

«SAHELISATION» D'UN PETIT BASSIN VERSANT SOUDANIEN : KOGNERE-BOULSA AU BURKINA-FASO

ALBERGEL J. & VALENTIN C.
ORSTOM

Une nouvelle méthode d'étude des 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 et de relier les résultats acquis à cette échelle à ceux obtenus à l'exutoire (ALBERGEL et CASENAVE, 1984). Pour la mise en oeuvre de cette méthode, un certain nombre de bassins versants expérimentaux observés par l'ORSTOM en AFRIQUE de l'OUEST ont fait l'objet de nouvelles campagnes de mesures. Le bassin versant de KOGNERE avait été étudié entre 1960 et 1962 (SIRCOULON et KLEIN, 1964). Les observations de 1984 ont montré des perturbations dans le fonctionnement hydrologique de ce bassin versant.

Dans le présent travail, les auteurs cherchent à expliquer les variations de ce fonctionnement par les modifications du milieu dues à la fois à une péjoration climatique depuis plus de quinze ans (ALBERGEL *et al.* 1985, a) dans l'ensemble de cette zone, et à une pression anthropique grandissante sur l'écologie de la région (taux d'accroissement démographique annuel de 2,6 % Vaugelade com., orale)

1 – DONNÉES ET METHODES

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 dimension réduites (19,8 km²), il appartient au grand bassin de BOULSA (1010 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.

Cartographie des milieux selon leur aptitude au ruissellement

A l'issue de nombreux travaux sur le comportement hydrodynamique

mique des différents milieux composant la zone intertropicale sèche de l'AFRIQUE de l'OUEST, les critères d'aptitude au ruissellement retenus sont les paramètres des états de surface (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 des états de surface sur ce bassin.

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 un 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'hétérogénéité d'une unité cartographique permet de quantifier l'aptitude au ruissellement de cette unité.

2 – LES RÉSULTATS

Étude comparée du ruissellement sur deux périodes à vingt ans d'intervalle

Le tableau numéro 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 humi-

des. 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 ruissellement en 1984 sont supérieurs de 50 % à ceux observés entre 1960 et 1962 !

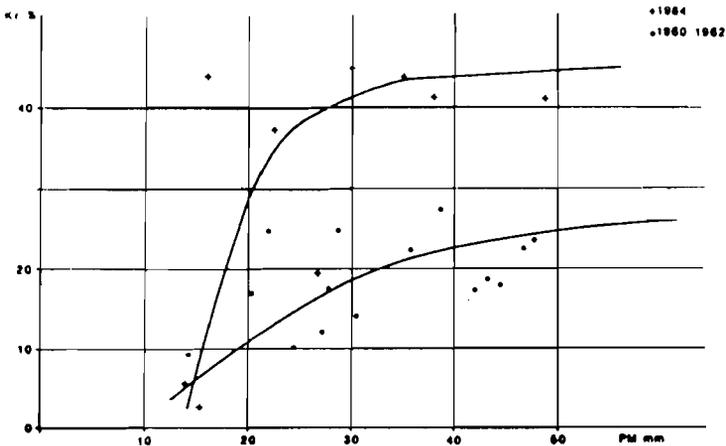


Figure 1

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

- 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 première période d'observations) ;
- cette sécheresse se caractérise par une diminution des événements pluvieux les plus forts (ALBERGEL *et al*, 1985, a) qui donnent les crues les plus fortes.

Aptitude au ruissellement de différents milieux du bassin

Onze parcelles représentatives de sols et d'états de surface différents ont été testées. 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).

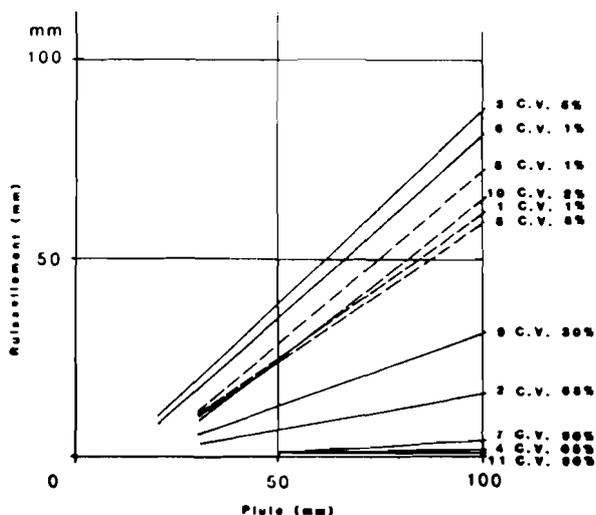


Figure 2

La figure n°2 représente ces droites 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. 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.*).

La figure n°2 montre une relation étroite entre la pente des droites de ruissellement et le pourcentage de couverture végétale. Elle permet de séparer en trois classes, les onze parcelles en fonction de leur aptitude au ruissellement :

- 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). Le microrelief et les organisations pelliculaires de surface sont les principaux facteurs explosifs des différences d'aptitude au ruissellement pour les sols cultivés et les sols nus.

L'augmentation du régime hydrologique de ce petit bassin versant doit trouver son explication 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 photo-interprétation comparée entre 1956 et 1980.

3 – COMPARAISON DES ÉTATS DE SURFACE EN 1956 ET 1980

Les unités de surface définies sur le bassin

A partir de 54 points d'observations, sept unités cartographiques ont été définies (fig. n. 3) :

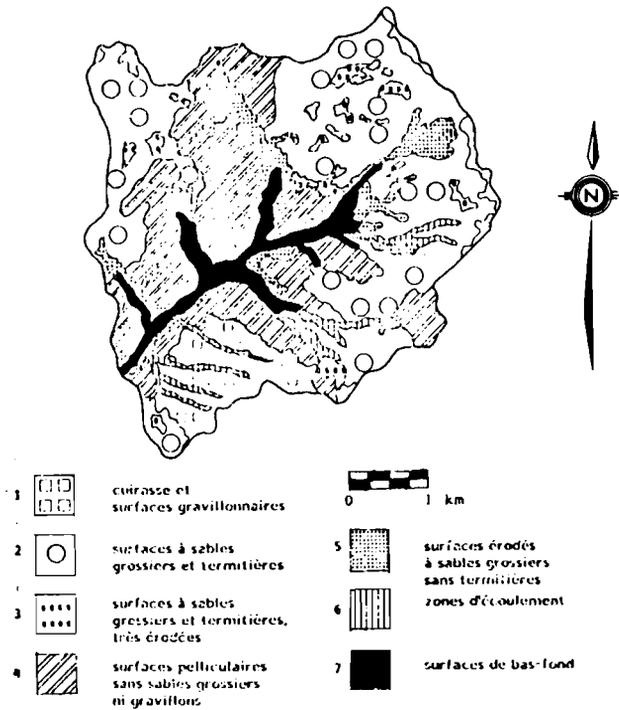


Figure 3

– unité 1 : cuirasse et surfaces gravillonnaires.

Cette unité se localise essentiellement en haut des versants en position d'interfluves et correspond à la présence de cuirasse ou carapace sub-affleurante. 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 superficelles se limitent à la présence d'environ 20 % de taches gravillonnaires. L'érosion par contre y est assez forte.

– 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 et 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 ce phénomène de «sahélisation».

– 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 : zone d'écoulement.

Il s'agit des 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 fond.

La végétation se résume à une ligne d'arbres, assez dense, le long du marigot. Les surfaces hydromorphes présentent des variations latérales entre taches nues et zones à recouvrements sableux peu épais (un cm).

Comparaison des photographies aériennes de 1956 et 1980

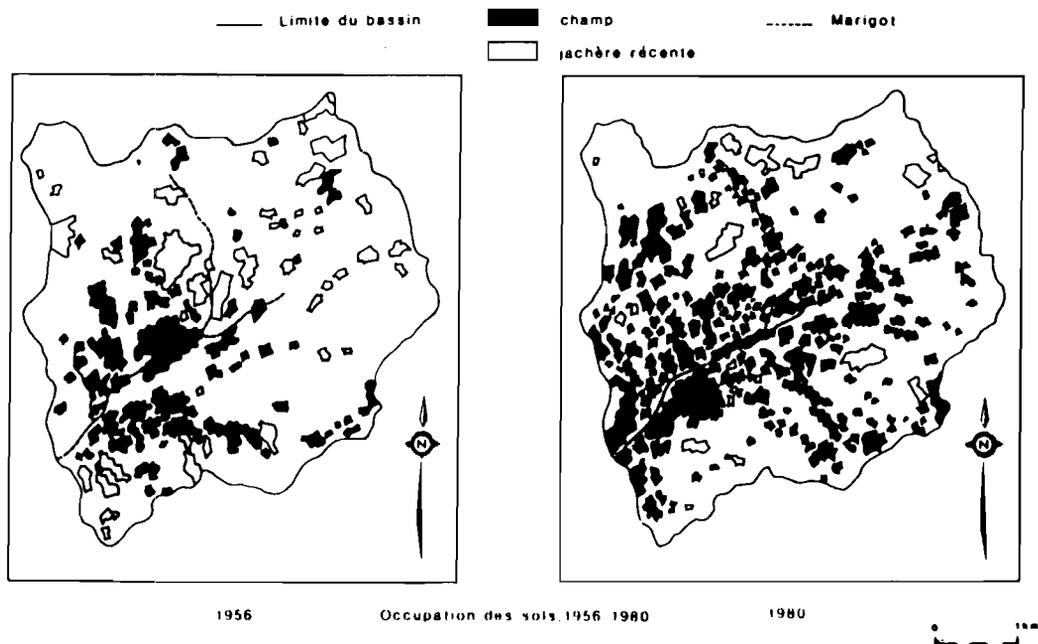


Figure 4

La figure numéro 4 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. Il est intéressant de comparer les cartes d'occupation des sols et celle des états de surface.

Apparaissent ainsi les types de surface jusqu'ici délaissées par les cultures et maintenant exploitées. En 1956, c'est surtout l'unité n° 4 qui est cultivée, secondairement l'unité n° 7. Les autres unités semblent alors marginales pour la culture. En 1980, ce sont toujours les unités n° 4 et 7 qui sont le plus exploitées, mais elles tendent à le devenir *complètement et en permanence*. En effet, les jachères y sont presque totalement absentes.

De plus, les zones naguère marginales comme l'unité n° 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, des années très déficitaires quant à la pluviométrie (ce qui tend à

laisser le sol nu), sont les facteurs qui favorisent la dégradation des sols par érosion hydrique et une aptitude croissante au ruissellement. (VALENTIN et RUIZ FIGUEROA, 1985).

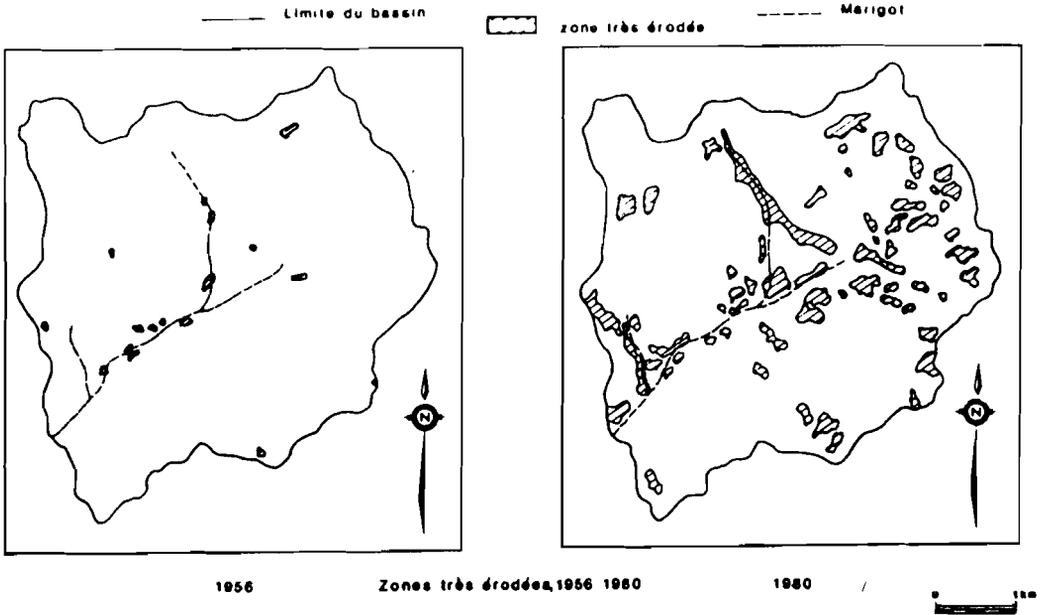


Figure 5

La figure n° 5 montre l'évolution des zones très érodées. De 1956 à 1980, les 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 de versant, la quasi totalité de cette augmentation 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. Les nouvelles zones érodées apparaissent surtout lors des mises en culture de l'unité n°2 (elle devient alors l'unité n°3) et de la (sur) exploitation des unités n°7 et 6 (qui tendent à devenir l'unité n°5).

Les sols de l'unité n°4, 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.

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 sahéennes, 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 ces 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.

CONCLUSION

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 ?

Enfin, pour toute la région qui connaît cette longue période sèche, il faut faire la remarque suivante : devant la diminution pluviométrique et la raréfaction des pluies les plus fortes, la tentation de réduire les normes hydrologiques des aménagements hydrauliques est grande. 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.

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° 7 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 ser. 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 ser. hydrol. Vol XIV n°4.*

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

Sircoulon J. & Klein J.C. (1964) Étude 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.*

*