

VARIABILITE DE LA TENEUR EN EAU ET DE LA RESERVE HYDRIQUE  
DU SOL EN MILIEU SAHELIEU

II - EVOLUTION TEMPORELLE DE LA DISPERSION SPATIALE  
SIMPLIFICATION DU RESEAU INITIAL DE MESURE ET  
SCHEMATISATION DU FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE

M. SICOT

En l'absence de discontinuité dans le profil tels que les fissures, les limites de stratification, ... ou d'épiphénomènes accidentels et limités, l'humidité et la réserve hydrique cumulée depuis la surface évoluent de façon similaire en tout point du profil, quelle que soit la profondeur considérée : des corrélations très significatives peuvent être explicitées pour l'humidité comme pour la réserve hydrique. Le nombre de sites et de mesures du réseau peut être réduit en cours d'étude, de ce fait, tout en gardant la précision initialement fixée.

SOIL MOISTURE AND WATER RESERVE VARIABILITY  
IN SAHELIAN COUNTRIES

II - EVOLUTION OF THE SPATIAL SCATTERING OF MEASURES  
AND REDUCING OF THE INITIAL SOIL WATER CONTENT  
NETWORK OF MEASUREMENT

M. SICOT

Except in the case of discontinuities into the profile, like cracks and stratum boundaries, or accidental and restricted epiphenomena, soil moisture and water storage vary similarly at any point and every depth. Very strong correlations can be explained between water content measurements from point to point. So that, the number of measures and network stations can be reduced during the study itself while keeping the initial precision of measure.

INTRODUCTION

Dans une première partie (SICOT, 1983), nous avons constaté qu'à un instant donné, l'état hydrique du sol différait généralement d'un point à un autre. Nous avons montré que cette hétérogénéité hydrique résultait pour une large part du micro-relief de la surface du sol, lequel était à l'origine des comportements spécifiques des sites à l'observation.

Parallèlement, nous savons que les éléments du bilan hydrique présentent d'importantes variations spatiales et temporelles. C'est ainsi qu'au niveau des entrées, nous avons régulièrement enregistré des différences de plus de 20 % sur les pluies journalières et annuelles, mesurées en deux pluviomètres distants de moins de 3 mètres, dans un parc météorologique bien dégagé ainsi que sur les quantités d'eau infiltrées dans le sol (SICOT, 1981). Au niveau des sorties, nous avons aussi noté des variations très importantes de l'évapotranspiration, du drainage et transferts hydriques, induites respectivement par l'hétérogénéité du recouvrement végétal et par la présence d'écoulements hypodermiques (SICOT, 1978, 1980).

Il y aurait donc tout lieu de croire à une évolution temporelle de la dispersion de l'état hydrique du sol au cours du cycle hydrologique annuel.

Cette seconde partie est consacrée à ce problème important en milieu sahélien, l'évolution temporelle de la dispersion des mesures de l'eau dans le sol.

Après description des faits observés en différents milieux, nous chercherons le déterminisme relatif de l'eau dans le profil. La discussion des résultats conduira à l'analyse de la dynamique de l'eau du sol en milieu semi-

aride. Nous terminerons par la justification des possibilités de réduire le nombre de mesures en cours d'investigation.

## I - MATERIEL ET METHODES

La plupart des profils hydriques ont été établis à partir de mesures neutronométriques effectuées dans les 5 à 6 tubes d'accès de 150 à 360 cm de longueur utile, à l'intérieur de chaque parcelle étudiée. Les mesures ont été exécutées suivant un rythme décadaire, fréquence généralement suffisante pour justifier l'indépendance des mesures. A raison d'une journée de mesures par parcelle, une campagne de mesures s'étend sur dix jours pour l'ensemble du dispositif.

Quelques recherches complémentaires concernant le ruissellement et l'infiltration ont été conduites suivant des fréquences diverses.

Il est à noter que les données de mesures neutroniques ont été contrôlées aussi souvent que possible, par gravimétrie, et que cette méthode de référence nous a, non seulement assuré de l'exactitude de nos résultats, mais aussi conforté dans leur analyse, en mettant en évidence l'atténuation de l'hétérogénéité par neutronométrie, effet dû aux dimensions de la "sphère d'influence de la sonde".

## II - RESULTATS

### 2.1. Evolution de la dispersion de l'eau dans le sol

L'évolution décadaire de la dispersion de l'eau dans le sol au cours du cycle pluviométrique est représentée dans les trois premières figures. Les graphiques ne traitent que de l'humidité exprimée en impulsions par seconde ou en pour-cent d'humidité volumique après l'étalonnage de

l'humidimètre (SICOT, 1979), mais les remarques qui suivent sont aussi valables pour la réserve hydrique du sol.

Quel que soit le milieu considéré, les taux d'humidité évoluent assez sensiblement en parallèle pour l'ensemble. Perturbant ce parallélisme, nous notons :

- la tendance pour certains sites d'être plus humides et de s'humecter en surface comme en profondeur plus intensément que certains autres ;
- une très forte hétérogénéité au niveau du front d'humectation qui est une véritable zone d'au moins 50 cm d'épaisseur ;
- le blocage à 45-60 cm de l'humectation notable et "relativement homogène" en milieu argileux ;
- l'existence de déphasage dans l'évolution de l'humidité d'un site à l'autre, en milieu concrétionné avec en particulier des montées brutales de l'humidité s'étalant sur un mois d'un site à l'autre (fig. 3, horizon 90-105 cm).

Mais dans l'ensemble, la dispersion hydrique se maintient telle quelle, tout au long du cycle hydrologique annuel.

### 2.2. Incidence du niveau d'observation dans l'échelle spatiale ou temporelle de la dynamique de la dispersion de l'eau dans le sol

Des mesures complémentaires effectuées à 300 ou 400 m des parcelles étudiées en suivis décadaires, il ne ressort aucun écart imputable à la distance intersite. Par contre, la figure 4 montre que pour deux parcelles en sable dunaire distantes de 4 km, l'humidité évolue suivant un parallélisme presque parfait, les mesures de l'une s'intégrant entièrement parmi les 6 répétitions de l'autre.

S'agissant de l'incidence de l'espacement des mesures sur les faits hydriques observés, nous ne notons rien d'anormal tant que la fréquence des déterminations ne descend pas en-dessous de 2 jours : l'évolution hydrique maintient la dispersion initiale des sites (fig. 5 A et B).

A partir des mesures journalières, des irrégularités temporaires de la teneur en eau ou de la réserve hydrique par rapport à l'évolution finale signalent des résultats collectés pendant la redistribution des eaux après pluie ou en présence d'eau libre. Dans le premier cas, on enregistre temporairement des résultats différents de l'évolution finale après ressuyage. Dans le second cas, on se trouve en conditions limites ou en dehors du domaine d'utilisation valable de la méthode neutronique. Il y a risque de surestimation de l'humidité (MAERTENS et al, 1965).

### 2.3. Déterminisme relatif à l'état hydrique du sol

Le parallélisme intersite de l'évolution de l'humidité ou de la réserve en eau du sol dénote l'existence de liaisons hydriques d'un point à un autre du profil. Les tableaux 1 et 2 où sont consignés les coefficients de corrélations entre les six tubes parcellaires en milieu sableux et concrétionné montrent qu'au delà des particularités susmentionnées, la réserve hydrique en un site de tube est très fortement corrélée à celles des autres sites de tube et à toute combinaison linéaire de celles-ci, à la moyenne en particulier.

Il en résulte que l'état hydrique d'une aire échantillonnée peut être valablement décrit et l'humidité moyenne estimée à partir d'un site de tube quelconque.

Ainsi, la réserve moyenne en milieu sableux peut être évaluée à moins de 5 % près à partir du site 3 par les régressions :

$$\begin{aligned} y &= 1,128 x_3 + 8,1 && \text{en 1978} \\ y &= 1,340 x_3 - 1,8 && \text{en 1979} \end{aligned}$$

Notons que les équations diffèrent d'une année à l'autre, phénomène qui sera analysé ci-après et qu'en dehors de leur période d'établissement, il est difficile à l'aide de ces équations d'obtenir des estimations à moins de 10-12 %. C'est très acceptable compte tenu de la précision des valeurs moyennes, mais il est possible de mieux faire. A partir de 3 sites quelconques, les sites 2, 4 et 6 (un meilleur choix aurait pu sélectionner un site sec, un site humide et un site intermédiaire), nous avons calculé pour la réserve moyenne, les régressions multiples en 1978, 1979, et 1978-1979. La comparaison des valeurs calculées aux valeurs observées à la figure 6 montre que les estimations sont bonnes, même en 1980, hors du domaine d'établissement des régressions. Tel est le cas des estimations dérivant de la régression moyenne sur les deux ans, en particulier.

## IV - DISCUSSION

### 4.1. Déterminisme de l'évolution de la dispersion hydrique du sol

Le parallélisme de l'évolution des fluctuations qui maintient la dispersion hydrique du sol et les corrélations qui en découlent n'impliquent pas des relations de causes à effets, mais seulement la prééminence des variations temporelles de l'eau du sol sur les disparités spatiales. A l'origine de ces variations temporelles, on trouve la distribution de la pluie qui, en liaison avec l'évaporation induit les séquences d'humectation et de dessèchement du sol. Ces séquences ont l'extension spatiale que leur confèrent les averses. Ce sont des faits saillants en milieu

semi-aride qui expliquent le peu d'influence de la dimension spatiale sur l'évolution hydrique en tenant compte du déterminisme micro-morphologique. Il s'ensuit que des liaisons hydriques quasi rigides s'explicitent d'un point à un autre et que des estimations précises de la réserve en eau peuvent être obtenues à partir d'observations ponctuelles. Il est toutefois indispensable que la durée totale de la redistribution hydrique après pluie soit incluse dans l'espace des observations. C'est-à-dire qu'il est souvent nécessaire d'attendre environ 48 heures après la pluie avant d'exécuter les mesures.

#### 4.2. La redistribution hydrique locale

L'eau des précipitations arrivant à la surface du sol se redistribue selon la micromorphologie superficielle, les micro-dépressions ou formes assimilées bénéficiant d'apports hydriques supplémentaires aux dépens des autres micro-formes (figure 7). Le phénomène est favorisé par rapport à l'infiltration immédiate sur place, par l'encroûtement des surfaces en périodes sèches. La redistribution en profondeur se fait principalement par la fissuration du profil dans les dépressions, à cause des dépôts d'éléments fins. Celles-ci sont en effet mieux pourvues en macropores, (cf. HENIN et BOSQUET, 1964 ; MARTY et MAERTENS, 1969, sur le déterminisme du fendillement et de l'effritement du sol).

L'architecture de l'édifice micromorphologique n'est pas immuable. En saison sèche, l'harmattan souffle inlassablement, déposant sa charge de particules en provenance du désert. En fin de saison sèche et début d'hivernage, ce sont de véritables vents de sable qui recouvrent l'ensemble. Des modifications par rapport au profil initial échappent au décapage des averses orageuses d'hivernage, d'où les fluctuations interannuelles des corrélations intersites.

A cette redistribution superficielle, ayant directement les précipitations pour origine, peut s'ajouter une redistribution à la base du profil, à partir d'écoulements souterrains, en milieu concrétionné poreux et fissuré. Le phénomène est perceptible lorsque le profil est peu épais sur roche-mère rocheuse (GOUNTOURE). Des flux hypodermiques d'écoulements préférentiels induisent des remontées capillaires hétérogènes et déterminent les élévations brutales de l'humidité notées précédemment. Le ruissellement du réseau souterrain dépend de la pluviosité et de l'infiltration. Mais son fonctionnement se complique avec la durée du temps de réponse, l'étendue de l'aire d'influence et certains mécanismes particuliers comme les phénomènes de siphonage... De sorte qu'il n'y a souvent que peu de rapport entre l'état hydrique du sol et les événements climatiques récents (figure 3).

#### 4.3. Dynamique hydrique du sol en milieu semi-aride

Par la juxtaposition de sites secs et de sites humides coexistants en permanence, même en périodes sèches, la dynamique réelle de l'eau en zone sahélienne apparaît très différente de celle à laquelle on a coutume de se référer. Les faits sont bien illustrés à la figure 8 où sont représentés, numérotés de 1 à 6 et de 1 à 4, les divers types de profils rencontrés sur le terrain, en dessèchement (figure 8 A) d'une part, et en humectation (figure 8 B) d'autre part.

Leur interprétation est schématisée aux figures 9 et 10 où l'on retrouve en coupes et aux mêmes numéros, les profils remarquables de la figure précédente. La dynamique de l'humectation se signale par les particularités suivantes :

- humectation (imbibition en sol argileux) intense et assez homogène (certains sites très encroûtés et compactés sont plus ou moins hydromorphes) d'une couche superficielle d'épaisseur variable, selon la texture ;

- humectation profonde en digitations facilitée par de grosses fissures aux parois plus ou moins mouillantes ;
- lente diffusion de l'eau à partir des zones précédentes au travers d'un réseau dense de fissures fines (zone de diffusion) ;
- maintien de l'état de sécheresse au-delà des zones susmentionnées.

L'humectation du profil en profondeur est arrêtée en milieu argileux par le gonflement du matériau qui obstrue l'ouverture des fissures isolant des cellules gorgées d'eau autour desquelles se poursuit la diffusion.

La dynamique du dessèchement s'applique surtout à la couche fortement humectée. Les films capillaires sont vite rompus par l'intensité de l'évaporation qui provoque l'encroûtement des surfaces et le self-mulching du profil, responsables du maintien de bulles à noyau humide dans l'enceinte sèche (figure 10).

Cette dynamique de l'eau du sol généralisée en zone semi-aride est à rapprocher de celle des vertisols étudiée par JAILLARD et CABIDOCHÉ (1983). L'hétérogénéité et le compartimentage hydrique poussés à l'extrême en des substrats divers sont atténués en milieu sableux par une perméabilité qui facilite la diffusion hydrique.

#### CONCLUSION

La dispersion de l'eau dans le sol et son maintien en processus d'humectation et de dessèchement est assuré par une dynamique spéciale basée sur le microrelief superficiel et la fissuration du profil, en milieu semi-aride.

Cette hétérogénéité et cette dynamique de l'eau posent de nombreux problèmes quant à la définition et à la mesure des caractéristiques hydriques du sol. Un nombre important de mesures est généralement nécessaire à leur détermination dans les périmètres étudiés. La stratification des échantillons à partir du microrelief et l'analyse séparée des différentes strates permet de le réduire en s'abstrayant d'une manière toute relative, de la variance interstrate souvent nettement plus importante que la variance intra-strate. Une dispersion hydrique constante et l'existence de fortes corrélations intersites autorisent théoriquement à réduire jusqu'à l'unité ce nombre de mesures en cours d'étude. Cela est malheureusement impossible car la formulation des régressions varie sensiblement chaque année à cause des modifications apportées au microrelief par l'érosion éolienne et hydrique. De grands changements interviennent en fin de saison sèche surtout, avec les vents de sables qui recouvrent la surface du sol d'une voile de sable éolien remodelé durant l'hivernage. Un palliatif à la détérioration des corrélations intersites qui en résultent est l'utilisation de corrélations multiples, prenant en compte des modifications moyennes du microrelief. En général, trois ou quatre sites suffisent.

## BIBLIOGRAPHIE

- HENIN, S., BOSQUET, (1964). - Relation entre le comportement des sols et leurs textures. C. R. Acad. Agric., 2, 842-846.
- JAILLARD, B., CABIDOCHÉ, Y-M, (1983). - Etude de la dynamique de l'eau dans un sol gonflant. I - Dynamique hydrique (à paraître au Bulletin A.F.E.S.).
- MARTY, J-R., MAERTENS, C., (1969). - Comportement à l'effritement et à la fissuration de quelques sols typiques du Sud-Ouest de la France. Bull. A.F.E.S., 1, 5-8.
- MAERTENS, C, MORIZET, J., STUDER, R., (1965). - Modalités d'utilisation en agronomie d'un humidimètre à ralentissement de neutrons. Ann. Agron., 16, 5-23.
- SICOT, A-M., (1978). - Cycle de l'eau et bilan hydrique dans les éco-systèmes types du bassin versant de la Mare d'Ouessi (Haute-Volta). Analyse préliminaire des données recueillies en 1977... ACC Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta). O.R.S.T.O.M., rapport multigr., 76 p + annexes.
- SICOT, A-M., (1979). - Etalonnage de l'humidimètre Solo dans les sols sahéliens du bassin versant de la mare d'Ouessi (Haute Volta). O.R.S.T.O.M. Ouagadougou, rapport multigr., 24 p + figures.
- SICOT, A-M., (1981). - a) Analyse sommaire de la dynamique de l'eau dans les sols sahéliens sous pluies simulées. O.R.S.T.O.M. Ouagadougou, rapport multigr., 22 p. + 42 figures.
- SICOT, A-M, (1981). - b) Mesures de la teneur en eau et des transferts hydriques en milieu sahélien (Mare d'Ouessi, Haute-Volta). Bull. G.F.H.N., 10, 63-86.
- SICOT, A-M, (1983). - Variabilités de l'humidité et de la réserve hydrique du sol en milieu sahélien. - I. Dispersion spatiale des mesures et rationalisation du réseau de mesure. Bull. G.F.H.N., 14.

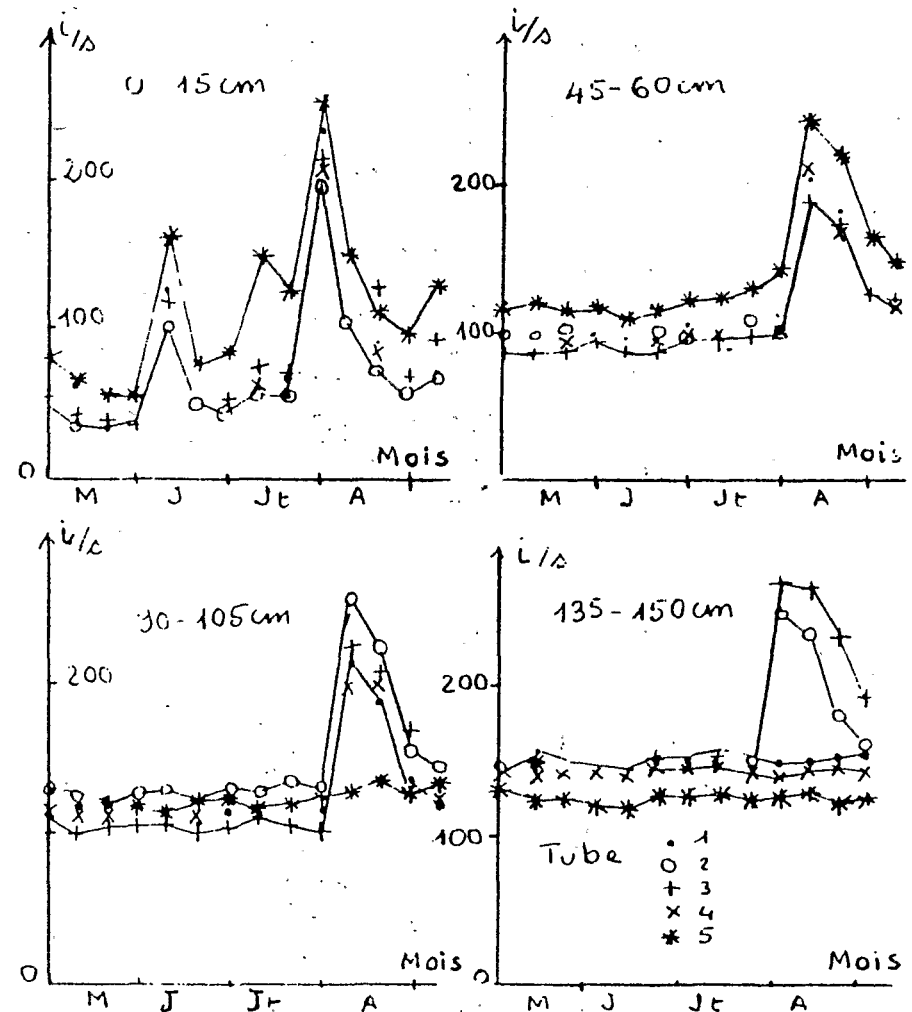


Figure 1 - Evolution de la teneur en eau du sol (i/s) en milieu sablo-argileux

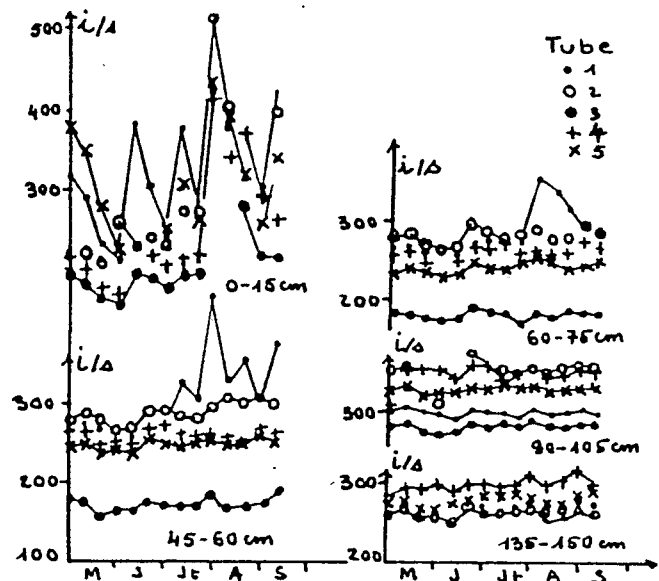


Figure 2 - Evolution de la teneur en eau du sol (i/s) en milieu argileux

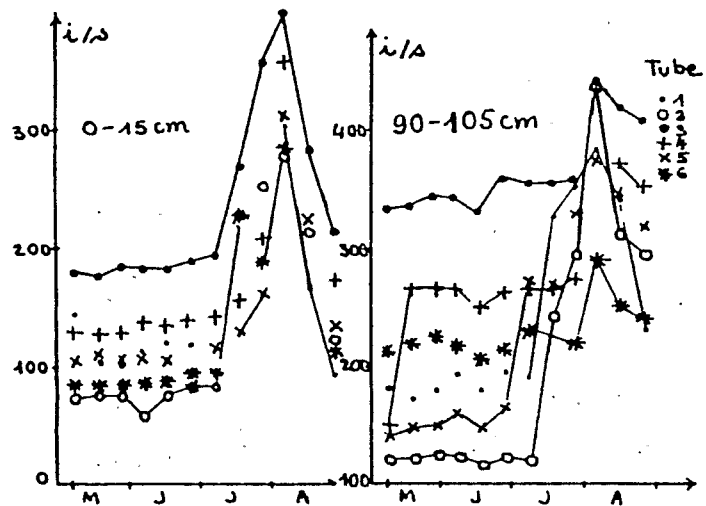


Figure 3 - Evolution de la teneur en eau du sol (i/s) en milieu concrétionné

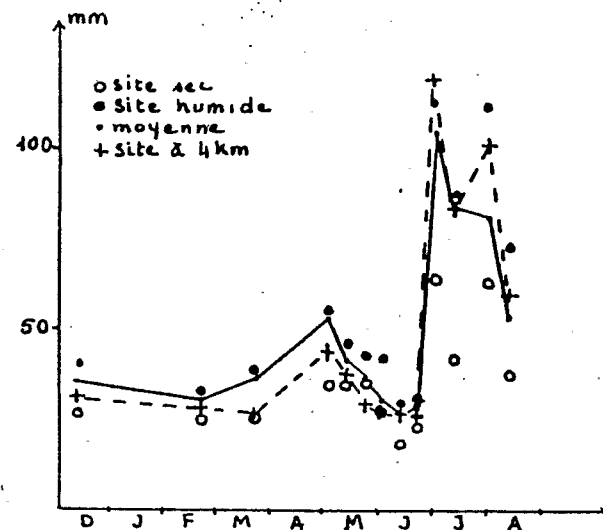


Figure 4 - Evolution de la dispersion intersite sur 4 km de distance

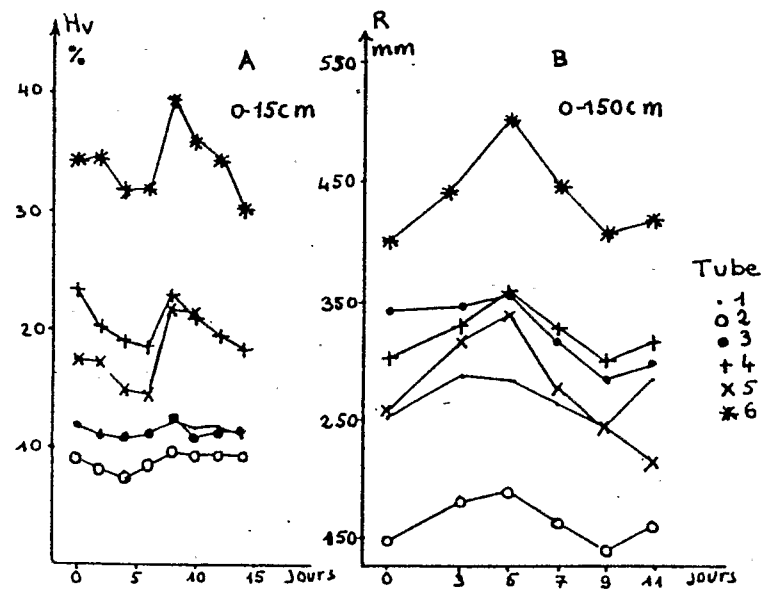


Figure 5 - Evolution de la dispersion de la teneur en eau (A) et de la réserve hydrique (B) mesurées tous les deux jours

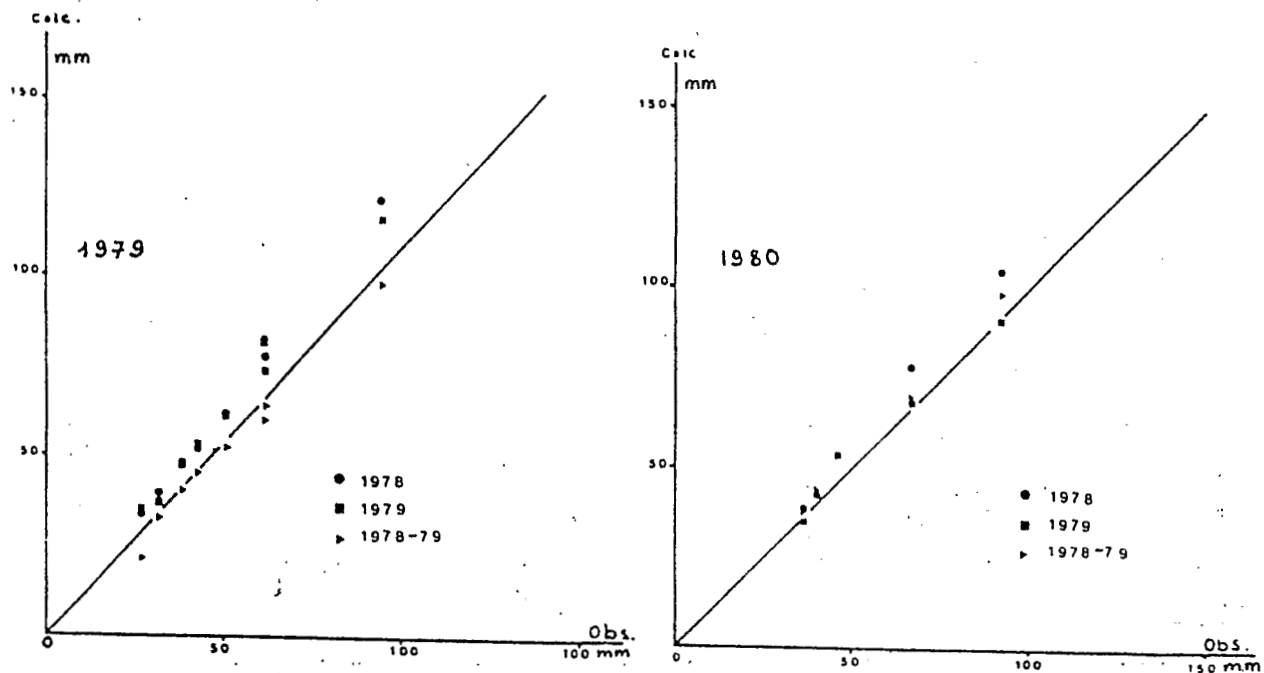


Figure 6 - Comparaison des valeurs de la réserve hydrique observées en 1979 et 1980 en milieu sableux, aux estimations par les régressions de 1978, 1979 et 1978-1979

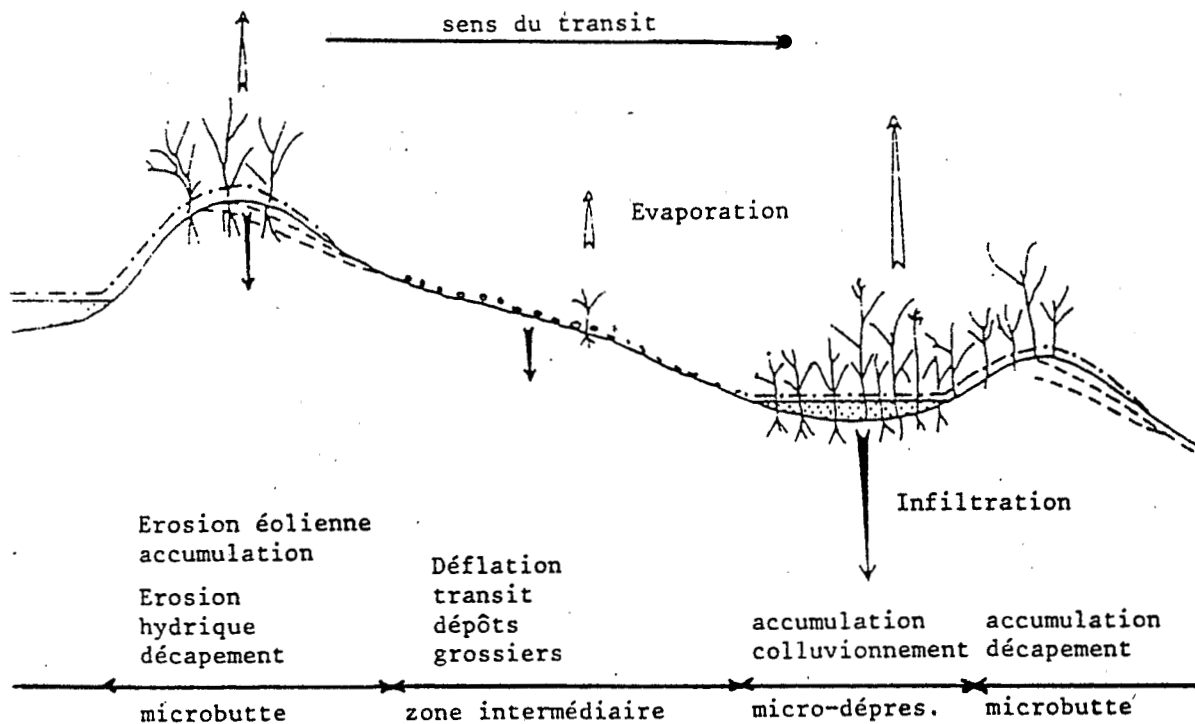


Figure 7 - Représentation schématique de l'évolution du microrelief de la surface du sol



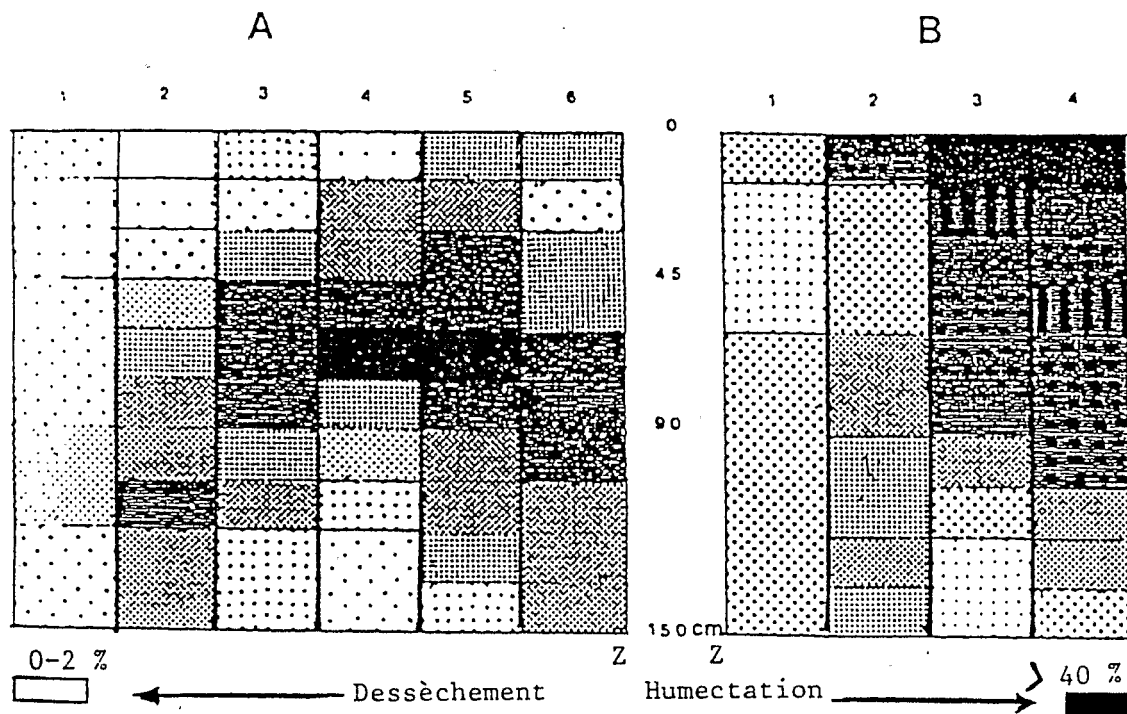


Figure 8 - Hétérogénéité spatiale du dessèchement et de l'humectation en milieu concrétionné

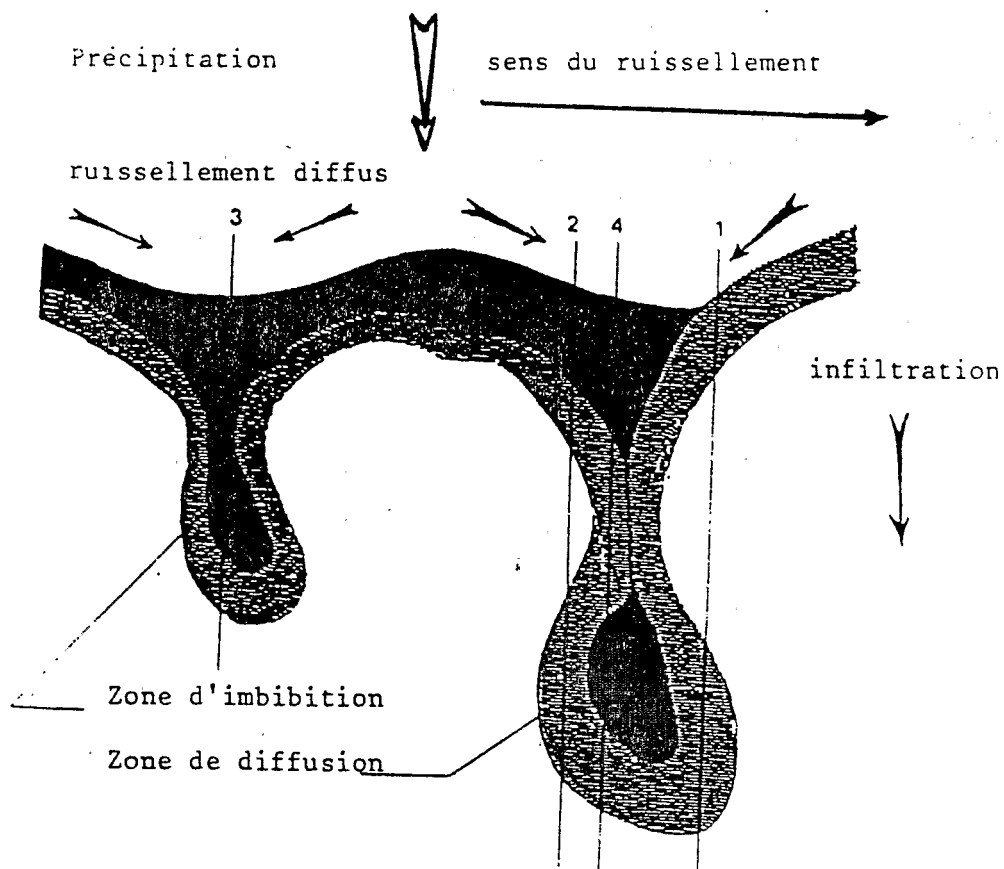


Figure 9 - Schéma de la dynamique d'humectation



VARIABILITE DE LA TENEUR EN EAU  
ET DE LA RÉSERVE HYDRIQUE  
DU SOL EN MILIEU SAHÉLIEN

II — ÉVOLUTION TEMPORELLE  
DE LA DISPERSION SPATIALE

SIMPLIFICATION DU RÉSEAU INITIAL DE MESURE  
ET SCHÉMATISATION DU FONCTIONNEMENT  
HYDRODYNAMIQUE

A.M. SICOT  
O.R.S.T.O.M.  
75008 PARIS

I.N.R.A. (détaché)  
Station d'Agronomie  
B.P. 12 — 31320 CASTANET-TOLOSAN

**Mots clés**

Dispersion, corrélation intersite, dynamique de l'eau, sol, micro-relief, échantillonnage, semi-aridité, Sahel, Haute-Volta.

1 AVRIL 1985

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 17.229

Cote : B

43