

Mesure de la teneur et des transferts hydriques en milieu Sahélien. Difficultés rencontrées dans les sols du bassin versant de la Mare d'Oursi, en Haute-Volta.

A.M. SICOT

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

N° : 15807

Cote : B

CENTRE ORSTOM DE OUAGADOUGOU  
LABORATOIRE D'AGRONOMIE  
HAUTE-VOLTA

Dans toute recherche à caractère écologique, les observations et mesures doivent être, d'une part, représentatives du matériel et des phénomènes étudiés, d'autre part, cohérentes sinon homogènes afin de permettre l'interprétation des faits. Lorsque les résultats sont de portée générale, ces mesures souvent ponctuelles doivent être, en outre, extrapolables à des surfaces étendues et des aires disjointes. Toutes ces exigences sont rarement pleinement satisfaites et les compromis auxquels on aboutit, en tenant compte des objectifs et des moyens disponibles, sont souvent grossiers. De nombreux dispositifs expérimentaux implantés en milieu soit disant homogène et représentatif, ne visent en réalité, que l'homogénéité et la cohérence des mesures.

Il en va tout autrement pour l'étude du cycle de l'eau et du bilan hydrique, entreprise à l'instigation de la DGRST dans le "projet mare d'Oursi". Ce programme de recherches pluridisciplinaires qui s'est déroulé dans le bassin versant de la Mare d'Oursi, au Sahel voltaïque, avait pour but de rassembler des données objectives de production végétale pour réajuster la charge en bétail, aux ressources fourragères. L'eau, facteur limitant, étant considérée comme variable explicative de la production primaire, les données d'humidité, de réserve et de bilan hydriques devaient impérativement satisfaire aux critères de cohérence et de représentativité. Le présent document expose les difficultés rencontrées dans la collecte de ces données par neutronométrie et leur intégration à différentes échelles, ainsi que les techniques et méthodologies mises en oeuvre ou à envisager pour surmonter ces difficultés.

## I - LE MILIEU NATUREL

### 11 - LE CLIMAT

Le climat hyperthémique se caractérise essentiellement par huit à neuf mois de sécheresse rigoureuse. Les 350 à 450 mm de pluies orageuses sont déficitaires par rapport à l'évapo-transpiration potentielle, qui dépasse 2000mm.

### 12 - LES SOLS ET LES CARACTERISTIQUES HYDROPEDOLOGIQUES

Le bassin versant de la mare d'Oursi qui s'étend sur 60.000 hectares est un ensemble complexe de bassins élémentaires s'ordonnant en arêtes de poisson, autour des lits plus ou moins encaissés des cours d'eau temporaires. L'hétérogénéité du milieu physique s'enregistre dès le substrat géologique schématisé à la figure 1, où l'on note des disparités géologiques, géomorphologique, pédologiques, phytosociologiques multiples. Dans les sols généralement profonds, la circulation et la répartition de l'eau, sont perturbées, en surface, par les éléments du microrelief: micro-buttes, microdépressions ... et à l'intérieur du profil par un réseau plus ou moins dense de fissures plus ou moins larges et profondes.

Une attention particulière est à portée à la teneur en montmorillonite, principal constituant des argiles. Le gonflement de la montmorillonite occasionne le ruissellement de l'eau par encroûtement ou imperméabilisation du profil, la fissuration

de celui-ci et plus généralement la variation de ses caractéristiques hydro-pédologiques: variation de la porosité, de la densité, de la perméabilité, de l'humidité ... en fonction de l'état de gonflement et selon que l'eau emprunte les macropores et fentes de retrait ou les micropores de plus en plus réduits de l'argile s'humectant. La détermination de ces paramètres est par suite mal aisée et les données recueillies peu précises sinon artificielles. Nous voulons pour preuve, l'établissement de la courbe des teneurs en eau du sol aux différents pF. Les résultats de deux laboratoires A et B utilisant la même technique d'extraction de l'eau sous pression au travers de plaques de porcelaine hémiperméables sont reportés au tableau 2. Ils diffèrent nettement et sont sans rapport avec la capacité au champ mesurée in situ.

Ces divergences s'interprètent par référence au gonflement des argiles smectiques entrant dans la composition du matériau. Suivant le schéma de la figure 2, due à HÉNIN (HENIN, 1969), l'humectation s'accompagne d'augmentation du volume apparent et de modifications des caractéristiques hydrodynamiques: la densité apparente diminue, la porosité augmente, la capacité de rétention maximale qui occupe traditionnellement la microporosité arrive à dépasser la porosité totale ... Etant donné l'élasticité du réservoir, la tension de rétention hydrique ne dépend plus seulement de la quantité d'eau retenue, mais aussi de l'état de gonflement du substrat. Les résultats des laboratoires A et B diffèrent par défaut de contrôle de l'état de gonflement, lequel varie vraisemblablement d'un échantillon à l'autre. Quant à la capacité au champ, sa valeur réelle est inférieure aux déterminations effectuées au laboratoire en raison des contraintes limitant le gonflement des couches du sol au sein du profil. Ce phénomène est masqué dans la dune par l'hydromorphie provoquée par une discontinuité géologique dans le profil, la surface de contact entre deux ergs d'âges différents, dont la superposition constitue l'ensablement régional.

Autre exemple, la densité apparente sèche du sol varie de 10%, selon que la mesure est effectuée sur motte sèche ou sur carotte cylindrique humide. Il s'en suit que l'évolution des paramètres du sol en fonction de l'humidité devrait faire l'objet d'études méthodologiques et que dans la mesure du possible toute détermination est à effectuer in situ, à l'aide de techniques contrôlant tout au moins le gonflement de la fraction argileuse. Les déterminations de la densité par prélèvement au cylindre, de la perméabilité et de l'infiltration par simulation de pluies et mesures du ruissellement et du bilan hydrique, des flux hydriques par tensiométrie et traçage de radioéléments sont à envisager dans cet esprit.

### 13 - LA VEGETATION

La végétation qui intègre les disparités physiques est une steppe arbustive très ouverte où dominent des graminées en strate herbacée et des épineux du genre accacia en strate ligueuse. Du niveau le plus bas au plus élevé de l'échelle d'organisation phytosociologique, on distingue: les plages de sol nu ou couvert d'une végétation plus ou moins dense formant une mosaïque de faciès, (GROUZIS 1979), de 23 groupements végétaux selon l'inventaire agrostologique de TOUTAIN, (1976).

La production primaire étroitement liée au bilan hydrique et à

4

sa variabilité spatiale, (SICOT 1980) est en moyenne de 1 tonne de matière sèche à l'hectare. Elle varie de moins de 0,5t/ha dans les glacis à plus de 3t/ha en bas-fond. Les groupements hydrophiles de la mare produisent environ 7t/ha de matière sèche, (SICOT 1976, LEVANG 1977, GROUZIS 1979).

## II - MATERIEL ET METHODES

En conclusion, le milieu naturel du bassin est d'une complexité et d'une hétérogénéité peu ordinaires. Fort heureusement, la figure 1 le prouve, il existe une organisation toposéquentielle perceptible à différents niveaux. C'est sur cette base que se fonde la méthodologie de l'échantillonnage du bassin, de la localisation des sites d'étude, de l'élaboration et de l'implantation du dispositif de mesures, de l'interprétation de celles-ci et de leur intégration dans l'espace et le temps, (cf. le tableau 3).

### 21 - LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Il comprend:

. un dispositif dit stationnel pour l'ensemble du bassin (figure 3), de 30 à 40 sites de mesures, échantillonnant 14 des 23 groupements végétaux pour estimer globalement le bilan hydrique et la production végétale annuels,

. un dispositif parcellaire (figure 4), composé de neuf parcelles clôturées de 100 m x 100 m: deux en sable dunaire, un en sable de piemont, deux en glacis limono-argileux, un en bas-fond argileux et deux en pediment de texture grossière. Dans le but d'analyser le bilan hydrique et la liaison biomasse-bilan hydrique, on y mesure, à l'échelle décadaire ou journalière: la pluviométrie, les fluctuations de la réserve hydrique du sol, l'évapotranspiration potentielle (formule de PENMAN), et le ruissellement par diverses méthodes, dont l'hydrologie superficielle de bassins versants.

### 22 - MODALITES DE LA MESURE NEUTRONIQUE DE L'HUMIDITE DU SOL

Les profils hydriques au nombre de cinq ou six par parcelle sont relevés à l'aide d'un humidimètre Solo de 10 mCi. Les mesures distantes de 15 cm à partir de la surface du sol sont exécutées jusqu'à 2,50 - 3,60 m de profondeur en milieu sableux et à 1,50m dans les autres milieux. L'appareil a été étalonné en chaque sol, directement, in situ, en couplant des comptages neutroniques à des déterminations gravimétriques pendant 4 à 5 mois et indirectement aux bans neutroniques de Cadarache et du centre ORSTOM d'Adiopodoumé, en déterminant les paramètres d'absorption et de diffusion du sol, (SICOT 1979). Des résultats consignés au tableau 4, il ressort que deux droites d'étalonnage, une pour la couche superficielle 0-15cm et une autre pour le reste du profil, suffisent pour la plupart des sols. Ces droites diffèrent notablement, en milieu argileux par l'ordonnée à l'origine, nettement plus élevée en étalonnage direct et dans tous les milieux, dans les couches proches de la surface du sol où les deux coefficients sont plus petits en étalonnage direct, en milieu sableux surtout.

L'inadaptation de la méthode neutronique à l'étalonnage de l'humidimètre en surface, l'incidence plus importante de l'erreur sur la mesure de la densité dans la méthode gravimétrique expliquent généralement ces divergences. Mais il est possible d'après nos échanges au cours du séminaire avec d'autres chercheurs, que la méthodologie de l'étalonnage par voie neutronique soit à mettre en cause, notamment en milieu argileux. Quoi qu'il en soit, l'étalonnage de l'humidimètre est entâché d'une certaine indétermination qui se répercute sur la mesure de l'humidité absolue et il se confirme que toute détermination doit s'effectuer in situ, en raison des modifications des propriétés hydrodynamiques des matériaux du sol en fonction de son état hydrique. L'erreur due à l'étalonnage de l'instrument est minimisée en commençant le bilan au démarrage du cycle végétatif, au moment où dans le sol suffisamment humecté les fissures se sont renfermées. Le diamètre de la sphère d'influence de la sonde à neutrons varie de 30cm en sol argileux humide à 1m, en sol sableux très sec. Ces dimensions sont de l'ordre de grandeur de la maille des discontinuités du microrelief, d'où l'importance du positionnement du site de mesure.

III - RESULTATS

31 - COMPORTEMENT HYDRIQUE DES SOLS DU BASSIN

Les données recueillies permettent de discriminer trois milieux types différant par le comportement hydrique des sols.

311 - LES MILIEUX SABLEUX

Dans ces milieux, (figure 5), la perméabilité du substrat permet l'absorption de l'eau des précipitations sans ruissellement superficiel. Les phénomènes hydriques d'infiltration, de ressuyage et de dessèchement s'y déroulent suivant les processus classiques décrits par FEODO ROFF, (FEODO ROFF 1962, 1965).

Des gains ou des pertes d'eau peuvent survenir par remontées capillaires ou drainage profond ou/ et latéral dans le profil. L'estimation correcte des transferts et du bilan hydriques requiert au même titre que la mesure de l'humidité du sol, la mesure des flux hydriques par tensiométrie, psychrométrie ou celle du drainage en case de drainage.

312 - LES MILIEUX ARGILO-LIMONEUX

L'infiltration d'origine texturale y est lente et peu profonde jusqu'à 15 à 30 cm en moyenne, 45 cm sous immersion prolongée en bas-fond, (figure 6). Rapidement l'argile engorgée, laisse ruisseler jusqu'à 50% de l'eau des précipitations. Les macropores et fentes de retrait, se comportant comme la surface du sol, augmente modestement la pénétration de l'eau. Le front d'humectation est une surface irrégulière prolongée par un réseau de conduits engorgés entourant des monolithes totalement secs. Le dessèchement est souvent bloqué par la formation d'une croûte superficielle. Les fluctuations de l'humidité des fissures, intégrées dans la sphère d'influence de la sonde à neutrons, peuvent faire croire à l'existence de flux hydriques

profonds intéressant l'ensemble du profil. Le drainage latéral est possible par travers le réseau de fissures. Son estimation par des mesures tensiométriques ou psychrométriques est impossible étant donné les changements physiques et les déplacements du substrat, mais des techniques de mesures de drainage utilisant des dispositifs du type case Erlo, (ROOSE, 1968), peuvent être utilisées.

### 313 - LES MILIEUX COMPLEXES A TEXTURE GROSSIERE

La couche superficielle est généralement battante et imperméable dans ces milieux. Mais cette barrière traversée, par infiltration normale ou par les fissures, l'eau rencontre un milieu à matrice grossière, très poreux, où elle s'infiltré jusqu'à la roche-mère. Là, elle s'accumule dans les excavations ou circule sur la surface de contact. Le profil hydrique est très hétérogène, le sol pouvant s'humecter soit uniquement par infiltration à partir de la surface, soit par remontées capillaires, (figure 7). Le contrôle du drainage et des flux hydriques pour l'établissement du bilan, par les méthodes et techniques courantes est impossible à cause de l'hétérogénéité extrême du substrat et des écoulements hypodermiques. Il n'y a guère que la technique de mesure des flux par marquage radioactif de l'eau qui, si elle s'avère quantitative, permettrait de surmonter ces difficultés. Mais d'ores et déjà, la présence d'eau libre en profondeur pose de sérieux problèmes à la détermination de l'humidité par voie neutronique.

### 32 - LE PROFIL HYDRIQUE DES SOLS DU BASSIN

Les figures 5, 6 et 7 illustrent la dispersion spatiale de l'humidité du profil pédologique en milieux sableux, argileux et graveleux. Dans tous les cas l'humidité est répartie de façon très hétérogène tout au long du profil. C'est la conséquence des phénomènes divers susmentionnés, auxquels s'ajoute l'effet de l'évapotranspiration variable suivant la présence ou l'absence d'une végétation plus ou moins dense. La teneur hydrique du sol pour être représentative dans ces conditions, ne peut être qu'approchée par des sondages de mesures aussi nombreuses que possible. Ces sondages devront être stratifiés suivant la méthodologie schématisée au tableau 3, en vue de leur intégration dans l'échelle spatio-temporelle.

Il est à noter l'intérêt que revêt la méthode neutronique de mesure de l'humidité dans un tel milieu. La répétition des mesures dans les mêmes sites permet de fixer l'hétérogénéité spatiale et de s'en abstraire pour saisir l'évolution temporelle des faits.

### 33 - LES TRANSFERTS HYDRIQUES DANS LES SOLS DU BASSIN

Les transferts hydriques mis en évidence par l'analyse des chroniques de relevés de profils hydriques sont variables, à la fois, par les quantités d'eau transférées, l'épaisseur de sol concernée et la vitesse des transferts. En ce qui concerne les quantités d'eau transférées, seule une fraction plus ou moins importante de l'eau des précipitations est disponible pour l'infiltration: la totalité des pluies annuelles dans les sables, 50% dans les

7

glacis argileux. Cette fraction subit une nouvelle redistribution au contact des discontinuités du micro-relief, ce qui rend extrêmement variable la quantité d'eau qui pénètre dans le profil. Par exemple, on voit à la figure 8 que l'averse du 13 Juin 1977 a occasionné l'infiltration de 47,0 mm d'eau sur 60-75cm, autour du tube 1 et 16,1 mm sur 30-45 mm, autour du tube 2. Respectivement, 22,1mm et 5,5mm d'eau ont été évapotranspirés au 20 Juin. L'infiltration s'arrête à 15-30cm en milieu argileux, mais elle peut dépasser 3,60m par moment en milieu sableux (figure 5). Par ailleurs, la figure 8 montre aussi que l'épaisseur de sol intéressant le transfert peut différer de 30cm pour une même lame d'eau, dans le même sol, en milieu sableux.

On peut conclure de ce qui précède à la fluctuation de la vitesse des transferts hydriques dans les différents milieux et dans un même sol, fait saillant à la figure 9. En effet, les différents profils hydriques illustrent manifestement la transmission en profondeur d'un épisode pluviométrique. On note que la perturbation est d'amplitude et de vitesse de propagation variables d'un tube à l'autre, même en tenant compte de la durée des mesures.

#### CONCLUSION

Le bassin versant de la mare d'Oursi présente de nombreuses disparités biophysiques qui permettent de distinguer trois milieux hydro-pédologiques types: les milieux sableux, argilo-limoneux et à matrice graveleuse. Ils opposent des difficultés spécifiques à l'analyse et à la quantification des phénomènes hydrodynamiques par neutrométrie.

Sur le plan théorique, parmi les difficultés rencontrées, on note:

- l'obligation de recourir à un certain nombre de mesures stratifiées dans les discontinuités influentes sur le bilan hydrique pour établir une valeur moyenne représentative du milieu.
- l'imprécision de l'étalonnage et des mesures qui en résultant, dans la majeure partie des sols possédant un fort taux d'argile gonflante.
- les limitations imposées à la détermination de l'humidité et des transferts hydriques par la présence de fentes de retrait ou d'eau libre dans certains milieux et à certaines époques.

Pour la quantification du bilan, il est souvent nécessaire d'associer à la mesure de l'humidité, l'évaluation du ruissellement superficiel et du drainage par des techniques appropriées.

Sur le plan technique, la mise en place des tubes de sondage est une opération délicate et difficile. Mais la difficulté majeure provient de la détérioration des humidimètres à neutrons utilisés régulièrement par des températures avoisinant 45°C à l'ombre. Les composants électroniques entrant dans la fabrication de ces appareils subissent un vieillissement prématuré néfaste à leur bon fonctionnement.

Ces problèmes et difficultés théoriques et techniques sont minimisés en milieu sableux et le bilan hydrique peut être établi à partir de la mesure de l'humidité du sol et des transferts d'eau dans le profil. Par contre, en milieu argileux, des progrès restent à faire, tant sur le plan de la connaissance théorique des faits liés au gonflement des argiles, que de la méthodologie et de la technologie des mesures.

x  
x x

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- GROUZIS M. 1979 - Structure, composition floristique et dynamique de la production de matière sèche de formations végétales sahéliennes (Mare d'Oursi - Haute-Volta). A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta) - DGRST-ORSTOM rapp. multigr. 56 p. fig.
- FEODOROFF A. 1962 - Ressuyage du sol et capacité de rétention pour l'eau. Ann. Agron. 1962, 13 (6), p. 523-547.
- FEODOROFF A. 1965 - Etude expérimentale de l'infiltration de l'eau non saturante. Thèse Ing. Doct. Univ. Paris 90 p.
- LEVANG P., GROUZIS M. 1980 - Méthodes d'étude de la biomasse herbacée des formations sahéliennes: application à la mare d'Oursi, Haute-Volta. Acta Oecologia Oecol. plant. 1980, vol 1, (15) n° 3, p. 231-244.
- ROOSE E. J. - Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans le sol en place. Cah. ORSTOM, ser. pédol., 2 p. 235-249.
- SICOT M. 1976 - Evaluation de la production fourragère herbacée. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta) - DGRST - ORSTOM, rapp. multigr. 45 p. annexes.
- SICOT M. 1978 - Cycle de l'eau et bilan hydrique dans les écosystèmes types du bassin versant de la mare d'Oursi (Haute-Volta). Analyse préliminaire des données recueillies en milieu sahélien. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta) - DGRST - ORSTOM, rapp. multigr. 75 p. annexes.
- SICOT M. 1979 - Etalonnage de l'humidimètre Solo dans les sols sahéliens du bassin versant de la mare d'Oursi, (Haute-Volta). A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta) - DGRST - ORSTOM, rapp. multigr. 24 p. fig.
- SICOT M. 1980 - Déterminisme de la biomasse et des immobilisations minérales de la strate herbacée des parcours sahéliens. Cah. ORSTOM, sér. biol. n° 42, 1980, p. 9-24.
- TOUTAIN B. 1976 - Carte des ressources fourragères au 1/50.000e - Carte et notice, A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan - Rapp. multigr. 61 p.

SOIL MOISTURE AND WATER FLUX MEASUREMENT IN SAHELIAN  
COUNTRIES BY THE NEUTRONIC METHOD. SOME DIFFICULTIES  
OF MARE D'OURSIS CATCHMENT'S SOILS.

---

RESUME

In order to adjust livestock grazing to fodder resources, the balance of water, the most limiting factor of primary production as been studied in "Mare d'Oursi" catchment, in Upper Volta. This area is very heterogenous and saying nothing of the rocky soils, there are three main types of medium owing to their hydrodynamic behaviour: sandy, loamy, and coarse-textured media. They show many disparities in hydrological phenomena, large variations in rainfall space and temporal distribution, in soil and vegetation features, notably about water permeability and deep infiltration in the profile and evapotranspiration, for exemple.

There are great difficulties to get data under these circumstances, but the essential of these difficulties mainly results from the fine elements of the soil texture which are dominated by swelling clay. There by, the hydro-pedological properties of the pedological substratum such as bulk density, porosity, permeability, field moisture capacity ..., vary as functions of soil water content and the different measures lack of accuracy. It can be noted, chiefly, the lack of precision in the calibration of the neutron probe which is used to measure soil moisture and soil water-reserve variations. To establish the water balance of the ecosystems studied, avoiding the difficulties not any factor can be ignored in the water budget equation. For any factor, rainfall, runoff, drainage, soil water-reserve variation, it is necessary to compute the averages of measures as numerous as possible, sampled according to the catchment ecological (geomorphological, phytosiological...) organisation, and use methods and measuring technics taking into account the variations of soil characteristics with the water content.

## RESUME

Le bilan hydrique de l'eau, facteur limitant de la production primaire en milieu sahélien a été étudié dans le bassin versant de la Mare d'Oursi, en Haute-Volta, dans le but de réajuster la charge en bétail, aux ressources fourragères.

Le milieu physique très hétérogène et disparate oppose par la variabilité de ses caractéristiques et des phénomènes, de grandes difficultés à la collecte des données: variation de la distribution spatiale et temporelle de la pluie, des caractéristiques du sol et de la végétation, de la pénétration et de la circulation de l'eau dans le sol, de l'évapotranspiration ... Les mesures sont rendues plus difficiles par le gonflement de la montmorillonite composant majeur des argiles du substrat pédologique, source d'indétermination des caractéristiques hydrodynamiques, de la capacité au champ, en particulier et d'imprécision sur l'étalonnage de l'humidimètre à neutrons et les résultats des mesures d'humidité et de flux hydriques ... Dans l'équation générale du bilan hydrique aucun des termes: pluviométrie, ruissellement, drainage, variation de la réserve hydrique du sol, évapotranspiration, ne peut être négligé.

Leur détermination implique l'établissement de valeurs moyennes de mesures aussi nombreuses que possible; stratifiées selon l'organisation du milieu et exécutées en utilisant des méthodes et techniques de mesures tenant compte de l'existence de certains phénomènes: drainage oblique, écoulement hypodermique et des fluctuations de certaines variables en fonction de l'état hydrique du matériau.