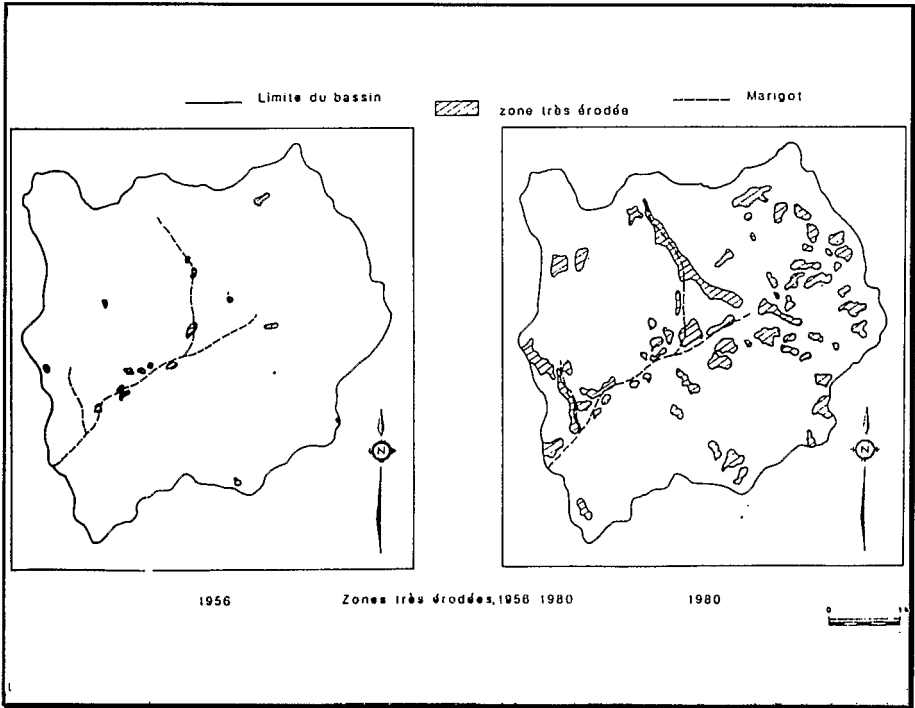


Figure 6. Comparaison des surfaces très érodées 1956-1980

Cette figure 6 montre l'évolution des zones très érodées : de 1956 à 1980, ces surfaces très érodées, que l'on peut considérer comme impropres à la culture, ont été à peu près multipliées par vingt ! Si l'on excepte quelques zones naturellement fragiles et déjà érodées en sommet en versant, l'essentiel de cette érosion est imputable à l'homme.

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. De nouvelles zones érodées apparaissent, surtout lors de la mise en culture de l'unité 2 (elle devient alors unité 3) et de la (sur)exploitation des unités 6 et 7 (qui tendent à devenir unité 5)...

Les sols de l'unité 4, la plus cultivée, sont assez résistants à l'érosion hydrique. Nous avons vu néanmoins qu'ils étaient sensibles au processus de réorganisation superficielle et de 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.

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*) et où l'érosion en nappes est particulièrement marquée, formant des micro-dénivelés en forme de marches d'escalier.

Si l'on se réfère à ces différentes observations, concernant l'extension des zones érodées et dénudées sur le bassin, et aux résultats des expérimentations sur le ruissellement, effectuées au "mini-simulateur de pluie", il est possible d'expliquer qualitativement cette augmentation du coefficient de ruissellement qui s'est produite malgré une nette diminution de la pluviométrie.

*
* *

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 à l'échelle des 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, sujets à l'érosion et/ou aux phénomènes "*d'encroûtement*".

Conjointement à la réduction du couvert végétal, on assiste à son adaptation à la sécheresse : les Graminées annuelles se développent au détriment des espèces pérennes, les jeunes arbres deviennent en majorité des épineux, à surface foliaire réduite, et remplacent les Combrétacées de la savane arborée...

Dans l'hypothèse, maintenant formulée, 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 surfaces ?

Enfin, il faut faire la remarque suivante, sans doute valable pour l'ensemble du domaine géographique qui a été soumis à cette longue période sèche : la sécheresse, en favorisant les conditions du ruissellement, ne met pas à l'abri des crues les plus catastrophiques... qu'elle peut, au contraire, accroître de manière indifférenciée¹ !

BIBLIOGRAPHIE

Albergel, J. & Casenave, A. (1984) - Une nouvelle technique d'estimation des crues décennales des petits bassins versants : les études sous pluies simulées. CIEH Yaoundé, Compte rendu des journées techniques, Tome 2.

Albergel, J. , Carbonnel, J.P. & Grouzis, M. (1985-a) - Sécheresse au Sahel incidences sur les ressources en eau et les productions végétales. Cas du Burkina Faso. *Veille satellitaire* n° 2 pp. 18-30 ORSTOM. Météorologie Nationale, Lannion.

Albergel, J. , Ribstein, P. & Valentin, C. (1985-b) - L'infiltration : quels facteurs explicatifs ? Analyse des résultats acquis sur 48 parcelles soumises à des simulations de pluies au Burkina Faso. Journées Hydrologiques de Montpellier, ORSTOM, 24 p.

Asseline, J. & Valentin, C. (1978) - Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, Vol XV, n° 4 Paris.

Boulet, R. (1976) - Notice des cartes de ressources en sols de la Haute Volta. ORSTOM, Paris, 97 p.

Collinet, J. & Lafforgue, A. (1979) - Mesure de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sol de Haute Volta. ORSTOM, Abidjan, 129 p.

Dubreuil, P. , Chaperon, P. , Guiscafré, J. & Herbaud, J. (1972) - Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux. Années 1951-1969. ORSTOM, Paris 916 p.

Lafforgue, A. (1977) - Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données sous pluies simulées. *Cah. ORSTOM sér. Hydrol.* Vol. XIV n° 4.

¹ Alors que, devant la diminution des totaux pluviométriques et la raréfaction des pluies les plus fortes, la tentation de réduire les normes hydrologiques des aménagements hydrauliques est grande...

L'eau : diminution de l'infiltration, augmentation du ruissellement

Rodier, J.A. (1975) - Evaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel tropical africain. Travaux et Documents ORSTOM, Paris, 121 p.

Sircoulon, J. & Klein, J.C. (1964) - Etude hydrologique de bassins expérimentaux dans l'Est-Volta. ORSTOM Paris, 77 p. + ann.

Valentin, C. (1985) - Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement : une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques. Journées Hydrologiques de Montpellier, ORSTOM.

Valentin, C. & Ruiz Figueroa, J.F. (1985) - The effect of kinetic energy and water application rate on the development of crusts in a fine sandy loam soil using sprinkler irrigation and rainfall simulation. *Rev. int. de micromorphologie des sols*, Paris.