

# **VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DES ÉTATS DE SURFACE EN ZONES SAHÉLIENNE ET SOUDANIENNE (BURKINA FASO) : EFFETS SUR LE RUISSELLEMENT**

**J.M. LAMACHÈRE<sup>1</sup>**

---

## **RÉSUMÉ**

Quelques exemples illustrent, dans cet article, les conséquences de la transformation des états de surface des sols de savane et d'un sol sahélien cultivé sur leur comportement hydrodynamique superficiel. Pour permettre, en cours de saison des pluies, avec des averses à intensités faibles et variables, l'utilisation des relations hydrodynamiques figurant dans le catalogue des états de surface de la zone sahélienne (CASENAVE et VALENTIN, 1989), il est également proposé l'utilisation de la notion de pluie utile, notion rattachée ici à celle d'intensité de pluie limite du ruissellement qui caractérise un type de surface élémentaire et son état d'humectation.

À l'occasion de projets communs réalisés par le CIEH, l'Orstom et le Cemagref, une méthodologie originale de cartographie des états de surface utilisant la télédétection et un système d'information géographique (SIG) a été mise au point. Elle permet, couplée avec une description au sol d'un échantillon suffisant de parcelles d'entraînement, bien réparties sur les unités cartographiques, d'utiliser cette description pour définir des unités hydrologiques et modéliser leur comportement hydrodynamique.

L'application de cette méthodologie au petit bassin versant soudanien, très cultivé, de Bindé montre un gain significatif dans l'évaluation des lames ruisselées lorsque l'évolution des états de surface peut être prise en compte dans la

---

<sup>1</sup>Orstom Laboratoire d'Hydrologie 911, avenue d'Agropolis BP 5045 - 34032 Montpellier cedex 1.

modélisation des ruissellements. Cependant, les connaissances acquises sur l'évolution du comportement hydrodynamique des états de surface restent encore très insuffisantes et la prise en compte de cette évolution ne suffira pas à reconstituer aux exutoires l'écoulement des petits bassins versants.

## INTRODUCTION

Les zones sahélienne et soudanienne sont des zones tropicales sèches à une seule saison des pluies. Longue de 8 à 9 mois en zone sahélienne, la saison sèche dure 5 à 7 mois en zone soudanienne. Cette alternance saisonnière, d'une longue période sèche et d'une période humide, rythme le développement de la végétation et sa sénescence. L'arrivée des pluies commande également le début des travaux agricoles par les semis ou les labours. Les sarclages sont ensuite imposés par le développement des mauvaises herbes, l'aplanissement et l'encroûtement de la surface du sol.

En provoquant l'assèchement de la strate herbacée, la longue saison sèche favorise le développement des feux de brousse, là où le couvert herbacé est suffisamment dense et étendu, c'est-à-dire principalement au sud de l'isohyète 800 millimètres.

Pour modéliser la genèse du ruissellement sur les versants et les petits bassins versants au cours d'une saison des pluies, compte tenu de l'importance des états de surface dans la formation du ruissellement en zone tropicale sèche (CASENAVE et VALENTIN, 1989), il est indispensable d'analyser les effets de l'évolution saisonnière des états de surface sur le comportement hydrodynamique des sols et d'intégrer cette évolution à la modélisation des ruissellements.

Pour élaborer des scénarios d'évolution à long terme des paysages et du comportement hydrologique des petits bassins versants, il est tout aussi indispensable de procéder à une analyse diachronique de l'évolution de ces états de surface.

Dans une première partie, nous présenterons quelques exemples d'évolution saisonnière des états de surface en zones sahélienne et soudanienne en couplant cette évolution avec le comportement hydrodynamique superficiel des sols.

Dans une seconde partie, nous proposerons une méthode de cartographie des états de surface et des unités hydrologiques avant de présenter les résultats d'une reconstitution des lames ruisselées sur un petit bassin versant très cultivé de la région de Manga au Burkina Faso.

## VARIABILITÉ TEMPORELLE DES ÉTATS DE SURFACE

Deux échelles de temps doivent être considérées pour étudier la variabilité temporelle des états de surface : l'échelle saisonnière et l'échelle pluriannuelle. Nous nous intéresserons principalement à l'échelle saisonnière.

Un état de surface est défini par un ensemble de caractères : type de sol, microrelief et organisation superficielle, taux d'humectation et couverture végétale.

Sur un même site, ces caractères varient de façon plus ou moins coordonnée en fonction du temps. Le type de sol et sa granulométrie restent les caractères les plus stables, le taux d'humectation et la couverture végétale étant les caractères les plus instables.

### **LA VARIABILITÉ SAISONNIÈRE DES ÉTATS DE SURFACE ET LA MODÉLISATION DE LEUR COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE SUPERFICIEL AU COURS D'UNE SAISON DES PLUIES**

Les expériences réalisées en Afrique de l'ouest avec le simulateur de pluies (CASENAVE et VALENTIN, 1989) ont montré toute l'importance prise par les états de surface dans le comportement hydrodynamique superficiel des sols lorsqu'ils sont soumis à de fortes sollicitations pluviométriques : des intensités pluviométriques supérieures à 30 mm/h, bien groupées sur un intervalle de temps inférieur à 1 heure et sans interruption. Les relations hydrodynamiques figurant dans le catalogue des états de surface de la zone sahélienne ne sont donc utilisables *in extenso* que pour des averses présentant ces caractéristiques. Pour les utiliser avec des averses plus ordinaires, aux intensités faibles et variables, il est nécessaire d'introduire la notion de pluie utile.

La pluie utile d'une averse ( $P_u$ ), relative à un type de surface élémentaire et à son état d'humectation, est la hauteur pluviométrique dont les intensités ( $I$ ) sont supérieures à l'intensité de pluie limite du ruissellement ( $I_l$ ). L'intensité de pluie limite du ruissellement d'un même type de surface élémentaire varie entre une valeur maximale ( $I_{lo}$ ), pour un sol sec, et une valeur minimale ( $I_{ls}$ ) pour un sol saturé. Pour une pluie quelconque, le comportement hydrodynamique superficiel d'une surface élémentaire peut être caractérisé par une expression du type :

$$L_r = a (P_u - P_i) \quad \text{avec} \quad P_u = \sum_j I_j \Delta t_j \quad \text{pour} \quad I_j > I_l \quad (1)$$

Dans cette expression,  $P_i$  est la pluie d'imbibition. Les trois paramètres  $a$ ,  $P_i$  et  $I_l$  dépendent du type de surface élémentaire et de son état d'humectation. Le catalogue des états de surface de la zone sahélienne fournit des estimations de ces paramètres.

### **LE COUVERT HERBACÉ**

Au mois d'avril (ou mai) en zone soudanienne, au mois de mai (ou juin) en zone sahélienne, l'apparition des premières pluies, assez fortes et non isolées, déclenche le développement de la végétation herbacée. Sous réserve que les pluies soient suffisantes, en quantité et en fréquence, pour satisfaire les besoins en eau des jeunes plantes, le couvert végétal herbacé croît plus ou moins rapidement selon la zone climatique, le type de sol et sa position sur le versant.

En zone soudanienne, la croissance du couvert herbacé dépend principalement de la précocité des premières pluies et de leur régularité.

Les observations effectuées au ranch de Nazinga par FOURNIER, (1991) montrent que le pourcentage de recouvrement herbacé, compris entre 5 et 20 % après le passage des feux de brousse, croît régulièrement d'environ 20 % par mois, dès les premières grosses pluies du mois d'avril. Il faut en moyenne 3 mois à la strate herbacée pour retrouver un taux de recouvrement supérieur à 80 % sur la plupart des sols et des unités paysagiques.

En zone sahélienne, dans la région d'Oursi au Burkina Faso (CLAUDE *et al.*, 1991 ; LAMACHÈRE, 1988), la croissance du couvert herbacé est plus rapide et plus forte sur les sols sableux éoliens que sur les glacis argileux. La phytomasse herbacée atteint son maximum en 40 jours sur les sols sableux dunaires, 50 jours sur les glacis argileux. Le couvert végétal reste faible sur les glacis, où le maximum de recouvrement reste toujours inférieur à 40 % et souvent inférieur à 20 %. Il est nettement plus important sur les sols sableux éoliens où le taux de recouvrement maximal est compris entre 40 et 60 %. Il est très important dans les bas-fonds où son taux de recouvrement dépasse 80 %.

Le tableau 1 illustre l'influence du couvert végétal sur l'aptitude au ruissellement des sols en régions sahélienne et soudanienne.

**Tableau 1 :**  
Influence du couvert végétal sur l'aptitude au ruissellement d'après le modèle de CASENAVE.

Types de surfaces élémentaires	Coefficients hydrodynamiques				Intensités limites de ruissellement		Principales caractéristiques des surfaces
	a	b	c	d	II0	IImin	

Zone soudanienne, région de N'Dorola : surfaces élémentaires à faible activité faunique, sans charge grossière

DES 2	0.71	0.002	0.012	6.5	20	10	Sols sab. -lim. et couvert herbacé inf. à 40 %
DES 3	0.3	0.003	0.01	8	30	18	Sols sab. -lim. et couvert herbacé sup. à 80 %

Zone sahélienne, région d'Oursi : surfaces élémentaires à faible activité faunique, sans charge grossière

DES 2	0.3	0.003	0.01	8	30	20	Sols sableux et couvert herbacé sup. à 80 %
DES 3	0.47	0	0.15	9.8	20	10	Sols sableux, et couvert herbacé inf. à 50 %
ERO 4	0.82	5E-04	0.077	10.5	10	5	Sol sableux nu encroûté des microbuttes

Les paramètres  $a$ ,  $b$ ,  $c$  et  $d$  correspondent aux relations :

$$Lr = (a + b IK) Pu + c IK - d \text{ et } IK = IK_j = (IK_{j-1} + P_{j-1}) e^{-a.T}$$

$IK$  étant l'indice d'humectation du sol,  $\alpha = 0,5$  et  $T$  l'intervalle de temps en jours entre pluies successives des jours  $J$  et  $J-1$ .

Les fluctuations du couvert herbacé et l'incidence exacte du taux de recouvrement herbacé sur le comportement hydrodynamique des sols sont encore mal connues. La limite inférieure du taux de recouvrement, au-dessous duquel le couvert végétal herbacé ne semble plus avoir aucun effet sur le ruissellement, se situe autour de 30 %. La limite supérieure, au-dessus de laquelle une augmentation du taux de recouvrement ne joue plus qu'un rôle mineur, se situe autour de 80 %. Entre ces deux valeurs nous en sommes réduit pour l'instant à des interpolations plus ou moins hasardeuses.

### LE TAUX D'HUMECTATION

Le taux d'humectation des sols est un facteur qui conditionne plus ou moins fortement leur aptitude au ruissellement et à l'infiltration en fonction du type de sol et de son état de surface.

Sur les sols très argileux, avec fentes de retrait en saison sèche, tant que le sol n'est pas correctement réhumecté jusqu'à la fermeture des fentes de retrait, le ruissellement est nul et l'infiltration totale. Dès que les fentes de retrait se sont refermées, ce qui correspond approximativement à un apport d'eau équivalent à 200 millimètres de hauteur pluviométrique, le ruissellement devient maximal, avec des coefficients supérieurs à 80 %.

En zone soudanienne, dès la fin du mois d'août, la remontée du niveau des nappes aquifères dans les bas-fonds et sur leurs marges peut créer également des conditions locales très favorables au ruissellement par la saturation superficielle et permanente des sols.

*A contrario*, sur les sols sahéliens fortement encroûtés, le taux d'humectation du sol joue un rôle marginal sur son aptitude au ruissellement. Au Sahel, le taux d'humectation joue un rôle d'autant plus important sur l'infiltration que la porosité superficielle du sol est ouverte, ce qui correspond généralement à un fort taux de recouvrement herbacé.

Le tableau 1 fournit quelques exemples de variation des coefficients hydrodynamiques avec l'indice d'humectation des sols ( $IK$ ), qui varie entre les valeurs 0 et 20 mm en zone sahélienne, 0 et 40 mm en zone soudanienne. On peut ainsi constater l'influence non négligeable de l'indice d'humectation du sol sur le ruissellement.

Cependant cet indice ne tient compte, dans la réalimentation hydrique du sol, que des apports pluviométriques. Son utilisation sur les versants, quelle que soit la position de la surface élémentaire, pose un problème lié à sa représentativité vis-à-vis du taux réel d'humectation et à ses effets sur le ruissellement.

### LE MICRO-RELIEF ET L'ORGANISATION SUPERFICIELLE DES SOLS CULTIVÉS

CASENAVE et VALENTIN, (1989) définissent trois types de surfaces élémentaires sur les sols cultivés : un type C1 où la porosité vésiculaire est inférieure à 5 %, un type C2 où la porosité vésiculaire est comprise entre 5 et 30 %, un type C3 où la porosité vésiculaire est supérieure à 30 %.

Chaque type comprend une ou deux variantes selon le couvert végétal, l'amplitude du microrelief ou la texture du sol. Ces trois types ne sont en réalité que des situations passagères de l'état de surface d'un sol cultivé. La surface d'un sol cultivé suit en effet une évolution qui dépend surtout de l'itinéraire cultural, avec son mode de travail du sol, secondairement des chutes de pluies et de la position du sol sur le versant.

Au nord-ouest du Burkina Faso, dans la province du Yatenga et la région de Bidi (14° de latitude nord), les observations effectuées sur sols sableux fins (LAMACHÈRE, 1991) ont montré que le microrelief et l'organisation superficielle du sol évoluent, sous l'action des gouttes de pluie et du ruissellement, de telle sorte qu'après un sarclage butté (type C1), le type C2 est atteint avec un total pluviométrique de 100 mm tombé après le sarclage. Le type C3 est atteint après un total pluviométrique égal à 200 mm. Nous avons représenté, sur les figures 1 à 3, l'évolution des paramètres  $a$ ,  $Pi$  et  $Il$ , correspondant à l'expression (1), en fonction de la somme des pluies tombées depuis le sarclage  $\{S(Pa)\}$ . Pour les paramètres  $a$  et  $Il$ , le décalage entre les expériences réalisées en saison sèche et en saison humide devra être confirmé par de nouvelles expérimentations puis interprété avec les données de la physique du sol.

L'état des connaissances actuelles sur l'évolution du microrelief, de l'organisation superficielle et du comportement hydrodynamique superficiel des sols cultivés (en fonction de l'itinéraire cultural, du type de sol et des chutes de pluie) est encore très fragmentaire dans les zones sahéenne et soudanienne. L'étude la plus récente sur ce thème est consacrée aux sols cultivés du sud Saloum au Sénégal (PEREZ, 1994). Le rôle joué par cette évolution dans la genèse des ruissellements sur les cultures mériterait un développement plus important des recherches dans cette direction.

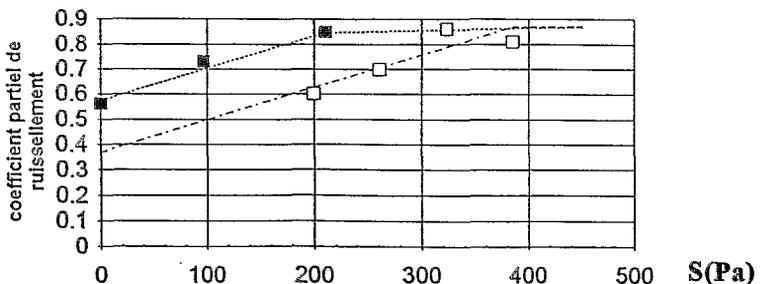
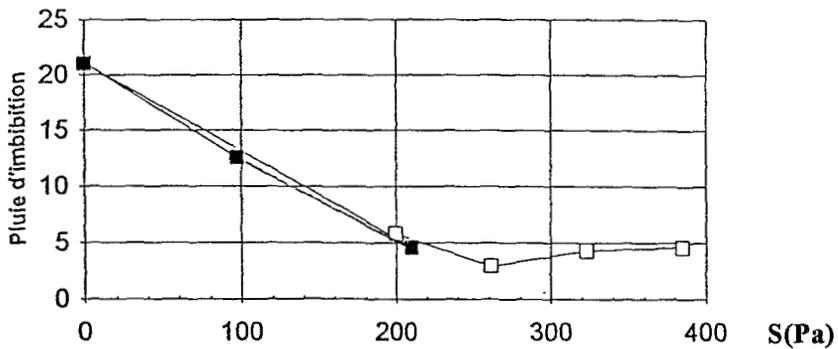
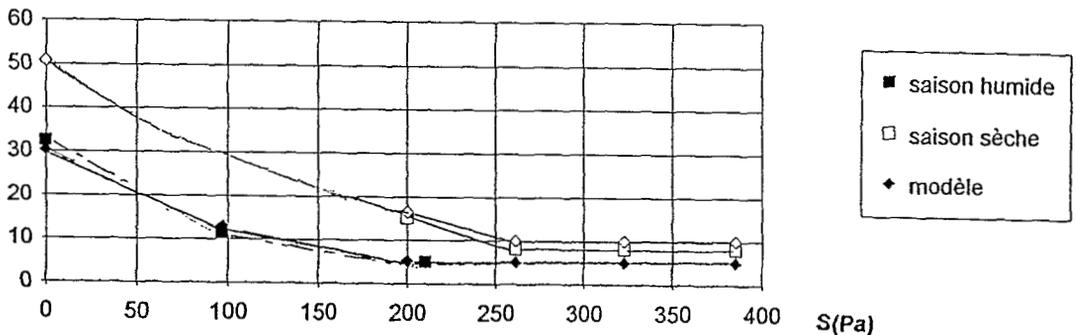


Figure 1 :  
Variations du coefficient  $a$ .



**Figure 2 :**  
Variations du paramètre Pi.



**Figure 3 :**  
Variations de l'intensité de pluie limite du ruissellement (II).

## VARIABILITÉ SPATIALE DES ÉTATS DE SURFACE

Pour appréhender la variabilité spatiale des états de surface, il faut disposer de documents cartographiques permettant de sélectionner un échantillon au sol représentatif des paysages ou des ensembles paysagers définis par une analyse géographique préalable de la surface à cartographier.

Les photographies aériennes et les cartes topographiques sont les documents de base indispensables à cette analyse des paysages. Depuis une dizaine d'années, la commercialisation d'images satellitaires à haute résolution (images Spot et

images Landsat-TM) et la diffusion de logiciels d'analyse numérique permettent l'utilisation de nouveaux documents cartographiques qui sont les produits de l'analyse numérique des images satellitaires.

Les essais de cartographie des états de surface réalisés au Burkina Faso dans le cadre des projets Pnud/DTCD BKF 88 002 et FAO/CIEH-Orstom-Cemagref ont permis de définir une méthodologie générale qui sera publiée prochainement par la FAO. dans une notice technique consacrée aux nouvelles technologies en hydrologie. Les auteurs de cet ouvrage sont Puech C. pour la partie Cemagref traitant de l'utilisation de la télédétection, LAMACHÈRE J.M. et Estèves M. pour la partie Orstom consacrée aux observations au sol et à l'utilisation d'un SIG.

La procédure générale mise au point à l'occasion du projet FAO. consiste à produire trois à quatre plans d'informations différents :

- un plan *sols*, un plan *végétation* et un plan *cultures* issus des traitements numériques des images satellitaires, supervisés par les descriptions au sol ;
- un plan *relief* issu d'un modèle numérique de terrain réalisé à partir d'une carte topographique.

L'utilisation d'un système d'information géographique permet ensuite de combiner les plans dans un ordre qui tient compte de leur importance relative dans la différenciation régionale des états de surface. En zone sahélienne, les sols et le couvert végétal jouent un rôle prépondérant dans la définition des états de surface.

En zone soudanienne, avec un couvert végétal abondant et une mise en culture faible, on utilisera par ordre d'importance : le relief qui commande la répartition des sols, le couvert ligneux puis les cultures. Avec une forte mise en culture on privilégiera les cultures par rapport au couvert ligneux.

Nous présentons sur la figure 4 le résultat d'une combinaison des plans « sols » et *cultures* sur le petit bassin versant de Bindé en zone soudanienne, dans la région de Manga au Burkina Faso. Cette combinaison permet de définir sept unités cartographiques qualifiées ici d'unités hydrologiques en raison de caractéristiques qui leur sont propres dans la répartition des états de surface. À titre d'exemple, le tableau 2 présente la composition en types de surfaces élémentaires de l'unité constituée de sols sablo-limoneux cultivés entre 50 et 75 %.

**Tableau 2**

États de surface des sols sablo-limoneux de la région de Manga, cultivés entre 50 et 75 % de leur surface

Section Longueur 1,5 km	Surfaces élémentaires en %								
	C 11	C 2.1	C 3.1	DES 1	DES 3	ERO	GRO 1	VERS	VERT
KS 9	0	13	38	13	11	4	14	7	0

Dans l'échantillonnage au sol, les sections sont des bandes de largeur 100 mètres et de longueur 1,5 kilomètre, sur lesquelles sont relevées les principales caractéristiques des états de surface.

Les progrès attendus dans la description des états de surface et l'utilisation des SIG viendront vraisemblablement de l'utilisation de la pente et du réseau hydrographique comme élément directeur de la description des versants.

## **MODÉLISATION DE LA VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DES ÉTATS DE SURFACE**

Sur le bassin versant de Bindé, la composition de l'unité hydrologique des sols sablo-limoneux cultivés à plus de 50 %, figurant sur le tableau 2, correspond à des états de surface de saison sèche qui vont évoluer au cours de la saison des pluies. Pour modéliser le comportement hydrodynamique des unités hydrologiques, la principale difficulté consiste à faire varier leur composition en fonction du développement du couvert végétal herbacé sur les surfaces naturelles, en fonction des travaux agricoles et des chutes de pluie sur les surfaces cultivées.

Les variations temporelles des états de surface du bassin versant de Bindé ont été caractérisées par 4 états successifs pour la végétation herbacée (V0 à V3) et 4 répartitions différentes (CH 0 à CH 3) pour les surfaces cultivées.

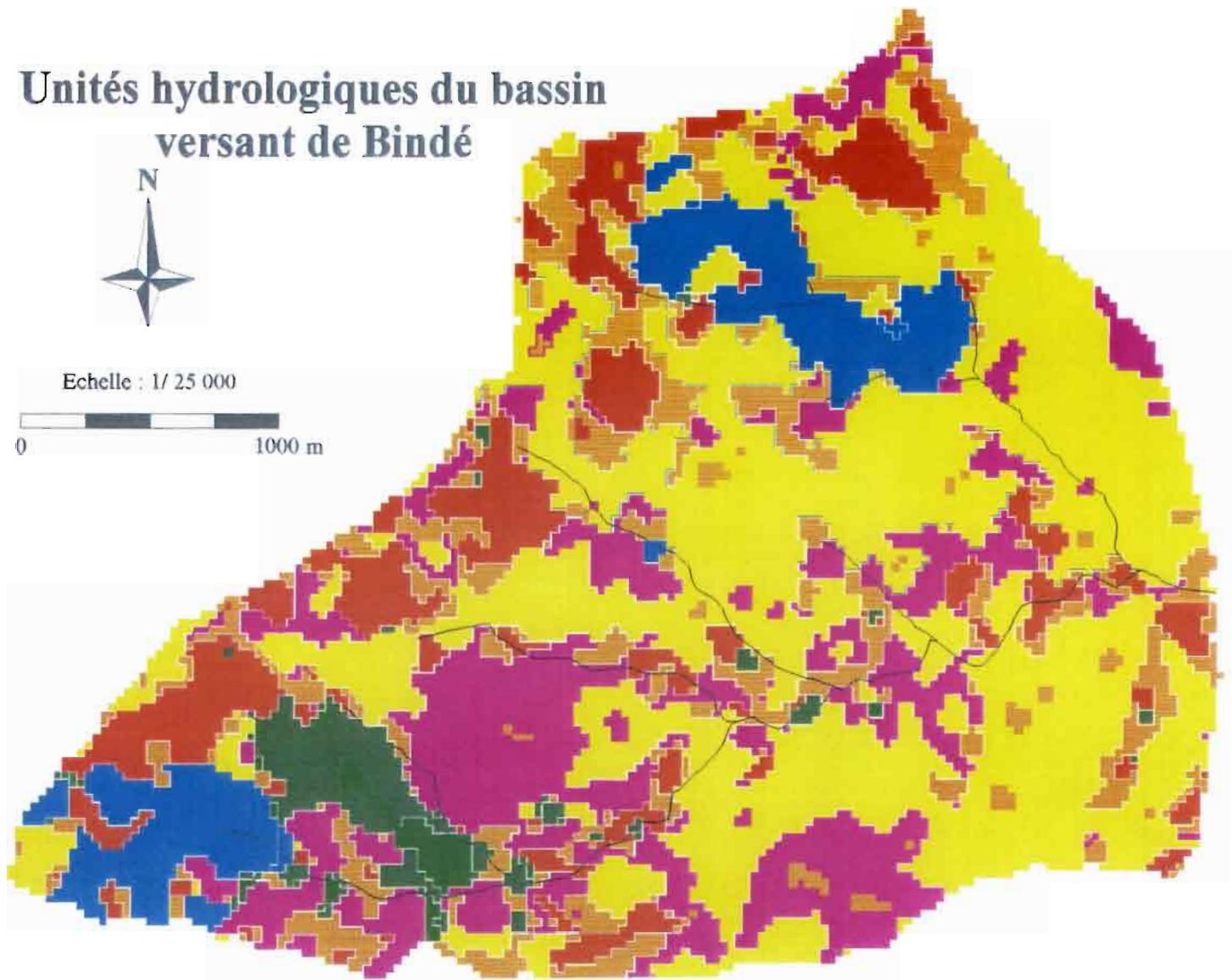
Nous avons établi le calendrier suivant pour modéliser le comportement hydrodynamique des unités hydrologiques de ce bassin au cours de l'année 1982 :

- du 18/02/1982 au 11/05/1982 : états V0 et CH0, fortes pluies vers la mi-avril ;
- du 12/05/1982 au 05/06/1982 : états V0 et CH1, labours vers la mi-mai ;
- du 06/06/1982 au 20/06/1982 : états V1 et CH1, couvert végétal herbacé développé à 40 % ;
- du 21/06/1982 au 28/06/1982 : états V1 et CH2, 100 mm de pluies après les labours ;
- du 29/06/1982 au 13/07/1982 : états V2 et CH2, couvert végétal herbacé développé à 60 % ;
- du 14/07/1982 au 05/08/1982 : états V2 et CH1, premier sarclage début juillet ;
- du 06/08/1982 au 29/08/1982 : états V3 et CH2, couvert végétal herbacé développé à 80 % ;
- du 30/08/1982 au 31/08/1982 : états V3 et CH3, 200 mm de pluie après le sarclage ;
- du 01/09/1982 au 23/09/1982 : états V3 et CH1, second sarclage fin août ;
- du 24/09/1982 au 30/10/1982 : états V3 et CH2, 100 mm de pluie après le sarclage.

## Unités hydrologiques du bassin versant de Bindé



Echelle : 1/ 25 000



-  Sols gravillonnaires  
Cultivés à moins de 25 %
-  Sols sableux  
cultivés entre 25 et 50 %
-  Sols limono-argileux  
cultivés entre 25 et 50 %  
Vers 40 à 50 %

-  Sols sablo-limoneux  
cultivés à moins de 25 %
-  Sols sablo-limoneux  
cultivés entre 25 et 50%
-  Sols sablo-limoneux  
cultivés entre 50 et 75 %
-  Sols limono-argileux  
cultivés à moins de 25 %  
Vers 60%

Figure 4.2 : Carte des unités hydrologiques du bassin versant de Bindé

Les calculs sont effectués à l'aide d'un tableur, en combinant quatre types de tableaux. Les résultats de cette modélisation sur le bassin versant de Bindé pour l'année 1982 sont reportés sur le tableau 3.

**Tableau 3**  
Écoulements mensuels et annuels sur le bassin versant de Bindé en 1982

Mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Année
Lame écoulée	0	11.4	9.2	6.4	4	8.1	19.4	8	66.5
Lame ruisselée	0	10.9	9.8	6.4	3.2	5.6	10.1	0.9	46.9
Scénario 1	0	20.6	11.1	18.5	19.3	23.8	20.4	8.9	122.6
Scénario 2	0	20.6	11.1	15.9	14.6	14.2	12.9	5.5	94.8
Scénario 3	0	20.6	11.1	12.3	13.1	12.6	10.1	3.7	83.5

Le scénario 1 correspond à une répartition des surfaces élémentaires de début de saison.

Le scénario 2 correspond à une répartition des surfaces élémentaires avec évolution du couvert végétal herbacé.

Le scénario 3 correspond à une évolution des surfaces cultivées et du couvert végétal herbacé.

La comparaison des valeurs figurant au tableau 3 montre que la prise en compte des variations du couvert végétal herbacé, puis la prise en compte des modifications de la surface des sols cultivés, modifient de manière significative l'estimation des lames ruisselées sur le bassin versant de Bindé, dans le sens d'une amélioration des résultats, sans toutefois nous autoriser à nous affranchir de l'utilisation d'un coefficient de calage. Dans un ouvrage récent, RODIER, (1992) propose des valeurs moyennes de coefficients de calage pour de petits bassins versants sahéliens (1 à 20 km<sup>2</sup>). Les coefficients de calage correspondent à des descriptions d'états de surface réalisées en saison sèche (scénario 1).

## CONCLUSION

En Afrique de l'ouest, la variabilité temporelle du comportement hydrodynamique des états de surface à l'échelle saisonnière est une réalité encore peu étudiée par les chercheurs. En zones sahélienne et soudanienne, les labours ou les sarclages modifient pourtant radicalement le comportement hydrodynamique superficiel des sols cultivés. En zone soudanienne, la croissance du couvert végétal herbacé sur les brûlis modifie tout aussi radicalement le comportement hydrodynamique superficiel des sols de savane. La position de la surface élémentaire sur le versant est également susceptible de faire évoluer plus ou moins rapidement les caractéristiques de son état de surface. L'étude de l'évolution des états de surface et de leur comportement hydrodynamique, domaine encore peu exploré, offre donc, en zones sahélienne et soudanienne, de riches perspectives aux chercheurs désireux d'y consacrer leurs travaux.

Les techniques modernes de traitement des images et de calcul informatique permettent la prise en compte de la variabilité spatio-temporelle des états de surface dans la modélisation du ruissellement à l'échelle des petits bassins versants. Cette prise en compte reste encore très incomplète, faute d'informations précises sur l'évolution des états de surface au cours d'une même saison des pluies. De plus, les essais de modélisation, réalisés sur le petit bassin versant de Bindé en zone soudanienne, montrent que la prise en compte de cette variabilité spatio-temporelle ne suffira par à une nette amélioration des résultats sans que soient menés des travaux complémentaires à l'échelle des versants. Ces travaux devront se développer, à la fois sur les plans conceptuel et métrologique, afin de tenir compte du cheminement des eaux le long du versant en relation avec la rugosité des sols, la vitesse des écoulements et l'évolution des capacités des sols à l'infiltration.

## BIBLIOGRAPHIE

- CASENAVE A., VALENTIN C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Éditions de l'Orstom. Collection Didactiques 227 p.
- CLAUDE J., GROUZIS M., MILLEVILLE P., 1991. Un espace sahélien. La mare d'Oursi. Burkina Faso. Éditions de l'Orstom 241 p., 3 cartes.
- FOURNIER A., 1991. Phénologie, croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient climatique. Thèse de Doctorat d'État de l'Université Pierre et Marie Curie coll. Études et Thèses. Orstom, 312 p.
- LAMACHÈRE J.M., 1988. Programme d'évaluation préliminaire Spot-Peps n°149, Spot-Oursi - Les états de surface de la région d'Oursi - Observations au sol et hydrodynamique - Centre Orstom de Ouagadougou - 98 p.
- LAMACHÈRE J.M., 1991. Aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage - in Soil Water Balance in the Sudano-Sahelian Zone, Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991 -IAHS Publ. n° 199, 109-119.
- PEREZ P., 1994. Genèse du ruissellement sur les sols cultivés du sud Saloum (Sénégal). Du diagnostic à l'aménagement de parcelle. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. 250 p.
- RODIER J.A., 1992. Du simulateur de pluie aux bassins représentatifs sahéliens. Éd. de l'Orstom, Coll. Études et Thèses, 76 p.