

**CARTOGRAPHIE ET SUIVI DES ETATS DE SURFACE INDUITS  
PAR LES SYSTEMES DE CULTURE**

**Par**

**C. VALENTIN**



## CARTOGRAPHIE ET SUIVI DES ETATS DE SURFACE INDUITS PAR LES SYSTEMES DE CULTURE

*Christian Valentin*

ORSTOM, 70 route d'Aulnay, 93143 Bondy Cedex, France

### RESUME

Les pertes en eau par ruissellement retiennent une attention croissante de la part des agronomes. Pour une très grande part, ce sont les états de surface (croûtes superficielles, microrelief, ...) qui déterminent l'infiltration tant dans les régions tropicales que tempérées. La cartographie des états de surface fournit un document précieux pour la localisation des parcelles cultivées dans leur contexte hydrologique. Le suivi de la dynamique des états de surface au cours des cycles culturaux, et, au-delà, pendant la jachère apporte à l'agronome des éléments de diagnostic des systèmes de culture.

### INTRODUCTION

Plusieurs voies amènent l'agronome à l'étude de la surface du sol : les difficultés à établir un bilan hydrique par méconnaissance du ruissellement, les pertes à la levée du fait de croûtes superficielles très dures, l'apparition d'une rigole, voire d'une ravine. Dans ce dernier cas, remontant aux causes, il en vient à étudier les facteurs de production du ruissellement (croûtes superficielles) et de sa concentration (microrelief).

Jusqu'ici, la genèse du ruissellement a surtout reçu l'attention des hydrologues et des pédologues. Travaillant en zone tropicale sèche, ils ont établi que les caractéristiques de la surface du sol l'emportaient, quant à leur influence sur l'infiltration, sur les propriétés du sol lui-même (entre autres, COLLINET et VALENTIN, 1979 ; VALENTIN, 1981 ; STROSSNIDER et HOOGMOED, 1984 ; ALBERGEL *et al.*, 1986). Des études de plus en plus nombreuses font apparaître qu'il en est largement de même pour les sols cultivés, quelle que soit la zone climatique considérée : tempérée (BOIFFIN, 1984), tropicale sèche (SERPANTIE *et al.*, à paraître), et tropicale humide (PLEUVRET, 1988 ; VALENTIN *et al.*, 1990).

Considérant qu'au-delà des croûtes superficielles et du micro-relief, c'est l'ensemble des caractères de la surface du sol au sens large qui interviennent sur l'infiltration, CASENAVE et VALENTIN (1989) ont proposé de considérer deux niveaux d'observation :

- La *surface élémentaire* qui désigne, à un instant donné, un ensemble homogène, constitué par :
  - \* le couvert végétal,
  - \* la surface du sol,
  - \* les organisations pédologiques superficielles qui ont subi des transformations, sous l'effet des facteurs météorologiques, fauniques ou anthropiques.
- L'état de surface qui peut correspondre à une seule surface élémentaire, à la juxtaposition de plusieurs, ou à un système de surfaces élémentaires, c'est-à-dire à un ensemble, au sein duquel jouent des interactions.

L'objectif de cet article est de présenter quelques repères quant à la caractérisation des états de surface et de leur suivi en milieu cultivé.

## CARTOGRAPHIE DES ETATS DE SURFACE

### Quelle surface cartographier ?

Dès lors que l'on porte une attention particulière à une parcelle cultivée, ou à un groupe de parcelles, il convient de considérer la portion de versant concernée. Se trouve-t-elle à l'aval d'un vaste *impluvium* producteur de ruissellement, à l'amont d'un système de ravines ? En d'autres termes, les champs doivent être situés dans leur contexte hydrologique. Dès lors, ce ne sont pas seulement les terres cultivées qui doivent être cartographiées mais l'ensemble de l'ensellement de versant (*impluvium* d'une ravine, par exemple), voire du bassin versant.

### Carte topographique

Dans la plupart des cas, il est nécessaire de dresser une carte topographique détaillée de la zone d'étude. A défaut d'un niveau de géomètre et d'une mire, le prospecteur aura recours aux moyens qu'utilisent, à l'occasion, les paysans pour déterminer l'emplacement des cordons isohypses ou enherbés (BERTON, 1988 ; C.I.L.S., 1989) : niveau à eau gradué, ou fil à plomb suspendu à un bâti en "A".

Particulièrement dans les zones arides, les limites de l'ensellement, ou du bassin versant, peuvent être délicates à cerner. Cette opération se trouve nettement facilitée lorsqu'elle est entreprise au cours de la saison des pluies ou juste après : les organisations de surface, les traces de ruissellement orientent la prospection. Il est prudent, néanmoins, de déborder assez largement des limites supposées : d'une part, les dépouillements peuvent révéler des erreurs d'appréciation, d'autre part les limites de l'unité hydrologique varient d'une année à l'autre du fait d'une modification du microrelief : changement d'orientation des billons, ouverture d'un sentier, capture d'une rigole par un ensellement adjacent,...

Sur ce document de base, non seulement les lignes de niveau seront tracées, mais aussi les zones de concentration ou d'étalement du ruissellement. A cet égard, un modèle numérique de terrain (M.N.T.) peut s'avérer très précieux (voir, par exemple, DEPRAETERE, 1990). La représentation sous forme de bloc diagramme permet une visualisation facile du relief et donc une première zonation de la surface étudiée en unités topographiques et hydrologiques.

## Méthode cartographique

Pour des échelles très grandes, de l'ordre de 1/1.000<sup>ème</sup>, la méthode de prospection systématique demeure la plus fiable. Elle consiste à décrire les états des surface en des points formant les noeuds d'une grille à maille carrée. A titre d'exemple, un ensellement carré fictif d'un hectare comprendra 100 points d'observations distants de 10 m. Dans la mesure du possible, la prospection devrait s'opérer le long d'axes disposés sensiblement selon la plus grande pente.

A chaque point, correspond deux niveaux d'observations : celui du champ de vision du prospecteur, celui de la surface du sol *sensu stricto* sur laquelle il se trouve. Pratiquement, un canevas de description peut être fourni pour :

- Le carré de 10 m de côté au centre duquel le prospecteur se situe. Il décrit les éléments des états de surface qui correspondent à cette échelle de perception.
- Le m<sup>2</sup> ou les quelques m<sup>2</sup> situés à proximité du centre du carré, surface plus propice aux descriptions fines de la surface du sol.

### Observations à l'échelle de 100 m<sup>2</sup>

#### *Le couvert végétal et l'utilisation du sol*

Plusieurs strates peuvent être différenciées parmi les arbres, arbustes, plantes cultivées ou adventices. Pour chacune, le pourcentage de surface projetée au sol peut être estimé visuellement. Un prospecteur entraîné peut espérer une précision de l'ordre de 5%. Un observateur peu averti aura tendance à surévaluer le couvert végétal. Pour remédier à cette surestimation, il pourra s'aider de tables d'évaluation (par exemple, CASENAVE et VALENTIN, 1989) ou appréciera le complément à 100, c'est-à-dire la surface non couverte par la strate considérée. Il peut être utile également d'estimer le pourcentage de surface occupée à la base par la somme des tiges et des troncs. Sans prétendre à un relevé botanique exhaustif, le nom des principales espèces peut faciliter la caractérisation d'un état de surface particulier.

Dans les parcelles cultivées, des données plus agronomiques doivent aussi retenir l'attention :

- le ou les espèces cultivées,
- le type d'association,
- la distance entre les plants, la densité, le type de distribution,
- le stade phénologique,
- l'état des plantes (symptômes de stress hydrique, d'attaques parasitaires, par les criquets, de toxicité ou de carence, ...),
- le ou les dates de semis et des opérations culturales,
- l'histoire de la parcelle (durée de jachère, date de défrichement, ...).

Ces données peuvent, bien entendu, être relevées parcelle par parcelle et non pour chaque point d'observation. Toutefois, la complexité du parcellaire et de son histoire est telle qu'il y a lieu parfois de procéder à une enquête à cette échelle très fine.

Une importance particulière sera apportée aux ligneux laissés dans les champs : localisation précise, taille, surface d'ombrage, espèce, utilisation, ...

Il importe de veiller à établir des relations (ou à noter l'absence de relations apparentes), même visuelles, entre ces différentes composantes : diminution de la taille et de la densité des plantes cultivées dans la zone d'ombre d'un arbre, ou dans la zone supposée de son enracinement, ... Ces observations,

même imparfaites seront à confronter à l'expérience et au "tour de plaine" de l'agronome.

#### *Le couvert au niveau du sol*

C'est sur la surface même du sol que le couvert s'avère le plus efficace en terme de protection contre l'énergie cinétique des pluies. Plusieurs caractères méritent donc d'être notés :

- la nature du couvert : plantes rampantes, mousse, graines, résidus, cendres, souche, litière, éléments grossiers, affleurements de roche,
- le pourcentage de couvert pour chaque composante,
- l'épaisseur (dans le cas d'un paillage par exemple),
- le degré de fragmentation ou d'humification pour les résidus organiques (paille, ...),
- la taille et la distribution des éléments grossiers,
- les relations avec les autres composantes d'état de surface : l'existence de micro-barrages (voir par exemple MITCHELL et HUMPHREYS, 1987) ou de micro-piedestaux associés aux débris végétaux à la surface du sol, etc.

#### *Microrelief*

Décrits à cette échelle, les principaux éléments du microrelief peuvent être reportés sur la carte topographique : rupture de pente, petites dépressions, rigoles et ravines (profondeur, largeur, forme du profil en travers, distribution...), termitières (hauteur, surface basale, pourcentage de couvert, distribution). Sur les parcelles cultivées, ou les jachères, le micro-relief induit par les opérations culturales (billons, planches, traces de roues, ...), ou antiérosives (cordons pierreux, levée de terre, ...) doit être décrit avec attention : hauteur, largeur, distance entre les éléments, distribution par rapport à la pente, angle avec la courbe de niveau, degré de résistance au ruissellement, points de rupture, ... Les sentiers doivent également faire l'objet de description détaillée : largeur (le cas échéant, profondeur), orientation par rapport à la surface du sol, collecte des eaux ruisselée entre les billons, alimentation d'une ravine, ...

#### **Observations sur quelques m<sup>2</sup>**

A proximité immédiate du centre de son carré d'observation et sur une surface d'un à quelques mètres carrés, le prospecteur doit effectuer des descriptions plus détaillées de la surface du sol. C'est à cette échelle, en effet, que l'on apprécie le plus facilement :

- L'activité faunique : placages de récolte de termites, turricules (rejets) de vers de terre, fourmillières.
- La porosité superficielle : fentes (largeur, profondeur, réseau), les vésicules (c'est-à-dire les pores sphériques, fermés ; diamètre, abondance, localisation, densité). Ces vésicules revêtent une importance considérable : leur densité dans les premiers micro-horizons cultivés fournit un excellent indicateur d'infiltrabilité (ALBERGEL *et al.*, 1986).
- Les caractères de l'horizon superficiel : couleur, taches, texture, teneur en éléments grossiers (taille, pourcentage, nature), structure, porosité, consistance, etc.
- Les indices de rejaillissement ("splash") : salissures des tiges et des feuilles, les figures en piédestal (hauteur, nature).
- Les indices de ruissellement : dépôts, épandages, micro-barrages, micro-"délaisées de crues".

- Les indices d'érosion en nappe : racines affleurantes (taille, densité), micro-marches (hauteur, largeur, ...).
- Le type de croûte superficielle. Il peut être utile, au moins en Afrique de l'Ouest, de se référer à la typologie proposée par CASENAVE et VALENTIN, 1989. Celle-ci repose sur la granulométrie du micro-horizon superficiel, sur le nombre de micro-horizons et sur la structure superficielle. Ainsi, cinq types de croûtes superficielles présentent un micro-horizon superficiel sableux :

- \* Si ce micro-horizon est unique, fragile : *croûte de dessiccation*. Cette croûte peut-être relativement épaisse. Elle n'offre que peu de résistance à la levée des semences et à l'infiltration de l'eau. Elle correspond à une légère prise en masse du matériau sableux superficiel. Elle se développe généralement sous un couvert végétal.
- \* Si ce micro-horizon sableux recouvre une pellicule plasmique (constituée d'éléments fins) : *croûte structurale à 2 microhorizons*. L'adjectif "structural" indique que la réorganisation a lieu sur place, par modification de la structure, sans transport des particules.
- \* Si la différenciation granulométrique est plus marquée et qu'au-dessus de la pellicule plasmique, il est possible de différencier deux micro-horizons sableux (l'un grossier en surface, l'autre plus fin dessous) : *croûte structurale à 3 microhorizons*. Une forte porosité vésiculaire se développe généralement dans ce type de croûte, dans les micro-horizons de sable fin et plasmique.
- \* Si le nombre de microhorizons excède 3, sans qu'apparaissent des pellicules plasmiques : *croûte de dépôts éoliens*. Ce type de croûte, généralement assez friable, s'oppose peu à l'infiltration.
- \* Si le nombre de microhorizons excède 3 et si l'on observe une alternance de microhorizons sableux et plasmiques : *croûte de ruissellement*. Ces croûtes se forment sous une lame d'eau en mouvement. Aussi sont-elles fréquentes dans les zones entre les billons où elles peuvent atteindre plusieurs centimètres d'épaisseur. Une porosité vésiculaire s'y développe assez souvent.

Un seul type de croûte présente des éléments grossiers en surface :

- \* Ceux-ci sont enchâssés dans une croûte qui évoque la croûte structurale à 3 micro-horizons : *croûte grossière*. Bien que caractéristique des regs désertiques, cette croûte peut être décrite en milieu sahélien, voire soudanien.

Pour trois types de croûtes, c'est un micro-horizon plasmique qui affleure :

- Si la croûte est constituée d'agrégats fondus, argileux ou limoneux mais présente encore une certaine rugosité (structure fragmentaire altérée) : *croûte structurale à 1 micro-horizon*. C'est le type de croûte qui se forme dès le début d'une pluie sur un sol travaillé, argileux ou limoneux.
- Si la croûte est constituée d'une pellicule plasmique affleurante et lisse (structure continue) : *croûte d'érosion*. Ce type de croûte résulte généralement de l'évolution des croûtes structurales à 1 micro-horizon par perte de leur rugosité ou à 2 ou 3 micro-horizons par érosion hydrique ou éolienne des micro-horizons sus-jacents (VALENTIN, 1985)
- Si, sous la pellicule plasmique affleurante apparaissent des micro-horizons plus grossiers : *croûte de décantation*. Ce type de croûte présente fréquemment une structure prismatique ou squameuse, voir squameuse rebroussée (la pellicule plasmique a tendance alors à s'enrouler sous

forme de copeaux). La distribution granulométrique verticale au sein de cette croûte est l'inverse de la croûte structurale à 3 micro-horizons. Elle se forme sous une lame d'eau chargée en sédiments et immobile, dans les cuvettes ou les micro-dépressions.

Le pourcentage en surface de chaque type de croûte doit être évalué. Il est utile de préciser la localisation des différents types de croûte en fonction du micro-relief induit par les opérations culturales. Par exemple : croûte structurale à un microhorizon au sommet des billons, croûte d'érosion sur les versants des billons et croûtes de ruissellement en interbillons.

#### **Fiche de relevé**

Sur le terrain, une fiche de relevé s'avère un outil précieux de normalisation des observations. La fiche proposée (fig. 1) doit être adaptée aux conditions de milieu et aux objectifs de l'étude. Pour nombre de paramètres, une échelle semi-quantitative, par exemple de 1 à 5 peut être utilisée, à condition toutefois que ce système de notation repose sur des critères objectifs.

#### **Surface élémentaire**

Pour chaque point d'observation, il est utile d'opérer, dès le terrain, à une première synthèse des observations. A cet effet, pour les échelles les plus fines, il convient de définir le type de "surface élémentaire". Celle-ci désigne, à un instant donné, un ensemble homogène, tant du point de vue de son état de surface que de son fonctionnement hydrologique. Pour les zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest, CASENAVE et VALENTIN (1989) en ont défini 11 grands types (fig. 2). A chacun, correspondent des paramètres hydrodynamiques établis sur de nombreuses parcelles soumises à la simulation de pluie. En sus des grands critères servant à la typologie de base (travail du sol, porosité vésiculaire, activité faunique, et type de croûte), des critères secondaires permettent d'établir des variantes. Ainsi, pour les sols cultivés de la zone, trois grands types ont été définis en fonction de la densité de porosité vésiculaire. Cinq variantes viennent compléter cette typologie succincte (Tableau 1).

#### **Le document cartographique**

A partir des relevés précédents, plusieurs cartes thématiques peuvent être dressées : carte de la texture superficielle, carte du parcellaire, carte de l'intensité des processus érosifs, ... Pour de nombreux paramètres, l'échelle de variation n'est pas compatible pour autant avec celle du document cartographique. Il convient, par conséquent, de procéder à des regroupements, à des associations. En outre, il est souvent plus utile de disposer d'une carte synthétique des états de surface que de plusieurs documents thématiques.

Deux problèmes se posent au cartographe : la définition du contenu des unités, le dessin de leurs limites.

- Pour résoudre le premier, l'une des voies consiste à opérer un traitement statistique multivarié, chaque point d'observation étant considéré comme un individu. Les regroupements s'effectuent alors sur la base des nuages de points obtenus. Bien entendu, cette approche doit se trouver pondérée par les observations non prises en compte statistiquement et par les objectifs de l'étude. Dans un souci de synthèse, la légende de chaque unité peut être résumée par le pourcentage des types de surfaces élémentaires et par leur distribution au sein de l'unité (aléatoire, en bandes alternées, en

mosaïque, ...). A l'heure actuelle, seuls ces pourcentages sont pris en compte dans la modélisation hydrologique (ALBERGEL, 1987), qui, au demeurant, reste à perfectionner.

- Pour le tracé des limites, la densité des observations au sol, dans le cas d'une prospection à très grande échelle, est telle qu'il peut être aisément effectué à la main. A quoi bon utiliser des techniques plus sophistiquées, qui au reste, et il convient de le rappeler, correspondent à des données discontinues dans l'espace (comme des teneurs en minerai dans un sondage), alors que les états de surface sont directement accessibles ?

## LE SUIVI DES ETATS DE SURFACE

Une carte d'état de surface est bien sûr datée. Si les caractéristiques d'un *impluvium* constitué de regs peut ne guère évoluer, il en est bien sûr tout autrement des parcelles cultivées. Leurs états de surfaces se modifient très rapidement sous l'effet des itinéraires techniques et de la croissance des plantes cultivées. De même qu'il est indispensable de dresser une carte générale des états de surface de l'ensellement de bassin ou du bassin versant contenant les parcelles cultivées, il est tout aussi nécessaire d'en étudier l'évolution au sein de ces parcelles.

### Le choix de placettes

La prospection systématique étant une opération assez longue, il n'est guère possible de l'envisager fréquemment. Or, les processus de réorganisations superficielles sont rapides, particulièrement en zone tropicale. Dès lors, il convient d'opérer par échantillonnage. Pour ce faire, des placettes d'un à quelques m<sup>2</sup> doivent être sélectionnées. Le nombre de placettes dépend :

- Du nombre de situations à tester : "type de milieu" x "type de traitement". Par exemple deux itinéraires techniques pourront être suivis sur deux surfaces où la cartographie précédente laisse présager des dynamiques différentes d'encroûtement superficiel.
- Du nombre de répétitions pour chaque situation. Trois répétitions constitue un minimum.

Au vrai, dans le compromis à définir, il est préférable de privilégier la fréquence des descriptions sur le nombre de situations testées. En effet, ce sont les déterminismes des mécanismes évolutif qu'il importe, en premier lieu, de déceler .

### La fréquence des descriptions

L'état initial, dont dépend largement l'évolution ultérieure, doit être caractérisé le plus précisément possible . Dans le cas d'un lit de semence, il est nécessaire, par exemple, de prendre en compte la granulométrie des agrégats ou des mottes ( BOIFFIN, 1984 ; VALENTIN et RUIZ FIGUEROA, 1987), ainsi que le pourcentage de surface occupé par le matériau non agrégé, déjà réduit à l'état de poudre par les opérations culturales.

Ensuite, la fréquence des descriptions se trouve subordonnée aux principaux facteurs qui interviennent sur l'évolution des états de surface :

- Les premières pluies : elles entraînent généralement des réorganisations superficielles très marquées. Une description après chaque événement

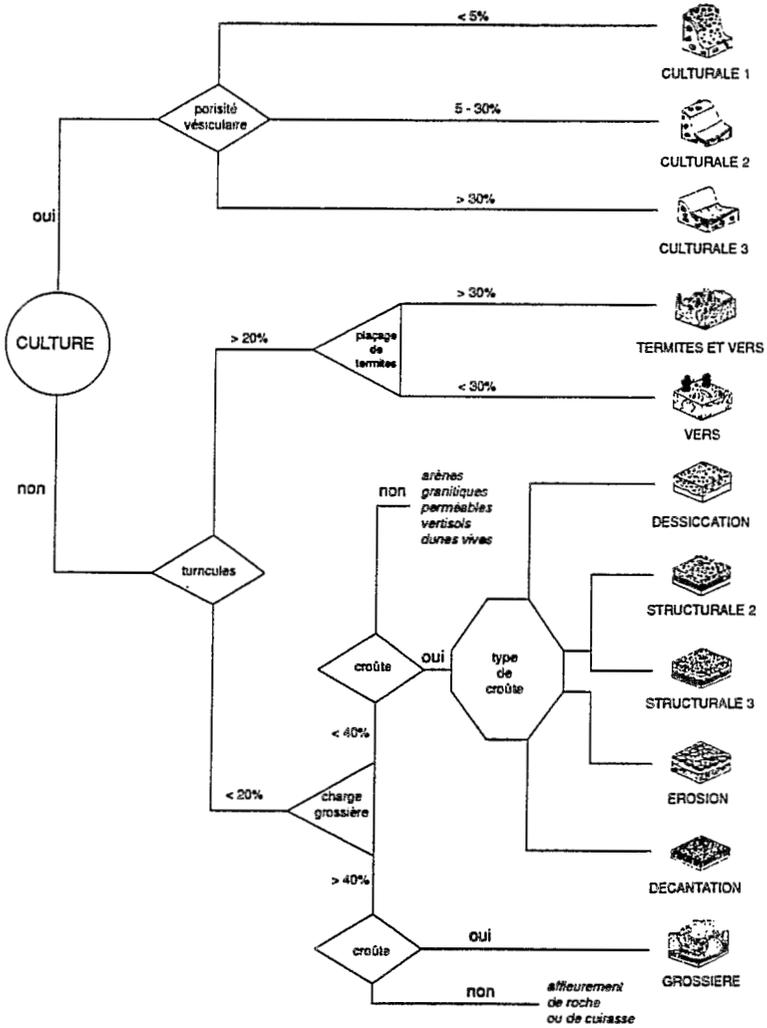


Figure 2. Clef de détermination des principales surfaces élémentaires de la zone sahélienne (d'après CASENAVE et VALENTIN, 1989).

## FICHE DE RELEVÉ D'ÉTATS DE SURFACE

<b>Lieu :</b>	<b>Date :</b>
<b>Coordonnées du point :</b>	<b>Nom du prospecteur :</b>

### Observations sur 100 m<sup>2</sup>

<i>Couvert végétal et utilisation du sol</i>			
Méthode :	Estimation visuelle	O	Mesure
classes de hauteur	couvert basal (%)		couvert aérien (%)
			remarques : espèce dominante, adventice ou cultivée, association, densité, type de distribution, stade phénologique, symptômes de carences, de toxicité, état phytosanitaire, histoire de la parcelle, ...
> ... m	.....		.....
... m - ... m	.....		.....
... m - ... m	.....		.....
... m - ... m	.....		.....
... m - ... m	.....		.....
<... m	.....		.....

<i>Couvert au niveau du sol</i>			
Méthode :	Estimation visuelle	O	Mesure
type	couvert (%)		épaisseur (cm)
			remarques : type de distribution, traits associés (micro-barrages, micro-piédestaux, ...)
litère	.....		.....
résidus	.....		.....
cendres	.....		.....
souches	.....		.....
.....	.....		.....

<i>Mesorelief</i>			
Méthode :	Estimation visuelle	O	Mesure
Type	hauteur ou profondeur		surface basale ou largeur
			remarques : distribution, direction par rapport à la pente, ...
rigole	.....		.....
ravine	.....		.....
termitière	.....		.....
billons	.....		.....
planches	.....		.....
cordons pierreux	.....		.....
sentiers	.....		.....
.....	.....		.....

### Observations sur 1 ou quelques m2

<i>Couvert végétal</i>			
Méthode :	Estimation visuelle	O	Mesure : au point quadrat O, le long d'un axe O
classes de hauteur	couvert basal (%)	Couvert aérien (%)	remarques : espèce dominante, adventice ou cultivée, association, densité, type de distribution, ...
> ... cm	.....	.....	.....
... cm - ... cm	.....	.....	.....
... cm - ... cm	.....	.....	.....
< ... cm	.....	.....	.....

<i>Couvert au niveau du sol</i>			
Méthode :	Estimation visuelle	O	Mesure : au point quadrat O, le long d'un axe O
type	couvert (%)	épaisseur (cm)	remarques : type de distribution, traits associés,...
litière	.....	.....	.....
résidus	.....	.....	.....
cendres	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

<i>Microrelief</i>			
Méthode :	Estimation visuelle	O	Mesure : au point quadrat O
type@	hauteur ou profondeur	surface basale ou largeur	remarques : distribution, direction par rapport à la pente, porosité associée à l'activité faunique, ...
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

@ : termitière, placages de récolte de termites, turricules de vers de terre, fourmilères, billons, planches, ....

<i>Surface du sol</i>			
fentes	largeur : .....	profondeur : .....	distribution : .....
vésicules	densité : .....	diamètre : .....	distribution : .....
couleur	.....	.....	.....
taches	.....	.....	.....
texture	.....	.....	.....
pierrosité	% de couvert : .....	nature : .....	.....
affleurement	% de couvert : .....	nature : .....	.....
structure	.....	.....	.....
consistance	.....	.....	.....
type de croûte	% de couvert : .....	épaisseur : .....	continuité : .....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
racines	densité : .....	taille : .....	.....
pedestal	densité : .....	hauteur : .....	.....

\* par exemple : croûte de dessiccation, structurale (à 1, 2 ou 3 microhorizons), de ruissellement, d'érosion, grossière ou de décantation)

Type de surface unitaire# :

# par exemple : C1, C2, C3, TV, V, DES, ST2, ST3, ERO, DEC ou G ; voir la clef de détermination, fig. 2)

Figure 1. Fiche de relevé des états de surface (d'après VALENTIN, à paraître).

**TABLE 1 : PRINCIPAUX PARAMETRES HYDROLOGIQUES DES TYPES DE SURFACES UNITAIRES CULTIVEES EN ZONES ARIDES ET SEMI-ARIDES D'AFRIQUE DE L'OUEST**  
(d'après *CASENAVE et VALENTIN, 1989*).

Type	Principaux caractères	Principaux paramètres hydrologiques					
		Ki %	Ki0 %	Ki20 %	Il (mm/h)	Pis (mm)	Pih (mm)
C1	Porosité vésiculaire < 5%						
	Pas de croûte ou croûte structurale rugueuse (ST1)	60-75	80-90	75-85	15-25	25-30	5-15
	Variantes :						
	Couvert végétal > 50%	80-95	90-100	85-95	25-35	30-40	20-30
	Éléments grossiers > 40%	40-50	55-65	45-55	7-15	5-15	1-5
C2	Porosité vésiculaire 5-30 %						
	Croûtes structurales (ST2, ST3), croûte d'érosion > croûte de ruissellement (RUI)	40-60	60-80	50-70	1-7	8-15	2-4
	Variantes :						
	Surface très rugueuse	60-75	80-90	75-90	10-20	15-25	5-10
	Argile > 40 %	15-25	25-40	20-30	1-5	8-12	2-4
C3	Porosité vésiculaire > 30%						
	Prédominance des croûtes de ruissellement	15-25	25-40	20-30	0-3	8-15	2-4
	Variantes :						
	Surface très rugueuse	40-60	60-80	50-70	5-10	20-30	5-10

Ki : Coefficient d'infiltration

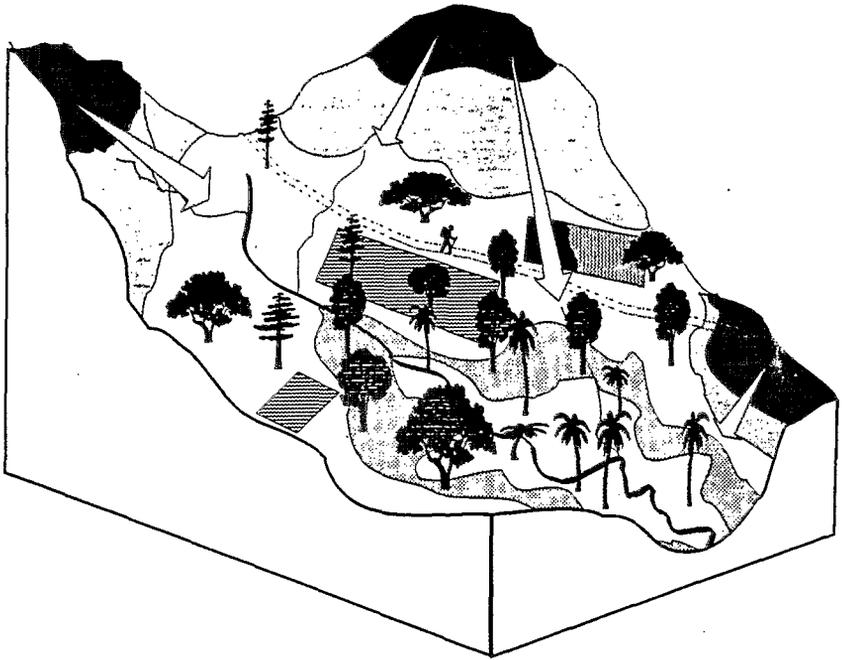
Ki0 : Coefficient d'infiltration pour une pluie de 50 mm sur un sol sec

Ki20 : Coefficient d'infiltration pour une pluie de 50 mm sur un sol très humide

Il : Intensité limite de ruissellement

Pis : Pluie d'imbibition, sol sec

Pih : Pluie d'imbibition, sol humide



Concentration du ruissellement

**UNITES CARTOGRAPHIQUES:**  
 Pourcentages des types de surfaces élémentaires ;  
 type de distribution

	80% s. grossière, 20% s. érosion ; aléatoire		70% s. décantation, 20% s. vers, 10% s. structurale 2 ; aléatoire
	70% s. érosion, 30% s. grossière ; aléatoire		100% s. culturale 1
	60% s. structurale 3, 30% s. érosion, 10% s. grossière ; aléatoire		70% s. culturale 2, 20% s. culturale 2, 10% s. culturale 3 ; zonation
	50% s. vers, 20% s. termites and vers, 10% s. structurale 2, 10% s. structurale 3, 10% s. décantation ; aléatoire		80% s. culturale 3, 20% s. culturale 2 ; zonation

Figure 3. Exemple de carte d'état de surface d'un petit bassin versant contenant des parcelles cultivées (d'après VALENTIN, à paraître).

pluvieux devrait être effectuée jusqu'au ralentissement de la vitesse d'évolution, consécutif à l'humectation du sol et à l'établissement du couvert.

- Les opérations culturales : une description doit être réalisée après chaque sarclage. Celui-ci détruit partiellement ou totalement les croûtes superficielles, modifie le microrelief et bien entendu le couvert, au moins adventice.
- Les stades de développement des plantes cultivées et adventices : au cours de l'établissement du couvert et même au-delà, il convient de porter une attention particulière envers l'activité faunique qui peut perforer les croûtes préalablement formées. Par ailleurs, les descriptions ne doivent pas cesser lors de la récolte : des pluies peuvent survenir sur un sol moins couvert et provoquer de nouvelles réorganisations (sur champs de riz en savane humide, par exemple, VALENTIN *et al.*, 1990). De plus, des descriptions d'état de surface doivent être prévues en saison sèche (évolution des résidus, rôle des termites,...).
- La jachère : le suivi des états de surface après l'abandon des parcelles permet de déterminer les principales phases de reconstitution du milieu (disparition du micro-relief induit par les opérations culturales, reconstitution de la végétation - disparition des adventices, développement des ligneux, réactivation de la faune du sol (MITJA *et al.*, 1990).

#### Les modalités de caractérisation des placettes

La fiche de relevé, proposée pour la prospection cartographique à l'échelle de 1 ou de quelques m<sup>2</sup> (fig. 1), peut servir de canevas. Toutefois, un suivi exige généralement des données plus précises que celles obtenues par simples estimations visuelles. A cet égard, les techniques de mesures pour la caractérisation des états de surface s'inspirent de celles utilisées par les phytoécologistes :

- Le point quadrat : un cadre métallique muni d'aiguilles verticales est placé sur la placette. Chaque aiguille distante de 5 cm ou de 10 cm (400 ou 100 points par m<sup>2</sup>) permet de déterminer un point d'échantillonnage pour lequel on note :
  - \* la cote de la surface du sol, relevée par rapport à un plan du bâti métallique, ce qui permet une évaluation du micro-relief (celui-ci peut être également caractérisé par un système de lames verticales coulissantes),
  - \* les hauteurs des première et dernière interceptions par un élément du couvert (feuille, tige) ; la sommation de cet intervalle sur l'ensemble de la surface fournit une évaluation du biovolume,
  - \* le type de surface touchée par l'aiguille : agrégat (diamètre), élément grossier (diamètre), fente, constructions fauniques, résidus, cendres, type de croûte, ...
- Le transect : de mise en oeuvre encore plus simple, cette méthode consiste à relever, tous les 5 ou 10 cm, ces types de surface le long d'un mètre (ou plus) matérialisé au sol par un "mètre" de couturière. Sa précision se trouve accrue lorsque deux transects sont réalisés selon les diagonales (ou les médiatrices) de la placette. Cette méthode convient particulièrement aux surfaces planes et dépourvues de couvert.

## La dynamique des croûtes superficielles

Comme pour la prospection cartographique, il peut être utile, lors du suivi des états de surface, d'avoir recours à une typologie des phases évolutives.

Pour les sols limoneux des régions tempérées, BOIFFIN (1984) en distingue 5 :

- F0 : stade initial correspondant à la structure fragmentaire d'un lit de semence, par exemple,
- F1 : structure fragmentaire altérée, en d'autres termes "croûtes structurale à un microhorizon",
- F1-F2 : stade transitoire au cours duquel apparaissent les premières croûtes de ruissellement ou de décantation,
- F2 : croûtes de ruissellement ou de décantation,
- F3 : reprise des croûtes précédentes par l'activité faunique (ou le gel).

En outre, BOIFFIN (1984) propose un indicateur de dégradation de la structure, le calibre minimum  $D_{min}$  qui est le plus petit diamètre des agrégats, ou mottes, non encore incorporés dans la croûtes structurale. La détermination de ce diamètre permet, à partir de la courbe de distribution cumulée des diamètres à l'état initial, d'évaluer rapidement le pourcentage de surface encroûtée.

Ces phases d'évolution et  $D_{min}$  ont été reliées, dans les régions limoneuses tempérées, à des paramètres d'infiltrabilité. Sous les climats tropicaux, cette méthode semble très intéressante pour les sols dont la structure n'évolue qu'assez lentement sous les pluies (sols argileux stables, par exemple). Elle ne peut être néanmoins appliquée qu'assez rarement du fait :

- de l'abondance des sols à horizon superficiel sableux pour lesquels la déstructuration intervient souvent au cours de la première pluie,
- de la fréquence des pluies violentes tombant sur sol sec, ce qui accélère d'autant les processus de désagrégation par éclatement (LE BISSONNAIS, 1988).

Ces différences de facteurs entraînent des processus d'encroûtement à la fois plus rapides et plus poussés en zones tropicales qu'en zones tempérées (BRÉSSON et VALENTIN, 1990).

Du fait que la typologie des croûtes superficielles, proposée pour les zones arides, est non seulement morphologique mais aussi génétique, chaque type de croûte correspond à un stade évolutif. La séquence en est :

- Etat initial (structure fragmentaire)
- Croûtes structurales (à 1 microhorizon pour les textures fines ; à 2 et 3 microhorizons pour les textures grossières)
- Croûtes de ruissellement (ou de décantation dans les dépressions). Ces deux premières phases qui peuvent durer tout un hiver en zone tempérée sont fréquemment atteintes après une seule pluie sous les Tropiques.
- Croûte d'érosion.
- Croûte grossière. Le décapage de l'horizon superficiel peut survenir en une seule saison de culture, dans le cas de défriche sur sols squelettique en zone soudano-sahélienne (SERPANTIE *et al.*, à paraître).

## DISCUSSION ET CONCLUSION

A ce jour, la typologie des surfaces unitaires cultivées, même frustrée, s'est avérée pertinente pour évaluer les pertes en eau par ruissellement et améliorer les modèles de bilan hydrique, non seulement dans sa zone de définition

(VACKSMAN, 1988), mais aussi dans les zones nettement plus arrosées comme la région de savane humide au sud du Togo (PLEUVRET, 1988) et en Côte d'Ivoire (VALENTIN *et al.*, 1990). Il demeure que cette typologie n'a rien de figé et que les nombreuses mesures en cours tant au Mali, qu'au Burkina Faso et au Sénégal devraient permettre de l'affiner.

Cette approche favorise les convergences disciplinaires et le dépassement des échelles de prédilection :

- L'hydrologue ne considère plus les seuls ruissellement et érosion mesurés à l'exutoire du bassin versant, mais aussi à l'échelle des versants et des parcelles cultivées.
- L'agronome, de plus en plus conscient de l'importance du ruissellement ("runoff farming" et récolte de l'eau dans les zones arides, problèmes de pollutions venant de l'amont, ou générées en aval, dans les régions tempérées), tend à situer davantage ses parcelles dans le paysage, et donc dans leur contexte hydrologique.

La caractérisation des états de surface et le suivi de leur évolution appartient à l'arsenal de l'agronome au même titre que le "tour de plaine" ou le "profil cultural". Au reste, il en est indissociable, en sorte que la description des placette d'état de surface devrait s'accompagner, au moins pendant les phases les plus critiques de l'enracinement, de la caractérisation d'un profil cultural.

C'est à l'agronome lui-même d'acquérir ces techniques simples. Quel praticien serait mieux à même de poser un diagnostic (en passant de la description à la prescription), voire un pronostic (de la description à la prédiction) ? Assurément pas le spécialiste des états de surface à qui échappe le foisonnement des contraintes et des objectifs du paysan.

## REFERENCES

- Albergel (J.), 1987. Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du m<sup>2</sup> au Km<sup>2</sup> étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse doct., 336 p., multigr.
- Albergel (J.), Ribstein (P.) Valentin (C.), 1986. L'infiltration : quels facteurs explicatifs ? Analyse des résultats acquis sur 48 parcelles soumises à des simulations de pluies au Burkina Faso. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Coll. ORSTOM, Colloques et séminaires, 25-48.
- Berton (S.), 1988. La maîtrise des crues dans les bas-fonds. Petits et microbarrages en Afrique de l'Ouest. GRET, MINECOOP, ACCT, Paris, Dossier N°12, 474 p.
- Boiffin (J.), 1984. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Docteur Ingénieur, INAPG, Paris, 320 p. + annexes.
- Bresson (L.M.), Valentin (C.), 1990. Comparative micromorphological study of soil crusting in temperate and arid environments. 14<sup>th</sup> Intern. Congress Soil Science, Kyoto, VII, 238-243.
- C.I.L.S., 1989. Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expérience. Comité Inter-états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel. Ouvrage collectif dirigé et rédigé par R.M. Rochette. G.T.Z. Weikersheim, 592 p.
- Casenave (A.), Valentin (C.) 1989 Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Collection "Didactiques". 230 p.
- Collinet (J.), Valentin (C.), 1979. Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 17(4), 283-328.
- Depraetere (C.), 1990. Etude géomorphométrique du bassin-versant de Booro-Borotou à partir d'un modèle numérique de terrain. In : Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide. ORSTOM, Paris, Collection Etudes et Thèses, 59-67.
- Le Bissonais (Y.), 1988. Analyse des mécanismes de désagrégation et de mobilisation des

- particules de terres sous l'action des pluies. Thèse, Université d'Orléans, 195 p.
- Mitchell (P.B.), and Humphreys (G.S.), 1987. Litter dams and microterraces formed on hillslopes subject to rainwash in the Sydney Basin, Australia. *Geoderma*, 39 : 331-357, 2 tabl., 11 fig., 48 ref.
- Mitja (D.), Lepage (M.), Valentin (C.), 1990. Mode de gestion des sols et évolution du milieu. In : *Structure et fonctionnement hydro pédologique d'un petit bassin versant de savane humide*. ORSTOM, Paris, Collection Etudes et Thèses, 247-257.
- Pleuvret (C.), 1988. Infiltration et réorganisations superficielles sous pluies simulées. Cas des sols ferrallitiques du Sud Togo. D.E.A. de Pédologie, Paris, 79 p.
- Serpantie (G.), Tezenas Du Montcel (L.), Valentin (C.), 1988. La dynamique des états de surface d'un territoire agropastoral subsahélien sous aridification : conséquences pour les systèmes de production. ORSTOM, Ouagadougou, multigr., 29 p.
- Strossjneider (L.), Hoogmoed (W.B.), 1984. Crust formation on sandy soils in the Sahel. II Tillage and its effect on the water balance. *Soil and Tillage Research*, 4 : 321-337. 1
- Vacksman (C.), 1988. Bipode. Logiciel de calcul des termes du bilan hydrique. IRAY/CIRAD, Montpellier.
- Valentin (C.), 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-Niger). *Dynamique et conséquences sur l'économie en eau* Thèse, Paris: VII, Etudes et Thèses, ORSTOM, 1985, 259 p.
- Valentia (C.), 1985. Effects of grazing and trampling on soil deterioration around recently drilled water holes in the Sahelian Zone. in : "Soil Erosion and Conservation" Soil Conservation Society of America (edit.) : 51-65.
- Valentin (C.), à paraître. Assessing the space and time variations of the surface features and the cultivation profile. IBSRAM Techn. Notes. Training workshop on Site selection, characterization and establishment of experiments for Asialan management of acide soils network. Thailand.
- Valentin (C.), Chevallier (P.), Fritsch (E.), Janeau (J.L.), 1990. Le fonctionnement hydrodynamique aux échelles ponctuelles. In : *Structure et fonctionnement hydro pédologique d'un petit bassin versant de savane humide*. ORSTOM, Paris, Collection Etudes et Thèses, 59-67.147-163.
- Valentin (C.), Ruiz Figueroa (J.F.), 1987. Effects of kinetic energy and water application rate on the development of crusts in a fine sandy loam soil using sprinkling irrigation and rainfall simulation, in : *Micromorphologie des sols*, AISS/AFES, Paris, 401-408, 5 tabl., 4 fig., 14 réf.