

des terres, la dimension et les implications socioculturelles des recommandations faites par les experts. Ceci commence à être de mieux en mieux perçu. La Banque Mondiale a consacré récemment une étude sur "les ressorts psychologiques des décisions économiques en Afrique". N'est-ce qu'en Afrique ? Est-ce bien pris en compte dans les recommandations faites au développement agricole ?

Cette même expérience nous conduit enfin à souligner que bien gérer la fertilité suppose de bonnes données et analyses scientifiques. On ne saurait trop insister sur le besoin de sites expérimentaux durables et suivis, comme lieux de rencontre et de formation privilégiés pour tous ceux qui, directement ou indirectement, sont concernés par la gestion de la fertilité. Dans des régions et des situations agricoles aussi diverses que les cerrados brésiliens, la savane ivoirienne, les hauts de la Réunion, des dispositifs expérimentaux impliquant directement chercheurs, paysans et vulgarisateurs indiquent une voie possible (7).

D'autres expériences associant recherche et ONG locales tracent également d'autres voies prometteuses.

La recherche agronomique française a ainsi une expérience et un savoir faire à la disposition des pays tropicaux qui souhaitent s'engager dans la voie d'une intensification raisonnée tout en préservant leur patri-moine foncier. Une intensification qui "aménage et ménage", comme celle que préconisait Olivier de Serres il y a 400 ans aux paysans français.

- (1) BERTRAND R., KILIAN J., RAUNET M., GUILLOBEZ S., BOURGEON G., 1985 La connaissance des systèmes de paysages naturels, un préalable à la protection du milieu. L'approche morphopédologique. Bull. Rech. Agron. Gembloux, 20 (3-4) : 545-559.
- (2) DOMMERGUE Y., DIEM H.G., GANRY F., 1979 The effect of soil microorganisms on plant productivity. In : MONGI H.G., HUXLEY P.A., eds. Soils research in agroforestry. Nairobi, ICRAF, p. 205-241.
- (3) GANRY F., 1990 Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche. Thèse doctorat d'Etat. Sciences naturelles, Univ. Nancy-I, 355 p.
- (4) PIERI C., 1989 Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la Coopération et du Développement et CIRAD, Paris, 444 p.
- (5) REYNIERS F.N., FOREST F., 1988 Improving the water supply and its efficiency in sub-saharan African rainfed agriculture. In : Irrigated agriculture in Africa.
- (6) SEBILLOTTE M., 1982 Fertilité du milieu et agriculture. Bull. Tech. Inf., 370-372 : 331-333 (numéro spécial "Fertilité du milieu et agriculture").
- (7) SEGUY L., BOUZINAC S., PIERI C., 1991 An approach to the development of sustainable farming systems. Proceedings of the international Workshop on "Evaluation for sustainable Land management in the developing world". Chiang Rai, IBSRAM, Bangkok, Thaïlande, in press.
- (8) TOURTE R., 1977 Traditional african systems of agriculture and their improvement. In : Foodcrops of the lowlands tropics. Oxford University Press, Oxford, 345 p.
- (9) TRUONG B., FAYARD C., 1987 Proposition d'une filière d'engrais au Burkina Faso à base de phosphate naturel de Kodjan, partiellement solubilisé. Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, Ouagadougou et Ministère de la Coopération Française, Paris. CIRAD/RAT/DRN E.A. n-2.

Etats de surface et gestion de l'eau

Les modèles de bilan hydrique et d'érosion doivent impérativement prendre en compte les états de surface, à savoir : la végétation, la rugosité du sol et la présence de croûtes à la surface du sol.

Christian Valentin

Pédologue, ORSTOM, B.P. 11416, NIAMEY, NIGER

Seule une partie de l'eau qui tombe sur le sol s'y infiltre, une partie reste en surface et s'évapore, une partie enfin ruisselle, favorisant ainsi l'érosion. Etre capable de prévoir cette répartition constitue un enjeu majeur pour la gestion de l'eau. Quels facteurs interviennent ? Bien sûr, les propriétés du sol,

au reste les mieux étudiées : sa granulométrie plus ou moins argileuse et sa porosité. En fait, les modèles fondés uniquement sur ces caractères pédologiques demeurent inopérants. Ce sont en effet les "états de surface" qui conditionnent, en premier lieu, l'infiltration, le ruissellement ou la détention de l'eau dans des flaques.

Il s'agit de la végétation et de la surface du sol proprement dite. Cette dernière se ca-

ractérise par sa rugosité, sa dureté et sa porosité. En particulier, l'existence de croûtes à la surface du sol limite considérablement l'infiltration de l'eau et les échanges gazeux. Ces croûtes peuvent également empêcher la levée des semences et stériliser ainsi des étendues de terres plus ou moins grandes. Un tel processus de dégradation de la surface du sol intervient non seulement dans les zones arides, mais quasiment partout où la végétation ne protège plus la terre de l'impact des gouttes de pluie.

Un grand programme concernant l'influence de ces états de surface sur l'infiltration, le ruissellement et l'érosion a été lancé voilà plus de dix ans par l'ORSTOM dans neuf pays africains, de la Tunisie au Congo,

ainsi qu'au Brésil et au Mexique. Il a largement fait appel à des techniques de simulations de pluies menées sur des parcelles de 1 et 50 m².

Des implications hydrologiques, agronomiques et écologiques

De ce programme est issue une typologie simple d'états de surface, fondée sur un nombre réduit de types de croûtes superficielles (6), sur l'activité faunique (termites et vers) et sur la porosité vésiculaire. A chacun des onze grands types identifiés, correspondent les principaux paramètres nécessaires à la modélisation hydrologique.

Une méthode originale de cartographie des bassins versants a été développée pour prendre en compte la variabilité spatiale des états de surface. Elle a permis, particulièrement dans les régions arides et semi-arides, d'améliorer considérablement la simulation des écoulements, l'évaluation des crues de fréquence rare, et la transposition des résultats à des bassins non équipés. Si les états de surface contrôlent en grande partie l'infiltration et le ruissellement, ils interviennent également sur l'évaporation.

Des études sont actuellement menées au Niger, dans le cadre du programme HAPEX-Sahel, pour quantifier cet effet non seulement au niveau de la parcelle, ou du ver-

sant, mais à celui de l'ensemble d'un degré carré. Le levé d'une carte à 1/200 000 de ces états de surface, à partir de relevés de terrain et de données satellitaires, devrait faciliter l'extrapolation des autres paramètres du bilan hydrologique.

La prise en compte des états de surface permet également d'introduire, dans les modèles de bilan hydrique, le ruissellement, terme souvent négligé car difficile à mesurer alors qu'il peut représenter jusqu'à 30, voire 50% de ce bilan. Il est ainsi fréquent qu'à l'aridité due à la faiblesse et à la mauvaise distribution des pluies, se surajoute celle qu'entraînent l'encroûtement superficiel des sols et l'imperméabilisation qui en résulte. La possibilité qu'offre la typologie des états de surface de déterminer plus précisément les ressources en eau, effectivement disponibles pour les cultures, intéresse, en tout premier lieu, les agronomes partenaires de l'ORSTOM et ceux du CIRAD. Une collaboration étroite s'est ainsi instaurée entre différentes institutions, au Sénégal, au Burkina Faso et au Mali, notamment sous l'égide du programme R3S financé par la CCE.

Enfin, en sus de leurs variations spatiales, traduites en termes cartographiques, il convient de suivre les variations des états de surfaces dans le temps. Or, chaque type d'état de surface, recensé dans la typologie, peut être resitué dans une chaîne évolutive. Dès lors, la caractérisation des états de sur-

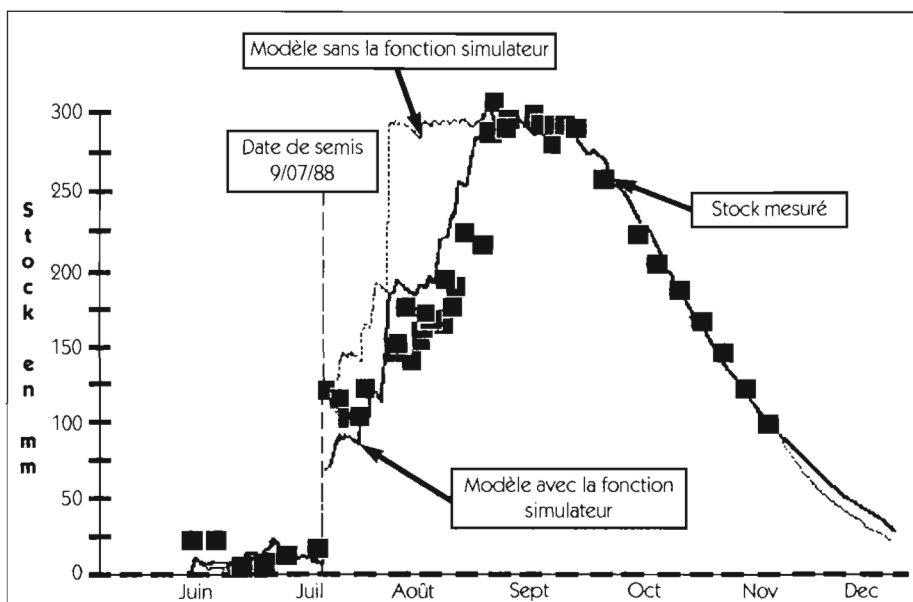


Etat de surface d'un champ de mil à proximité de Niamey (Niger) Bien que très sableux (5% d'argile, 6% de limon, 89% de sable), ce sol génère un important ruissellement, responsable des inondations fréquentes de la ville d'Agadez (Niger). Les croûtes gravillonnaires et d'érosion (au premier plan) empêchent la levée du mil et provoquent un important ruissellement. Le mil ne parvient à se développer que sur les microbuttes sableuses non encroûtées, là où l'eau de pluie peut s'infiltrer.

face permet non seulement un diagnostic de dégradation du milieu (sol et végétation) en fonction des différentes contraintes subies (climats, surpâturage, déforestation, réduction de la durée de la jachère, ...) mais aussi l'élaboration de scénarios à partir de différentes hypothèses quant aux évolutions de la pluviométrie, de la démographie et des systèmes de production.

On comprend ainsi toute l'importance que revêtent la caractérisation et le suivi des états de surface dans le programme SALT "Savanes à Long Terme". Celui-ci doit déboucher sur des modèles de fonctionnement et d'évolution des savanes de l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, à partir de neuf sites répartis depuis la frange forestière en Côte d'Ivoire jusqu'aux confins sahariens au Mali, et des régions océaniques au Sénégal jusqu'aux zones continentales au Niger.

Interfaces entre la géosphère, la biosphère et l'atmosphère, les états de surface constituent un thème de recherche fortement fédérateur. Leur caractérisation a déjà conduit à des progrès importants, tant pour les méthodes que pour les résultats des études de l'environnement orientées vers le développement.



Légende de la figure :

Exemple d'amélioration d'un modèle de bilan hydrique du sol sous culture de mil au Mali par l'introduction du terme de ruissellement évalué par la typologie des états de surface (*"modèle simulateur"), d'après Albergel et al. (1991).

Glossaire

Porosité vésiculaire : pores fermés, plus ou moins sphériques, correspondant à l'emprisonnement de gaz. Leur présence dans les premiers millimètres de la surface du sol constitue un excellent indicateur de faible diffusivité des fluides.

Degré carré : aire comprise entre deux méridiens et deux parallèles.

(1) **Albergel (J.)**, 1987. Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du m² au Km² étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse doct Univ Paris VI, ORSTOM, Collection "Etudes et Thèses", 336 p.

(2) **Albergel (J.), Valentin (C.)**, 1991. "Sahélisation" d'un petit bassin versant : Bousisa-Koghner au centre du Burkina Faso, in : J. F. Richard (Edit), Dégénération des Paysages en Afrique de l'Ouest. Minécoop Paris/Presses Universitaires de Dakar, pp. 119-133.

(3) **Albergel, J., Perez, P. and Vacksmann, M.**, 1991. Amélioration des modèles du bilan hydrique sur parcelle par la prise en considération des états de surface. In : Soil water-balance in the Sudano-Sahelian zone. International Association of Hydrological Sciences, Publication No. 199 : 483-496.

(4) **Casenave A., Valentin C.** 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Collection "Didactiques". 230 p.

(5) **Casenave A., Valentin C.** 1991 A runoff capability classification system based on surface features criteria in the arid and semi-arid areas of West Africa, soumis pour publication au Journal of Hydrology. 20 p.

(6) **Casta P., Chopart J.L., Janeau J.L., Valentin C.** 1989. Mesure du ruissellement sur un sol gravillonnaire de Côte d'Ivoire après 6 ans de culture continue avec ou sans labour Agronomie Tropicale, 44 (4), 255-262.

(7) **Chevallier P.** 1986. Simulation de pluie, télédétection, modélisation. Exemple de la Mare d'Oursi - Burkina-Faso. Journées Hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Coll. ORSTOM Colloques et Séminaires, pp. 90-104.

(8) **Collinet J.** 1988. Comportements hydrodynamiques et érosifs de sols de l'Afrique de l'Ouest. Evolution des matériaux et des organisations sous simulation de pluies. Thèse, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 521 p..

(9) **Escadafal R.** 1989. Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection. Applications : exemple de la région de Tataouine (Tunisie). ORSTOM, Paris, Collection "Etudes et Thèses", 317 p.

(10) **Valentin C.** 1991. Assessing the space and time variations of the surface features and the cultivation profile. in : The Establishment of Experiments for the Management of Acid Soils. IBSRAM, Techn. Notes n°5, 105-128 p.

(11) **Valentin C.** 1991. Surface crusting in two alluvial soils of northern Niger. Geoderma. 48 : 201-222.

(12) **Van der Watt H.V.H., Valentin C.** 1991. Soil surface crusting in Africa. Advances in Soil Science, (in press).

Les eaux souterraines

Le développement durable est un concept qui a de très immédiates résonances avec les ressources en eau souterraine des PED : dans quelques pays arides, les seules ressources sont non renouvelables, donc non durables; ailleurs, les ressources sont renouvelables, mais parfois à un rythme modeste, dépendant des pluies efficaces; enfin, le renouvellement s'accompagne de sérieux risques de pollution, même si la ressource est abondante.

J.J. Collin

Chargé de Mission Recherche et Développement
Département Eau - BRGM

Nappes captives profondes et "fossiles" des bassins sédimentaires

La partie saharienne de l'Afrique et une partie importante de l'Asie comportent des bassins sédimentaires de roches poreuses dont l'extension, pour chacun, atteint des centaines de milliers, voire des millions de km² avec des réserves d'eau de milliards de milliards de m³. Ces volumes "astronomiques" sont cependant totalement inaccessibles

en tant que ressources : l'eau contenue étant récupérable uniquement par détente élastique, dans une très faible proportion du volume total. Le déclin de pression entraîne des conditions d'exploitation défavorables, le réservoir profond restant plein sans être pour autant capable de poursuivre sa production dans des conditions économiques. Ces nappes d'eau fossile sont des gisements éphémères, peu ou pas rechargés. Plusieurs Etats, avec des prélèvements annuels à buts agricoles dominants compris entre 1 et 10 milliards de m³ - soit des débits instantanés de l'ordre de centaines de m³/s (un fleuve en eaux moyennes) - ne disposent, au mieux, que de très peu de siè-

cles de réserves. L'économie de telles exploitations est donc semblable à celle des hydrocarbures : la rente financière pétrolière alimente l'agriculture en capitaux nécessaires aux pompes. La ressource en eau n'est pas plus durable que les moyens d'en financer l'exploitation !

La volonté de développer une agriculture fortement irriguée, avec objectif d'indépendance alimentaire, ne peut donc être envisagée que dans une perspective transitoire. L'enjeu est donc une optimisation des pompes qui peut s'exprimer en quantités produites et/ou en durée escomptée. Des outils ont donc été développés, en particulier la modélisation hydrodynamique qui permet la prédiction des évolutions de la charge et le choix des scénarios. Le couplage de ces modèles avec des outils d'aide à la décision sous contraintes est actuellement en cours.

Quoiqu'il en soit, le caractère épuisable, inéluctable, devra toujours être rappelé aux responsables des décisions, sachant qu'un usage limité à l'eau potable peut être comparé, pour un futur plus durable, à un épuisement rapide pour une production agricole immédiate.