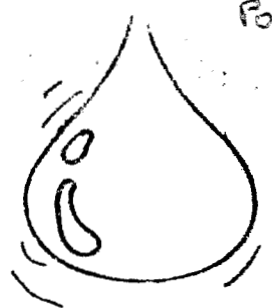




GOUTTES et SPLASH



Bulletin du Groupe Méthodologique de Simulation de Pluie

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 21513, 21514, ex 1

janvier 1985

sommaire

Cote : B 36

en 1
Pas de 130
" " "

Cartographie des états de surface. (C.Valentin).....	1	M
Principales caractéristiques des bassins testés		
sous pluies simulées. (A.Casenave).....	11	

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 21513 . ex 1
Cote : B

CARTOGRAPHIE DES ETATS DE SURFACE *Application à la simulation de pluie sur petits bassins versants*

Le programme de simulation de pluie sur petits bassins versants présenté par CASENAVE (1984) fait appel à une cartographie assez particulière qui pour être d'exécution rapide n'en est pas moins opérationnelle. Cette méthode a été appliquée, de manière satisfaisante pour les utilisateurs, sur un nombre croissant de bassins versants (une vingtaine, à l'heure actuelle) qui correspondent à des milieux tropicaux africains de plus en plus variés. Il convient d'en exposer les grands principes afin de faciliter la diffusion éventuelle de cette méthode. Cette note expose brièvement les besoins cartographiques des hydrologues de l'ORSTOM, les principaux travaux sur lesquels se fondent le choix des critères pris en compte, enfin les modalités de réalisation.

Depuis que les hydrologues étudient le fonctionnement de bassins versants représentatifs, ils cherchent à s'assurer de cette représentativité en consultant les documents cartographiques existants: topographiques, éventuellement géologiques. Très fréquemment, les pédologues ont été sollicités pour dresser la carte des sols de ces bassins. Ainsi, la représentativité du modelé, des roches et des sols permet l'extrapolation des données hydrologiques à d'autres bassins de la même région afin de répondre à la forte demande de l'aval: travaux publics, hydraulique villageoise,...

La nécessité de cartographier ces bassins représentatifs a récemment évolué. La méthode développée par les hydrologues de l'ORSTOM (CASENAVE et al.1982) s'appuie sur des résultats obtenus sous simulation de pluie sur des parcelles de dimensions très réduites (1m²). Il est donc nécessaire de déterminer des sites qui puissent être considérés comme représentatifs des différentes zones d'un petit bassin versant. Celles-ci se définissent par leur relative homogénéité à l'égard du ruissellement. Il est donc nécessaire de dresser une carte spécifique. Ce document thématique doit permettre:

La demande hydrologique

- L'implantation des parcelles expérimentales.
- L'extrapolation à l'ensemble du bassin versant des résultats obtenus sur ces parcelles. Pour cela, les hydrologues appliquent un modèle simple qui utilise les pourcentages d'occupation du bassin des différentes unités testées.
- L'extrapolation ultérieure des résultats obtenus à l'échelle du bassin, à d'autres bassins de même taille, ou même à des bassins plus grands.

Le problème du choix des critères à retenir pour la cartographie se trouve ainsi posé.

Il ne s'agit pas seulement d'identifier des différenciations spatiales (ou des lignes d'isodifférenciation), mais de les relier à un type de comportement. Le document cartographique assure la synthèse entre les observations de terrain et une série d'interprétations. Cette démarche s'appuie sur l'état des connaissances à une époque donnée dans le domaine des relations entre les différents paramètres du milieu, facilement identifiables sur petites parcelles, et leur aptitude au ruissellement.

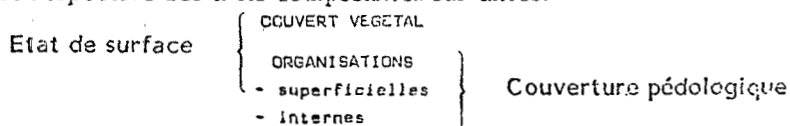
Au vu des travaux les plus récents (COLLINET et LAFFORGUE 1979, COLLINET et VALENTIN 1979, VALENTIN 1981 b, CASENAVE et al. 1982, ALBERGEL et TOURI 1982, GIODA 1983), il semble que la hiérarchie des critères à prendre en compte diffère selon les milieux.

Les critères
pris en compte

Avant de présenter très brièvement les résultats obtenus dans les différentes zones climatiques, il convient de préciser la signification de certains termes:

- * couverture pédologique: il s'agit de l'ensemble du matériel pédologique apprécié dans ses trois dimensions. Parallèlement à l'hydrodynamique, nous distinguerons les organisations internes des organisations superficielles. Ces dernières se limitent aux différenciations spécifiques de la surface du sol.
- * état de surface: ce terme, peu précis, mais souvent utilisé, recouvre deux composantes: les organisations pédologiques superficielles et le couvert végétal. Pour celui-ci, l'attention se portera surtout sur les caractères de la strate herbacée (constituée de graminées, mais aussi de dicotylédones, recrû, ...) dans la mesure où l'effet du couvert arboré n'est pas intégré lors des mesures sous pluies simulées.

Nous nous efforcerons de mettre en évidence pour les différentes régions l'importance respective des trois composantes suivantes:



Les différents travaux menés en Guyane (BOULET, HUMBEL et LUCAS 1982, GUEHL 1984) et en Côte d'Ivoire (CASENAVE, GUIGUEN et SIMON 1982, COLLINET 1984) montrent l'influence prépondérante des organisations internes de la couverture pédologique sur les écoulements. L'infiltration est généralement facilitée sous forêt par l'existence d'une macroporosité ouverte en surface sous la litière. Celle-ci assure, avec les plantes de sous-bois et le chevelu racinaire une protection efficace contre l'impact des grosses gouttes qui tombent de la voûte forestière. Les réorganisations superficielles se trouvent limitées ou résultent d'autres mécanismes que la désagrégation sous l'effet de l'énergie cinétique des gouttes de pluie. La relative uniformité du couvert végétal, le faible développement des réorganisations pelliculaires en surface favorisent la pleine expression des propriétés hydrodynamiques internes sur le ruissellement. Celui-ci résulte le plus souvent de phénomènes d'engorgement, à plus ou moins grande profondeur, liés à des discontinuités de la couverture pédologique. Comme l'ont souligné CASENAVE, GUIGUEN et SIMON (1982), en milieu forestier, l'étude pédologique des bassins versants est un préalable indispensable aux mesures menées sous pluies simulées.

FORET TROPICALE

L'étude de la structure et du fonctionnement d'une toposéquence située au nord de Bouaké (Côte d'Ivoire) tend à montrer que l'influence de la couverture pédologique reste sensible mais s'exprime surtout par l'intermédiaire des propriétés de l'horizon humifère et de la surface *sensu stricto*. POSS et VALENTIN (1983) insistent également sur l'importance du couvert herbacé à l'égard de l'infiltrabilité. Celle-ci semble subir d'importantes variations saisonnières que ces auteurs attribuent à l'existence de cycles où interviendraient successivement l'activité mésofaunique (termites, fourmis, vers de terre), les mécanismes de réorganisation pelliculaire, et l'effet du couvert herbacé. L'étude de cette dynamique constitue un des volets de l'étude actuellement menée dans cette zone climatique par l'équipe hydro-pédologique de recherche sur bassin-versant (Hyperbav.). Les

SAVANE HUMIDE

travaux en cours devraient fournir des informations pertinentes sur l'importance relative des différentes composantes du milieu sur le ruissellement. Les renseignements apportés par les études antérieures tendent à montrer que pour ces savanes pré-forestières (souvent d'origine anthropique), c'est l'ensemble des caractères des états de surface et de la couverture pédologique qui doivent être pris en compte. Mais la simulation de pluie doit également être en mesure d'intégrer les variations saisonnières, ce qui requiert la réalisation de plusieurs campagnes de mesures aux périodes les plus caractéristiques.

A l'issue d'une campagne de simulation de pluie sur grandes parcelles (50 m²) dans le Centre Nord du Burkina Faso, COLLINET et LAFFORGUE (1979) concluent qu'il n'existe pas de relation nette entre l'aptitude au ruissellement des différents sites testés et les organisations pédologiques internes. Par contre, la présence ou non de gravillons, ou d'organisations pelliculaires, à la surface des sols semblent déterminante pour l'hydrodynamique superficielle.

La sécheresse plus marquée du climat se manifeste par un couvert herbacé plus clair, assez souvent discontinu. Le sol, moins bien protégé que dans les zones plus humides est en outre plus sensible aux mécanismes de désagrégation du fait de plus faibles teneurs en matière organique. Ces différents facteurs favorisent les processus de réorganisation superficielle. Du fait de l'histoire des organisations de surface (mise en culture, érosion, apports par le vent, par ruissellement,..), il n'est pas rare d'observer des discordances entre les différenciations superficielles et les organisations internes de la couverture pédologique.

SAVANE SECHE

La représentation cartographique n'a pas, du moins en un premier temps, pris en compte ces organisations internes. VALENTIN (1982, 1983 b) et GIODA (1983) ont préféré retenir les caractères des états de surface (couvert végétal et organisations superficielles du sol). Les résultats obtenus par ALLERGEL et TOURI (1982), et GIODA (1983) en utilisant ce type de document cartographique sont très satisfaisants et semblent valider une telle démarche.

Toutefois, l'analyse en cours des résultats concernant le ruissellement sur une quarantaine de parcelles d'1 m² installées sur 4 petits bassins versants de la zone soudanaise du Burkina tend à mettre en évidence le rôle prépondérant du pourcentage de couvert herbacé par rapport aux autres facteurs pris en compte: caractéristiques des organisations pédologiques superficielles et internes. Une telle influence s'exprime à l'échelle du bassin: pour des conditions d'humectation comparables, le coefficient d'écoulement, calculé à partir des mesures en station de jaugeage, passe de 15,9 % lors de la période des brûlis, à 4,7 % au maximum de végétation, et à 11,7 % après les récoltes (ALBERGEL et BERNARD, à paraître). Il semble que le couvert herbacé (ou celui assuré par les cultures) intervienne non seulement par l'interception de la pluie mais également par le rôle protecteur qu'il assure vis-à-vis de la surface du sol et de l'activité mésofaunique. Les variations saisonnières ne seraient pas négligeables dans cette zone climatique. Des études ultérieures devraient permettre de s'assurer que la seule prise en compte des densités de couvert végétal, et de leur évolution en cours de saison des pluies n'entraînent pas une réduction sensible de la précision des résultats de la modélisation.

Les mesures réalisées près de la mare d'Oursi, dans le Sahel burkinabé, sur petites et grandes parcelles (COLLINET et al. 1980) ont également souligné la faible intervention des organisations pédologiques internes sur le ruissellement. Les organisations superficielles présentent de fortes différenciations latérales qui résultent de la combinaison de plusieurs facteurs: pluie, vent, couvert herbacé (VALENTIN 1983). Elles se manifestent souvent par l'existence de taches d'une dizaine de mètres de diamètre, dépourvues de végétation et couvertes d'une pellicule, environnées par des micro-buttes sableuses enherbées. De telles variations décimétriques induisent des différences très marquées d'hydrodynamique superficielle (CHEVALLIER et VALENTIN 1984).

SAHEL

Ce sont les caractères d'état de surface (couvert végétal et organisations superficielles de la couverture pédologique) qui ont, par conséquent, été retenus lors des travaux de cartographie (VALENTIN, 1981a). C'est ainsi que la campagne de simulation de pluie opérée par CHEVALLIER (1982) a fourni des résultats très satisfaisants pour les hydrologues. Par la suite, cette représentation cartographique a été utilisée comme "vérité terrain" lors des études de télédétection par satellite (CHEVALLIER, LOINTIER et LORTIC à paraître), permettant ainsi à CHEVALLIER et al. (à paraître) d'extrapoler les résultats obtenus sur un bassin de 9 km² à l'ensemble du bassin de la mare d'Oursi (264 km²). Il semble, par conséquent que cette approche soit bien adaptée au milieu.

REGION
PREDESERTIQUE

Sous les climats très arides (moins de 200 mm de pluie), le couvert graminéen tend à se réduire dans l'espace, et à n'occuper que peu de temps dans l'année, une part limitée de la surface du sol. De même, l'activité mésosauvique s'exprime moins que dans les zones plus humides. Les réorganisations superficielles qui apparaissent même sous l'effet de pluies peu abondantes (VALENTIN 1981b) se maintiennent, pour la plupart, d'une année sur l'autre. C'est essentiellement la granulométrie des matériaux superficiels (regs, surfaces sableuses, limoneuses, argileuses...) qui permet d'identifier des unités cartographiques dont l'homogénéité est souvent plus marquée que pour les autres zones climatiques. Les travaux qui seront prochainement entrepris sur l'un des bassins versants qui alimente la cuvette d'Agadez (NIGER) devraient permettre de vérifier la pertinence quant au ruissellement du facteur "organisations pédologiques superficielles". Ce "raccourci" qui consiste à faire abstraction des organisations internes de la couverture pédologique semble d'autant plus fondé que la profondeur des "sols fonctionnels" est faible: les fronts d'humectation généralement ne sont guère profonds du fait de la faible pluviométrie, concentrée sur une courte période qui coïncide avec la saison la plus chaude. Les intensités élevées de ruissellement et d'évaporation limitent considérablement le stockage de l'eau dans les matériaux pédologiques.

Deux milieux très importants n'ont pas été présentés ici, mais méritent de retenir l'attention des hydrologues travaillant en Afrique: les zones sodiques ou salines où la dynamique des sels se manifeste par des structures superficielles particulières. Une étude portant sur l'évolution saisonnière des organisations pédologiques superficielles est actuellement entreprise au Sénégal (MOUGENOT 1983). De nombreux éléments différencient la zone méditerranéenne des régions tropicales. Les états de surface étudiés par ESCADAFAL (1981) dans le sud tunisien présentent toutefois de nombreux points communs avec ceux des zones arides subsahariennes. Dans ces régions arides, dépourvues d'un couvert végétal dense, l'utilisation de la télédétection par satellite facilite largement la réalisation de cartes d'états de surface (ESCADAFAL et POUGET, à paraître).

Ce rapide exposé permet certaines remarques générales:

La hiérarchie
des
facteurs
varie
selon
les zones
climatiques

* c'est essentiellement en région de savane que le couvert herbacé semble jouer un rôle directement déterminant sur l'infiltration. Ses variations tant spatiales que saisonnières doivent impérativement être prises en compte lors des campagnes de simulation de pluie. Dans les régions forestières, le sous-bois apparaît, pour ce type d'étude, comme à la fois trop homogène dans l'espace et trop stable dans le temps. Dans les zones très arides, le tapis herbacé semble trop aléatoire pour être pris en compte.

* Plus le milieu est sec, plus l'épaisseur de la couverture pédologique à retenir pour la cartographie s'amenuise: c'est l'ensemble des organisations internes qui interviennent surtout, en zone forestière, sur l'infiltrabilité alors que celle-ci est principalement conditionnée en région pré-désertique par les seules organisations superficielles, généralement stables.

L'état actuel de nos connaissances sur l'influence des différentes composantes de l'environnement sur le ruissellement peut être schématisé sous la forme d'un tableau où apparaissent en fonction des zones climatiques les caractères principaux **, et importants *, à prendre en compte pour la cartographie des bassins versants. Les parenthèses indiquent la nécessité d'approfondir certaines questions.

TABLEAU N°1: Hiérarchie des caractères à prendre en compte lors de la cartographie des petits bassins versants, pour différentes zones climatiques.

Zone climatique	Limites pluviométriques approximatives (mm)	Couvert végétal	Couverture pédologique: organisations superficielles	internes
Forêt tropicale	> 1600	-	-	**
Savane humide	1200 - 1600	**	*	*
Savane sèche	400 - 1200	*(*)	*	-
Sahel	200 - 400	*	**	-
Confins sahariens	< 200	-	**	-

Il semble donc que le type de carte doit être adapté en fonction des régions: celle des organisations pédologiques internes est nécessaire dans la zone forestière et préforestière (savane anthropique). La carte des états de surface semble suffisante dans les zones plus septentrionales.

Les modalités
de réalisation

La cartographie des états de surface diffère de celles des organisations internes de la couverture pédologique par l'objet d'étude mais s'en écarte peu dans ses grands principes: travaux de terrain et représentation cartographique.

Depuis les premiers travaux menés dans le nord du Burkina Faso (VALENTIN 1981a), les techniques de relevé ont eu tendance à se normaliser. Il reste néanmoins que la méthode est suffisamment souple pour s'adapter aux différentes conditions, de milieu, d'accessibilité, et en fonction de l'existence ou non de photographies aériennes. Ainsi la prospection diffèrera en zone sahélienne où elle peut s'opérer en véhicule tout terrain et en région de savane humide où l'ouverture de layons, à parcourir à pied, est nécessaire. En l'absence de photographies aériennes récentes et de bonnes qualités, la prospection s'effectue selon une densité plus forte de toposéquences qui permettent d'établir d'éventuelles relations entre les états de surface et la topographie. Dans tous les cas, le cheminement s'accompagne du relevé des discontinuités d'états de surface, et d'une description systématique de points d'observation le plus souvent distribués selon des intervalles réguliers.

TRAVAUX DE TERRAIN

La densité de ces points varie en fonction de la qualité des "documents accessoires": photographies aériennes, carte topographique détaillée, etc..., du type de paysage: son degré de mise en culture, la couverture végétale, etc... et de l'équation personnelle du cartographe: un pédologue spécialiste des états de surface aura besoin d'un nombre plus restreint d'observations qu'un débutant. Ce sont ces trois variables (Documents x Nature x Homme) qui ont permis à BOULAIN (1966) de définir "l'efficacité pédologique": c'est "dans une région donnée, le nombre qui traduit les gains de temps ou les économies d'observation et d'analyses dues à l'emploi des méthodes de la pédologie moderne dans l'inventaire des sols par rapport à la méthode qui consiste uniquement à décrire et analyser les sols et à faire une carte par interpolation... Cette efficacité est égale à 1 en zone forestière tropicale sans carte topographique précise et même avec des photos aériennes ordinaires. Par contre elle est de l'ordre de 20 en zone non couverte de végétation ondulée, avec des photographies en noir ou un plan très détaillé en courbes de niveau au 1/10 000, dans certaines régions méditerranéennes et si les photographies ont été prises au mois d'octobre ou de novembre". MAIGNIEN (1969) précise que la méthode de levé systématique requiert 4 observations par cm^2 . Un bassin de 25 km^2 , cartographié à 1/50.000 nécessiterait 400 observations. L'efficacité pédologique permet de réduire ce nombre à 20, dans le meilleur des cas. Pour les cartes d'états de surface, nous considérons que l'efficacité varie selon les différentes variables (Documents x Nature x Homme) entre 5 et 20.

La dimension des surfaces prises en compte lors des descriptions varie également selon les milieux; d'une manière générale le "point d'observation" se définit par le champ de vision.

Même à cette échelle, il est fréquent que les états de surface apparaissent sous la forme de mosaïques constituées de plusieurs unités considérées comme homogènes. Nous désignons ces unités comme étant des "surfaces élémentaires" dont le comportement serait uniforme sous simulation de pluie. La technique de description de ces surfaces élémentaires devraient donner lieu à la rédaction d'un manuel de terrain. Nous nous limiterons ici à en tracer les grandes lignes.

Couvert végétal

* *couvert arboré*: la densité et le type de distribution des grands arbres sont des paramètres qui peuvent aisément être relevés sur le terrain. Leur identification sur photographies aériennes facilite ensuite le tracé de certaines limites. Les ligneux sont décrits en fonction de leurs strates principales définies par des limites de hauteur (exemple: > 15 m, entre 10 et 15 m, entre 5 et 10m, entre 2 et 5 m, entre 1 et 2 m, < 1 m). Pour chacune des strates, on s'efforce de noter:

- le pourcentage de recouvrement,
- la distance moyenne entre les individus
- le type de distribution; régulière, aléatoire, en îlots (bosquets), ...
- éventuellement: l'espèce dominante, ou significative, le type de port, ...

* *tapis herbacé*: les mêmes critères sont pris en compte. Une attention particulière est portée sur les relations entre les caractères du tapis herbacé et les autres composantes de l'état de surface (les graminées sont par exemple associées à un recouvrement sableux).

* *végétation de surface*: les principales caractéristiques (recouvrement, ...) des végétaux de surface sont relevées. Il est souvent possible de noter ainsi la présence plus ou moins marquées de plantes rampantes, de mousses, de lichens, d'algues, de graines ou de très jeunes pousses.

* *résidus végétaux*: qu'il s'agisse de végétation naturelle ou de culture, il est important d'estimer le recouvrement assuré par les organes végétaux morts, pas encore humifiés. Ils peuvent être en

place (herbes sèches dressées), inclinés, ou sur le sol et plus ou moins fragmentés. Il est bien sûr utile de relever également la présence de cendres, et d'autres indices de brûlis.

Organisations pédologiques superficielles

- * *litière*: constituée de résidus végétaux plus transformés que précédemment, la litière est souvent discrète, voire absente en zone de savane. Nous incluons dans cette rubrique les éventuels chevelus racinaires affleurants.
- * *activité faunique*: ce n'est pas l'activité faunique proprement dite qui est appréciée, mais plutôt la nature et le recouvrement des différentes constructions opérées par la mésofaune: termitières, placages de récolte de termites, fourmilières, turricules de vers,...
- * *micro-relief*: les principales caractéristiques du micro-relief (forme, amplitude, relations avec le sens de plus grande pente, etc...) sont relevées, surtout lorsqu'il présente une grande régularité (buttes, billons, ...).
- * *indices de migration de constituants*: il peut s'agir de dépôts (érosion hydrique ou déflation éolienne), de transports (traces d'écoulement en nappe ou hiérarchisé) ou de dépôts. Citons, à titre d'exemple, la hauteur des salissures par rejaillissement sur les tiges des herbes, l'importance des déchaussements, l'existence de figures en piedestal (micro-buttes témoins), de griffes, d'atterrissements sableux, etc...
- * *micro-profil*: les matériaux pédologiques présentent souvent des différenciations verticales assez nettes à proximité de la surface. Il est possible de distinguer, même à l'oeil nu, une ou plusieurs organisations lamellaires, ou pelliculaires, que nous désignons par le terme de "micro-horizon". Les caractères les plus importants à noter en sont: l'épaisseur, l'humidité lors de la description, la continuité, la couleur, la taille des constituants, le type (fentes, vésicules, ...) et le développement de la porosité, la dureté, la fragilité et le type de relation avec le micro-horizon suivant (estimé par le degré de discordance). Cette succession de micro-horizons correspond souvent à des "processus de réorganisation" qui conduisent à une distribution granulométrique verticale inverse de celle qui résulte de la sédimentation: les matériaux les plus grossiers (galets, gravillons ou sables) recouvrent une pellicule plasmique ou sont enchassés en elle. Il arrive que cette succession verticale se répète sur les premiers centimètres de l'horizon superficiel, conférant ainsi à celui-ci une structure lamellaire bien marquée.

La description d'une surface élémentaire ne se contente pas de dresser l'inventaire des principaux éléments de l'état de surface, elle doit chercher à caractériser leurs relations: concentration des constructions mésotopiques à la base des touffes, organisations pelliculaires très discrètes sous le tapis herbacé, mais développées dans les zones nucs, etc... En dépit de ce début d'interprétation, les travaux de terrain s'achèvent sans que les différents points d'observations aient été classés selon une classification prédéterminée. A ce stade de l'étude, il n'est en effet pas souhaitable de hiérarchiser les différentes composantes des états de surface.

Mise en ordre des relevés

La représentation cartographique nécessite d'identifier des unités définies en fonction des caractéristiques communes à plusieurs points d'observation. La première phase consiste à établir un fichier de ces différents points et de leurs caractères. Il est alors possible de procéder à un premier regroupement des points les plus semblables. Cette opération pourrait éventuellement être automatisée: une analyse en composantes principales doit être à même de faciliter l'identification de ces groupes. Le nombre de ces derniers est le plus souvent incompatible avec une représentation cartographique simple. Les unités seraient généralement trop petites pour être dessinées aux échelles habituelles (1/50.000 ou 1/30.000) Il convient par conséquent de condenser encore l'information en associant plusieurs groupes au sein de la même unité.

Définition des unités cartographiques

Le choix du nombre et du contenu des unités cartographiques répond à deux impératifs:

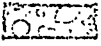
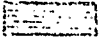
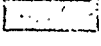
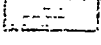
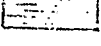
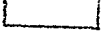
- 1) la variabilité intra-unité à l'égard de l'hydrodynamique superficielle doit être inférieure à la variabilité inter-unités,
- 2) le tracé des limites (ou éventuellement à des échelles plus grandes des lignes d'isodifférenciation) doit être possible à partir des seuls documents disponibles: relevés de terrain, carte topographique et (ou) photographies aériennes.

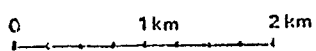
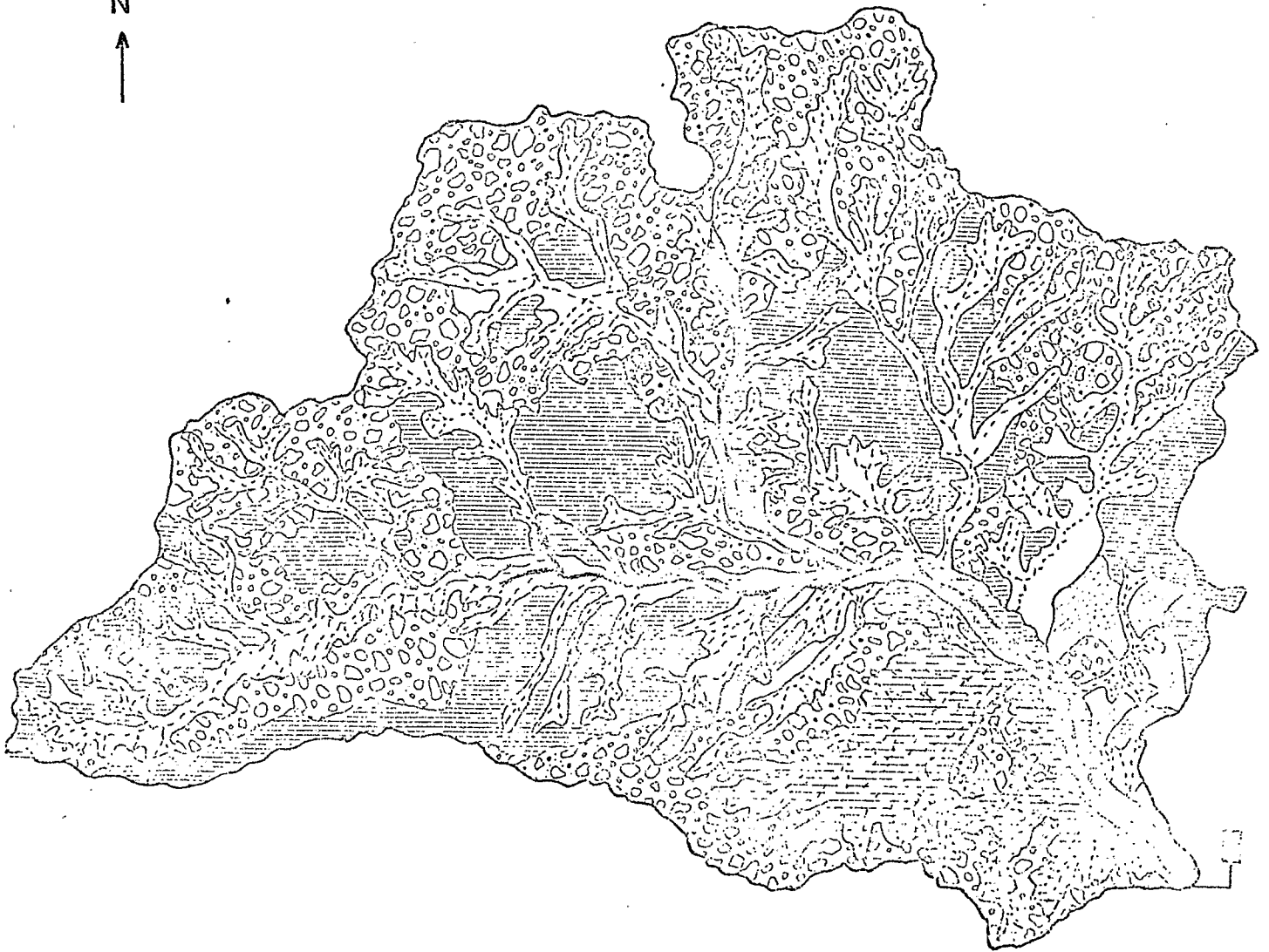
BASSIN VERSANT DE KAZANGA (BURKINA FASO)

Esquisse des organisations superficielles

(d'après VALENTIN 1983b)

unités

- | | | |
|--|---|---|
|  | 1 | surface à épandages gravillonnaires |
|  | 2 | surface pelliculaire |
|  | 3 | surface à taches nues pelliculaires et à micro-buttes sableuses |
|  | 4 | surface verticale à voile sableux |
|  | 5 | surface hydromorphe de terrasse alluviale |
|  | 6 | surface hydromorphe de bas-fond |



Il est nécessaire, contrairement à la première phase de traitement, de recourir à l'état actuel de nos connaissances sur les relations entre les composantes du milieu et l'aptitude au ruissellement pour hiérarchiser les facteurs et définir ainsi les unités. Les regroupements s'effectuent en privilégiant par exemple les caractéristiques d'organisations superficielles en zone pré-désertique alors que ce sont les types de couvert herbacé qui différencieront les unités en savane humide.

Le tracé des limites se trouvent souvent facilité par les relations génétiques, ou plus simplement topographiques, des différentes unités. Comme pour la couverture pédologique, la distribution des états de surface est ordonnée. La mise en évidence d'un tel ordre, et son éventuelle compréhension, limitent considérablement les risques d'erreur, surtout lorsque l'on ne dispose pas de photographies aériennes. Elles fournissent également des renseignements sur la dynamique actuelle des versants.

La photo-interprétation, quand elle est possible, doit s'imposer certaines règles rigoureuses: à chaque point d'observation, reporté sur un calque, correspond un type de grisé sur la photographie aérienne. Celui-ci se définit non seulement par sa teinte mais aussi par d'autres variables comme la présence de points blancs (termitières épigées érodées, ou taches nues) ou noirs (arbres) etc... Les relations établies ainsi entre les points d'observations (puis les unités) et les types de grisé doivent être bien établies et si possible énoncées sur un tableau. Cette "clé" d'interprétation permet de dresser le document cartographique. Assez souvent, il s'agit d'une esquisse et non d'une carte proprement dite. En effet, l'hétérogénéité des unités est souvent comparable à celle d'une carte de sols à petite échelle (par exemple à 1/200.000) dans la mesure où il s'agit de la représentation cartographique d'associations. Pour des études à grande échelle (par exemple à 1/5.000), il serait intéressant de fournir un document où seraient reportés non pas des unités, mais des lignes d'isodifférenciation. Il serait alors possible de mettre en évidence les éventuels décalages entre couvert végétal et organisations pédologiques superficielles.

Choix des sites expérimentaux

La dernière phase de ce travail consiste à proposer aux hydrologues l'emplacement d'un nombre limité de parcelles expérimentales. L'échelle des mesures (1 m²) est celle des "surfaces élémentaires" (cf. supra). Il est nécessaire de dresser la liste des différents surfaces élémentaires constitutives des unités. Il arrive, par exemple en zone sahélienne, que le nombre de surfaces élémentaires soit inférieur au nombre d'unités cartographiques. Le nombre limité de parcelles (entre 10 et 15) réparties sur 3 ou 4 sites permet de tester l'ensemble des situations.

La représentativité de chaque parcelle est établie en multipliant le pourcentage d'occupation de la surface élémentaire correspondante au sein de l'unité, par le pourcentage d'occupation de cette unité dans le bassin versant. C'est cette donnée qui est ensuite utilisée dans le modèle hydrologique. Parfois, des contraintes d'ordre pratique (durée de campagne de simulation de pluie, inaccessibilité de certaines zones du bassin,...) imposent un nombre de parcelles inférieur au nombre des surfaces élémentaires. On s'efforce alors de procéder à de nouveaux regroupements d'unités, ou lorsqu'une telle opération s'avérerait contestable, la priorité est donnée aux surfaces élémentaires les plus représentées.

Un site expérimental compte entre 2 et 5 parcelles, en fonction de l'hétérogénéité de l'unité cartographique sur laquelle il est implanté.

La démarche qui vient d'être brièvement présentée semble à l'heure actuelle suffisamment fiable pour être diffusée. Un premier essai a été tenté dans cette voie récemment. Un petit bassin versant sahélien situé au nord du Burkina a été cartographié par quelqu'un déjà formé à cette méthode (A) et par une personne inexpérimentée (B). Les travaux de terrain ont été menés conjointement, et la clé de photo-interprétation a été fournie à (B).

*Diffusion
de la
méthode*

Le tableau N°2 permet la comparaison des pourcentages d'occupation des 7 unités retenues (après regroupement) établis à partir des deux documents dressés indépendamment.

TABIEAU N°2: comparaison des pourcentages d'occupation des unités cartographiques d'un petit bassin sahélien établis par quelqu'un formé à la technique (A) et quelqu'un d'inexpérimenté (B).

Individu	Surface du bassin (km ²)	Unités						
		1	2	3	4	5	6	7
B	31,3	9,8	11,4	10,2	17,4	28,4	3,0	19,8
A	30,4	10,7	11,7	11,1	17,3	26,3	10,3	12,7

Il apparaît deux distorsions (unités 6 et 7) de l'ordre de 7 %, qui résultent de la difficulté d'identification de surfaces érodées (unité N°7). Pour les autres unités, les écarts sont réduits, du moins au regard de la précision escomptée par les hydrologues. Ce premier essai d'initiation à cette technique de cartographie des états de surfaces semble assez encourageant.

Conclusions

Trois constatations semblent apporter la validation de cette démarche:

- 1) elle est l'application directe de résultats acquis depuis une dizaine d'années sous simulation de pluie qui ont permis la mise en évidence d'une certaine hiérarchie parmi les facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle, et ceci pour différentes zones climatiques.
- 2) dans la mesure où cette méthode tend à se normaliser, elle devient susceptible d'être diffusée, au prix d'une initiation qui n'est pas nécessairement longue.
- 3) elle est opérationnelle: d'une part elle répond à la demande des hydrologues en facilitant la prévision du volume des crues, elle contribue d'autre part à l'étude plus fondamentale de leur genèse, et du fonctionnement hydrologique des petits bassins versants.

Ces différentes remarques ne doivent pas toutefois masquer certaines réalités:

- 1) ce type de cartographie est perfectible. Dépendant de l'acquis scientifique, il est, par nature, évolutif.
- 2) cette démarche n'est probablement pas la seule à être opérationnelle. Elle n'est exclusive d'aucune autre. Sa principale caractéristique réside dans sa simplicité de mise en œuvre.

Bibliographie

ALBERGEL (J.), TOURI (H.) - 1982 - Un nouvel outil pour estimer le ruissellement sur un petit bassin versant: le mini-simulateur de pluie. Expérimentation sur le bassin de BINNDE, Orstom, Ouagadougou, 117 p., 28 fig.

ALBERGEL (J.), BERNARD (A.) - Etude du ruissellement sur les bassins de savane BINNDE-KAZANGA. ORSTOM, Ouagadougou, à paraître.

BOULAINE (J.) - 1966 - La cartographie des sols et la Pédologie. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., IV (1):3-7.

BOULET (R.), HUMDEL (F.X.), LUCAS (Y.) - 1982 - Analyse structurale et cartographie en pédologie. Cah. ORSTOM sér. Pédol., XIX (4):323-351.

CASENAVE (A.), GUIGUEN (N.), SIMON (J.M.) - 1982 - Etude des crues décennales des petits bassins versants forestiers en Afrique Tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX (4): 229-252.

CASENAVE (A.), CHEVALLIER (P.), GUIGUEN (N.), SIMON (J.) - 1982 - Simulation de pluie sur bassins versants représentatifs. Cah. ORSTOM, XIX (4):207-297, sér. Hydrol.

CASENAVE (A.) - 1984 - Simulation de pluie sur petits bassins versants. GOUTTES et SPLASH, Bulletin du Groupe Méthodologique de Simulation de Pluie, mai 1984:1-6.

CHEVALLIER (P.) - 1982 - Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi, Haute-Volta). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX (4):253-297.

CHEVALLIER (P.), VALENTIN (C.) - 1984 - Influence des micro-organisations pelliculaires superficielles sur l'infiltrabilité d'un type de sol sahélien. Journées du Groupe Français d'Humidité Neutronique, Montpellier, 13-14 novembre 1984.

CHEVALLIER (P.), CLAUDE (J.), POUYAUD (B.), BERNARDI (A.) - Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la mare d'Oursi - Burkina - (1976-1981). Trx et Doc. de l'ORSTOM, à paraître.

CHEVALLIER (P.), LOINTIER (M.), LORTIC (B.) - 1985 - Water levels of a sahelian lake (mare d'Oursi - Burkina Faso). Soumis à Intern. Works. on Hydrologie Applications of Space Technology. AISH, Cocoa Beach, USA, août 1985.

COLLINET (J.), LAFFORGUE (A.) - 1979 - Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. ORSTOM, Abidjan, 129 p.

COLLINET (J.), VALENTIN (C.) - 1979 - Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielles. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVII (4): 283-328.

COLLINET (J.), VALENTIN (C.), ASSELINE (J.), HOEPEFFNER (M.), HARANG (P.), PEPIN (Y.) - 1980 - Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques. Bassin versant de Galmi et cuvette d'Agadez. ORSTOM, Abidjan, 38 p.

COLLINET (J.) - 1984 - Hydrodynamique superficielle et érosion comparées de quelques sols ferrallitiques sur défriches forestières traditionnelles (Côte d'Ivoire). in "Challenges in African Hydrology and Water Resources. IAHS Publ. N°144:499-516.

ESCADAFAL (R.) - 1981 - L'étude de la surface du sol dans les régions arides (Sud tunisien). Recherches méthodologiques. ORSTOM, Gabès, 64 p.

ESCADAFAL (R.), POUGET (M.) - Luminance spectrale et caractères de la surface des sols en région aride méditerranéenne (Sud tunisien). Collque de Wageningen (Pays-Bas) 1985 - à paraître.

GIODA (A.) - 1983 - Etude du rapport pluie-débit sur un petit bassin de savane à l'aide d'un infiltromètre à aspersion (Korhogo - Côte d'Ivoire). Orstom, Abidjan, 64 p.

GUEHL (J.M.) - 1984 - Utilisation des méthodes tensio-neutroniques pour l'étude des transferts hydriques dans le sol en milieu ferrallitique guyanais. Science du sol. N°1: 35-49.

MAIGNIEN (R.) - 1989 - Manuel de prospection pédologique. Initiati. Doc. Techniques de l'ORSTOM N°11, 132 p.

MOUGENOT (B.) - 1983 - Caractérisation et évolution des états de surface en relation avec la dynamique des sels dans le delta du Sénégal. Méthodologie et résultats partiels de la campagne 1982-1983. ORSTOM, Dakar, 50 p.

POSS (R.), VALENTIN (C.) - 1983 - Structure et fonctionnement d'un système eau-sol-végétation: une toposéquence ferrallitique de savane (Katiola - Côte d'Ivoire). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XX, 4:

VALENTIN (C.) - 1981a - Esquisse au 1/25.000^{ème} des différenciations morpho-structurales de la surface des sols d'un petit bassin versant sahélien (Polaka-Oursi, Nord Haute-Volta). Orstom, Abidjan, 11 p.

VALENTIN (C.) - 1981b - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertiques (Agadez - Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie en eau. Th. 3^{ème} cycle. Univ. Paris VII, 229 p.

VALENTIN (C.) - 1982 - Esquisse à 1/25.000 des organisations superficielles d'un petit bassin versant soudanien (BINNDE, Centre Sud de la Haute-Volta). ORSTOM, Ouagadougou, 16 p.

VALENTIN (C.) - 1983a - 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.) - 1983b - Organisations superficielle de Kazanga. Centre-Sud de la Haute-Volta. Esquisse à 1/50.000 d'un bassin versant de 56 km². ORSTOM, Abidjan, 13 p.