

MODELISATION DES TRANSFERTS HYDRIQUES A L'ECHELLE D'UN PETIT BASSIN VERSANT DE LA ZONE SOUDANO-SAHELIENNE

F. GUILLET *, M. SERPENTIER **, J. L. SABATIER *

Résumé : Une modélisation des transferts hydriques à l'échelle d'un petit bassin versant est abordée en particulier sous l'angle de ses rapports avec un dispositif expérimental.

Le présent document est une introduction à la communication qui doit être faite en mars 1990 aux Journées UREF de Ouagadougou.

Mots clés : Expérimentation, modélisation, ruissellement, bassin versant, pédologie.

La gestion du ruissellement est une pratique très ancienne dans les milieux semi-arides du monde tropical. Si discrets soient-ils, ces aménagements réalisés par les paysans ont une fonction d'interception de l'eau à des fins multiples : diguettes poreuses permettant la lutte contre l'érosion ou une irrigation supplémentaire par laminage des eaux de l'impluvium, petits barrages dans les têtes de talweg visant à la "recharge" des puits et nappes de bas-fonds, terrasses, talus, drains...

Si les paysans ont une perception intuitive de leur espace, l'agronome ou l'aménageur confrontés à la gestion de l'eau s'appuient en général sur une représentation : fond topographique ou pédologique pour l'aménageur par exemple, systèmes de culture pour l'agronome. Le système de représentation peut être plus ou moins complexe et fait appel en général à l'état des connaissances sur les différents paramètres privilégiés des milieux, sur leur aptitude au ruissellement ou à l'infiltration (C. Valentin - Journées hydrologie, ORSTOM - sept. 85).

Ce système de représentation constitue un modèle, mais un modèle ne vaut que par son domaine d'utilisation.

1. POURQUOI UN MODELE DANS LE DOMAINE DES TRANSFERTS HYDRIQUES ?

Pour le chercheur, le modèle est également une représentation. Il constitue une étape essentielle dans sa démarche expérimentale (Sebillotte, 1988). Il permet la vérification pas à pas d'hypothèses non triviales plus sûrement que les méthodes statistiques comparatives.

Fonds Documentaire IRD



010024244

* IRAT / CIRAD, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France.

** ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier, France.

Fonds Documentaire IRD

Cote : Bx 24244 Ex : unique

étendu, la connaissance des variables pédologiques du modèle peut requérir l'emploi de banques de données telles que STIPPA (Bertrand, Legros, Falipou) utilisées par l'INRA, le CIRAD, l'ORSTOM et pour lesquelles on dispose de versions utilisables sur micro-ordinateur. Ces banques de données sont partie intégrante du système LOGOS ; système de cartographie chorologique. En définitive après utilisation de ces systèmes on est en mesure de fournir une représentation modélisée de la couverture pédologique et d'attribuer à chaque volume identifié des caractéristiques hydriques propres (Girard, 1983 ; King, 1987).

L'expérimentation consistera à disposer d'un nombre plus important de stations de mesures tensionométriques sur les unités physiographiques reconnues par F. Guillet en 1987 en collaboration avec l'ORSTOM (J.M. Lamachere, G. Serpantire).

Au regard des ententes entre l'ORSTOM et les entreprises locales, il sera peut-être possible d'implanter une dizaine de piézomètres dans le bassin versant pour le suivi des fluctuations de la nappe. L'ORSTOM bénéficie déjà sur les lieux de l'acquisition d'images SPOT et d'une couverture de photographies aériennes au 1/25 000 agrandissables au 1/10 000 qui nous permettent une bonne connaissance des états de surface, de leur évolution dans le temps et de l'extension des différents milieux (une étude sommaire à petite échelle ayant été effectuée par C. Valentin en 1986).

Au niveau de la parcelle, il est attendu du modèle une bonne adéquation entre les flux hydriques simulés et ceux à l'exutoire, entre stocks hydriques simulés et mesurés sous l'effet de différents paramètres de rugosité liés à l'itinéraire technique (labour, sarclages...) ou à des aménagements permanents (microrelief en terrasses, réseaux d'obstacles, fossés, drains...).

Au niveau du bassin, on vérifiera que les paramètres de toposéquence pris en compte conservent leur validité à cette nouvelle échelle et que les bilans permettent d'esquisser une approche régionale. On s'attachera également à une comparaison avec d'autres modèles (modèle couplé Girard-ORSTOM...).

2.2. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE BIDI (SERPANTIE, LAMACHERE, ORSTOM).

2.2.1. LES PARCELLES DE BIDI-SAMNIWEOGO

Dans le cadre du programme "Dynamique des systèmes agropastoraux en zone soudano-sahélienne" l'ORSTOM a monté à Bidi (Yatenga, Burkina Faso) un dispositif expérimental se fondant sur les modèles classiques de "parcelles d'érosion" mais orienté sur une problématique plus large de gestion des systèmes de culture le long d'une toposéquence. Les conditions de l'essai devaient donc suivre, d'une part les contraintes d'échelle (échelle du champ cultivé, soit la centaine de mètres), d'autre part les contraintes habituelles de milieu le long d'une toposéquence dans la région soudano-sahélienne (sols sableux chimiquement pauvres, gradients de profondeurs d'indurations, existence de ruissellements exogènes), enfin des systèmes de cultures existants ou appropriables.

Les objectifs de l'expérience sont d'obtenir, à l'échelle du champ cultivé, des références sur l'aptitude de différents systèmes de cultures à contrôler l'alimentation hydrique d'un peuplement du mil en fonction de contraintes et d'objectifs de production (réduction du risque de sécheresse, accroissement du potentiel de production). A partir de plusieurs années d'observations du

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT
EN COOPERATION

Montpellier, le

17/11/94

DOCUMENTATION

911, avenue d'Agropolis

B.P. 5045

34032 MONTPELLIER Cédex 01

Tél. : 67 61 75 19

Fax : 67 54 78 00

N/Réf : HH/1384

BORDEREAU DES PIECES ADRESSEES A :

E. MILLET
ORSTOM
BONDY

SOMMAIRE	NOMBRE DE PIECES	OBSERVATIONS
1 "troussaille" datant de 1989 : GUILLET, F., SERPANTTE, G., SABATIER, J.L. - Modélisation des transferts hydriques à l'échelle d'un petit bassin versant de la zone soudano-sahélienne	1	Pour l'exhaustivité du FDO !

fonctionnement de plusieurs parcelles mises en comparaison, on cherche deux séries de renseignements :

- des informations permettant d'améliorer la connaissance sur les transferts hydriques sur la parcelle cultivée (aspects qualitatifs, quantitatifs, transports solides) dans les conditions soudano-sahéliennes, et en particulier l'influence d'une certaine longueur de pente, des impluviums, et des aménagements permanents ou temporaires de l'état de surface (porosité, rugosité). On travaille essentiellement sur les thèmes du travail du sol, de la rugosité, des réseaux d'obstacles isohypses, filtrants et cloisonnés (cordons pierreux cloisonnés). Le but est de rechercher des interactions entre état du sol, états de la culture et climat (ETP, événement pluvieux) par analyses statistiques d'événements et constitution de bilans hydriques. Parallèlement, on progresse dans la connaissance des facteurs et conditions de l'élaboration du rendement d'une culture de mil et l'évolution des sols cultivés. L'ensemble doit permettre un nouveau regard sur l'adaptation des itinéraires techniques ;
- des données de "vérité terrain" afin d'améliorer la conception et de permettre le calage puis la validation de différents modèles informatiques de simulation des bilans hydriques, prenant en compte les reports d'eau par drainage et ruissellement, selon différentes approches.

Ce dispositif expérimental a été mis en place en 1985 et 1986 dans la parcelle d'un agriculteur du village de Bidi. il s'agit d'un ensemble de trois parcelles contiguës de même géométrie et de même terrain installées à mi-pente sur un terrain sableux profond. Elles sont hydrologiquement isolées par des tôles fichées en terre sur tout leur pourtour. Chaque parcelle mesure environ 150 m de long et 25 m de large, sur une pente de 2 à 3 % (fig. 2). Le tiers supérieur n'est pas cultivé. Son état de surface lissé et encroûté lui confère un rôle d'impluvium pour la partie cultivée, qui mesure 100 m.

Les systèmes de culture ne diffèrent d'une parcelle à l'autre que sur une seule modalité :

- parcelle témoin cultivée sur le modèle des champs paysans contiguës à l'essai ;
- parcelle équipée d'un réseau d'obstacles isohypses, filtrants et cloisonnés ;
- parcelle équipée du même aménagement mais bénéficiant en outre d'un travail du sol avant semis.

Chaque parcelle est équipée d'un dispositif adéquat de mesure des ruissellements sortants (quantité, qualité des eaux), de l'humidité des sols (réseau de tubes d'humidimètre neutronique) et d'un réseau de stations d'observations agronomiques (peuplement végétal, profils culturaux). Par ailleurs, les réactions du sol aux précipitations et les paramètres hydrodynamiques sont abordés sur stations de 1 m² par simulation de pluie et suivi tensiométrique et humidimétrique.

Le suivi de l'essai a été assuré sans interruption de 1985 à 1988. En 1989, les parcelles seront mises en jachère avec le même suivi de campagne. En 1990, on prévoit une remise en culture et une investigation plus fine sur l'organisation du ruissellement et le problème des hétérogénéités.

2.2.2. BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX

Parallèlement, un ensemble de bassins versants expérimentaux emboîtés est suivi par J.M. Lamachere depuis 1985. Le but est de relier les résultats de simulation de

pluie sur 1 m² au ruissellement mesuré sur des bassins versants de taille et de composition d'états de surface variées.

2.2.3. RESULTATS ACTUELS SUR LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE BIDI ET RESULTATS ATTENDUS

Si le travail du sol avant semis apparaît comme une technique apte à favoriser la mise en place du peuplement et de l'enracinement, ainsi que le stockage d'eau dans les horizons profonds du sol, ses effets pervers sur la lixiviation, sur la dégradation de certaines qualités structurales du sol et sur le risque érosif sont suggérés pour le système de culture étudié. (Lamachère, Serpantié, 1988).

D'autre part, l'analyse des composantes du rendement sur trois ans et des ruissellements sur 45 événements pluvieux met en évidence l'efficacité très variable d'un réseau d'obstacles isohypses filtrants et cloisonnés sur l'infiltration de pluies et d'un ruissellement entrant. Son efficacité apparaît statistiquement liée à l'état de surface du sol lors de l'averse, qui doit être rugueux et sec pour que l'on observe une amélioration de l'infiltration par rapport à la parcelle témoin. Le type d'averse joue un rôle secondaire. On relie en hypothèse ce phénomène aux "effets secondaires" des obstacles (modification des états de surface, organisation latérale du ruissellement) qui apparaissent en même temps que se dégrade l'état de surface moyen. Il y a donc des conditions à respecter pour atteindre l'objectif recherché : règles d'installation (cloisonnement latéral, respect de la courbe de niveau), règles pour l'itinéraire technique (maintenir un état de surface rugueux), règles d'entretien (reboucher les trous) (Serpantié, Lamarchère 1989).

Néanmoins l'extrapolation de ce type de résultat est difficile à d'autres types de sols moins aptes à l'infiltration. En l'absence d'autres expérimentations, les résultats attendus des modèles sont de simuler des alternatives de milieu, de gestion (type de réseau, écartement des obstacles, hauteur, porosité, rugosité) et ainsi d'enrichir la connaissance de ces pratiques et de leurs conditions de mise en oeuvre. Le modèle SOURCE apparaît en mesure de réaliser ces simulations.

3. PROGRAMME DE RECHERCHE ETALE SUR DEUX ANS

Au niveau de la parcelle, une campagne de mesure doit se continuer en 1990 (une deuxième thèse devant être mise en chantier sur le modèle, les méthodes d'instrumentation et les méthodes agronomiques).

Le bassin versant ayant été caractérisé et étant équipé, une nouvelle campagne permettra l'acquisition des données essentielles.

Sur le plan du développement du logiciel (8 900 lignes de code écrites en Pascal, 150 K) la maintenance a été jusqu'à présent assurée par notre équipe et une interface cartographique 2D-3D est en cours de réalisation. Elle permettra une utilisation souple au niveau du bassin versant et permettra d'optimiser les "obstacles" de surface à l'échelle du bassin.

La confrontation avec d'autres méthodes est essentielle, et également le calage sur d'autres sites opérationnels.

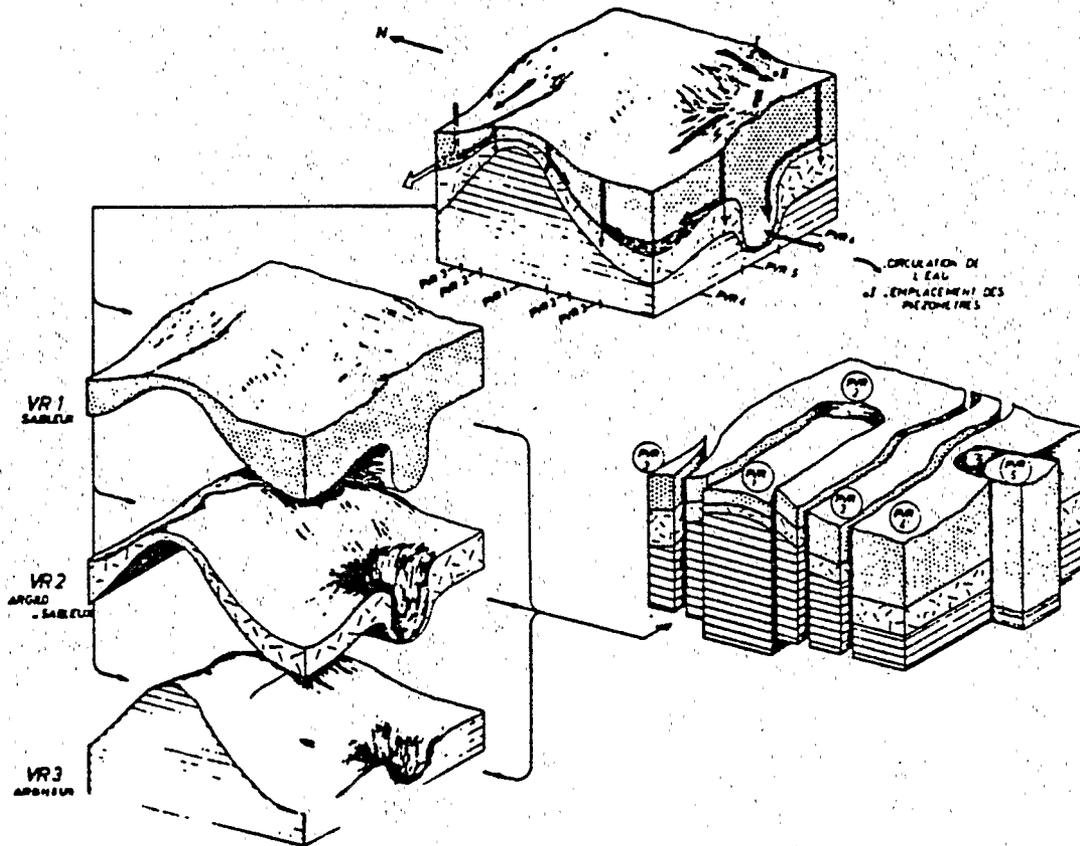
BIBLIOGRAPHIE

- ALBERGEL J. 1987- Genèse et prédétermination des crues au BURKINA FASO Du m² au km² , étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution . Thèse de l'université de PARIS VI PARIS. Col Etude et Thèse de l'ORSTOM 336p.
- ADIBA.M 1984- Base de Données cours E.N.S.I.M.A.G. .
- BAIER W.et ROBERTSON G.W.1966- A new versatil soil moisture budget. Can.J.Plant.Sci.46.
- BAIER W.,DYER A.J. et SHARP W.R.,1979- The versatil soil moisture budget. Tech.Bull. 87. Agrometeorologie Section ; Land Resource Research Institute. Canada
- BAULIER V.SABATIER J.L. 1989- Logiciel SOURCE version 2 ; Document IRAT.
- BELLMAN 1970- on structural identifiability MATH BIOSCIENCES, 7, 329-339.
- BERTALANFFY 1973- Théorie générale des systèmes. DUNOD ED.
- BOISVIEUX J.F.1977- Modélisation et commande de processus biologiques. Aspects théoriques et mise en oeuvre . Thèse PARIS VI.
- BUISSON J.B. BOUSQUET SABATIER J.L. 1988- Modèle de simulation des transferts hydriques à l'échelle d'un bassin versant: le logiciel SOURCE. document IRAT.
- CASENAVE A.VALENTIN C.1988- Les états de surface de la zone sahélienne influence sur l'infiltration .Rapport CEE-ORSTOM.
- CHARREAU C.NICOU R.1971 - Methodes d'évaluation du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicalé sèche Ouest Africaine et ses conséquences agronomiques. Bulletin Agronomique n° 23.
- CHERNY-GAUTIER - Analyse de systèmes biologiques, certains aspects méthodologiques liés à la modélisation. Laboratoire d'automatique de Grenoble .
- CHEVALIER P. 1989- Complexité hydrologique du petit bassin versant exemple en savane humide du bassin versant de BOORO BOROTOU (COTE DIVOIRE) Thèse USTL MONTPELLIER ,ORSTOM.
- COLLINET J.1988- Comportements hydrodynamiques et érosifs de sols de l'Afrique de l'Ouest. Evolution des matériaux et des organisations sous simulateur de pluies.Thèse Université Louis Pasteur STRASBOURG
- FEDDES R.A.et al.1988- Modelling soil dynamics in the unsaturated zone state of the art ; technical bulletins ICW n° 100.
- FRANQUIN P.FOREST F.1977- Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique. agronomie tropicale XXXII-I.
- GIRAUD 1965- Processus aléatoires. DUNOD ed. PARIS.
- GIRARD G.et al.1981- Modèles couplés. Simulation conjointe des écoulements de surface et souterrains sur un système hydrologique. cah.ORSTOM série hydrologie ORSTOM. vol. XVIII, n° 4.
- GIRARD MC 1983- Recherche d'une modélisation en vue d'une représentation spatiale de la couverture pédologique. Application à une région de plateaux jurassiques de Bourgogne. Thèse d'état INAPG.
- GIRARD M.C.DUFAURE L.1988- Présentation d'un modèle de transfert de l'eau dans les sols : SOURCE. INRA R.CALVET ed..
- HILLEL D.1975- L'eau et le sol; principes et processus physiques. CABAY ed.
- KAUFMAN Introduction à la recherche opérationnelle et théorie du graphe.
- KATERJI N., PERRIER A.1983- Modélisation de l'ETR d'une luzerne .In Agronomie, 3, (6), 513-521.
- KING D., GIRARD M.C.1988- Un algorithme pour la classification des horizons de la couverture pédologique . Science du sol vol.26 n° 2.
- KING D.1986- Modélisation de l'approche cartographique du comportement des sols. Thèse doc.ing. INAPG,GRIGNON 243p..

- LAMACHERE J.M., SERPANTIE G. 1988- Conséquence de trois méthodes d'amélioration des bilans hydriques au champ pour une culture pluviale. Rapport ORSTOM 39p.
- MARCHAL J.Y.1983- Le YATENGA . La dynamique d'un espace sahélien. Publication ORSTOM
- MARLET S.1988- Les méthodes d'évaluations du bilan hydrique des sols cultivés. doc.IRAT.
- MARTNELLI B.SERPANTIE G.1987- La confrontation paysans aménageurs au YATENGA : analyse d'un agronome et d'un ethnologue. In cahier de la recherche dev. n° 14-15 JUIN SEPT. p.29-52.
- MOREL-SEYTOUX HJ & D.KHANJI 1974-"Dérivation of an equation of infiltration." Water Res. Res.10, n° 4.
- NICOUD R., CHOPART 1977- Les techniques d'économie de l'eau dans les sols sableux du SENEGAL. In conférence internationale "Rôle des propriétés physiques des sols dans l'entretien des sols tropicaux", IITA IBADAN NIGERIA
- PAVE A. 1977- An approach to computer aided design a tool for mathematical modelling in biology. comp.biol.med.7,301-310
- POCHAT R.1980- Ecole d'été de mécanique HANOI hydraulique à surface libre.
- RAFIK A.1987- Efficacité des techniques culturales pour limiter le ruissellement et l'érosion. Etude expérimentale et problèmes méthodologiques. CEMAGREF ANTONY.
- RAUNET M. 1989- Bilan hydrique et minéral d'un bas fond sur les hautes terres de MADAGASCAR . IRAT-FOFIFA.
- SABATIER J.L. 1987- Réflexion sur l'érosion et les systèmes agraires dans la zone de collines de la province de VINH PHU (VIETNAM) IRAT-LECSA.
- SERPANTIE G., LAMACHERE JM. 1989- Pour une connaissance des conditions de mise en oeuvre des aménagements de ruissellement 24p. Communication à l'atelier sur les systèmes de collecte du ruissellement OUAGADOUGOU.
- SERPANTIE G. 1988- Aménagements de conditionnement des ruissellement des pentes cultivées Soudano-Sahéliennes 19p. In recueil d'expériences d'aménagement du ruissellement . CILSS ed.
- VACHAUD G. 1984 - Bilan hydrique par mesure dans le sol, à l'échelle d'une parcelle cultivée. Colloque résistance à la sécheresse en milieu inter tropical. Quelle recherche pour le moyen terme ? DAKAR 24-27 sept. 84.
- VAUCLIN M., HAVERKAMP R., VACHAUD G.1975 - Transfert hydrique dans le système sol plante atmosphère. Simulation et prévision. Réunion FAO/IAEA. SENEGAL.
- VOLTZ M., BORNAND M.1988 - Analyse de la variabilité spatiale des propriétés du sol contribution à la recherche de méthodes quantitatives simple de cartographie de paramètres hydrodynamiques . Compte rendu de l'ATP EAU PARIS 88 INRA.

LE MODELE SOURCE

On considère la couverture pédologique comme un ensemble organisé de Volumes de Référence (Figure 1). On caractérise ceux-ci par les variables pédologiques nécessaires pour déterminer des volumes réagissant de la même manière à la circulation de l'eau. Pour le modèle, on retient avant tout les limites horizontales et latérales de ces Volumes de Référence (M-C. GIRARD,

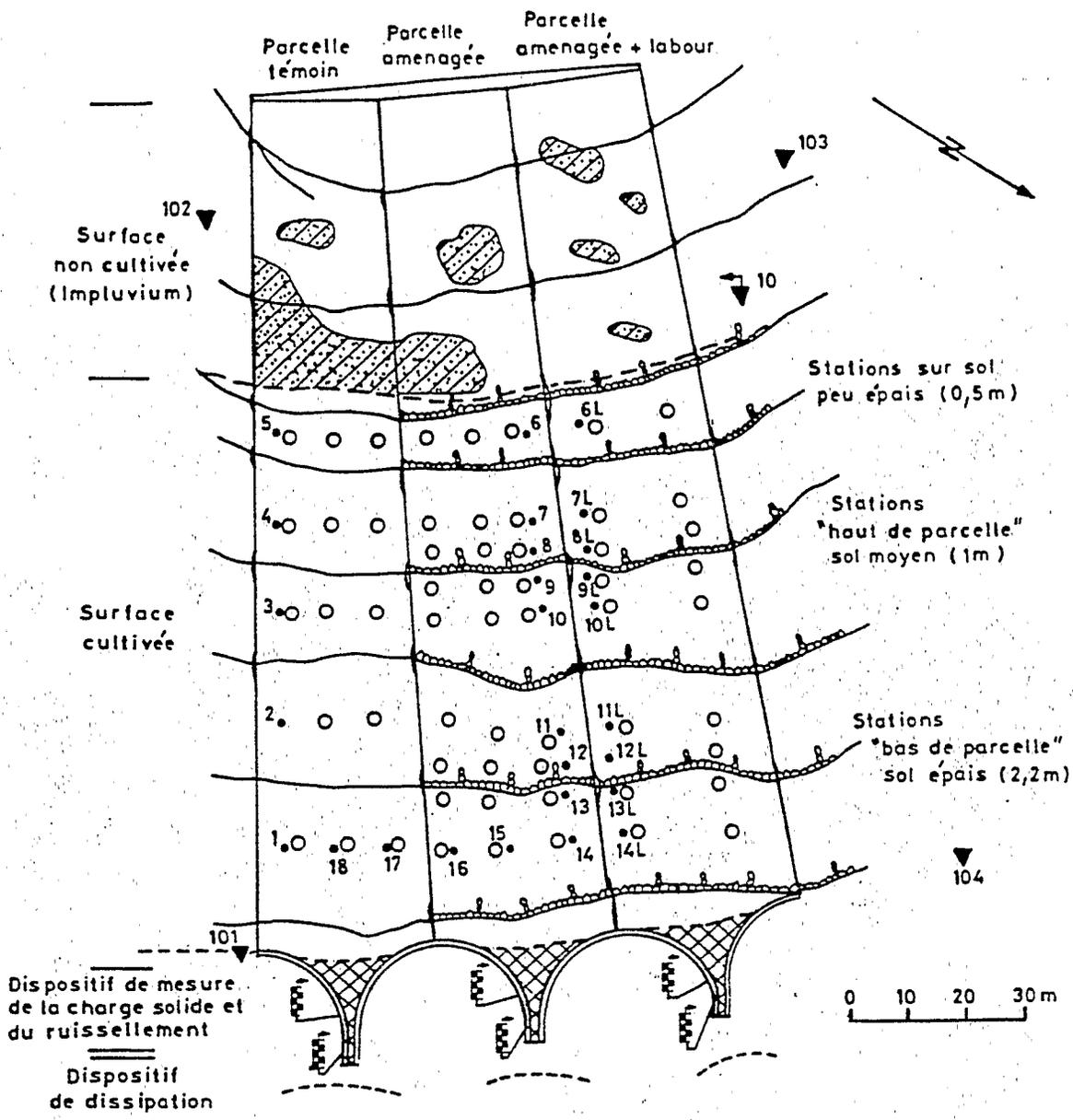


A gauche, comme un ensemble de Volumes de Référence (VR)

A droite, comme un ensemble de "Profils de Volumes de Référence" (PVR).

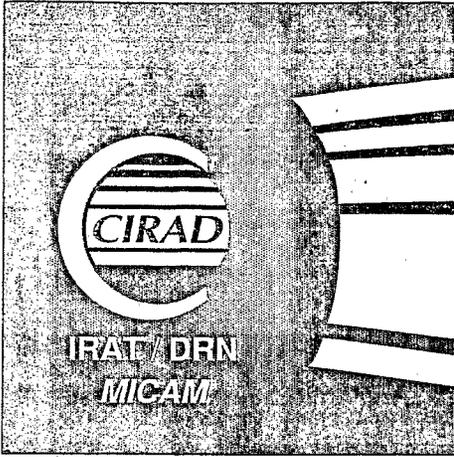
Les flèches indiquent les sens des écoulements.

Figure 1 : Analyse de la couverture pédologique.



- | | | | |
|----|---|------------------------|--|
| 3. | Point de suivi du Profil hydrique et phénologie | (Pente générale 2,5 %) | |
| ○ | Station de récolte | ▬▬▬▬▬▬ | Cordons pierreux (0,25m) |
| ▨ | Microbuttes sableuses | ~ | Courbe de niveau (0,5m) |
| ▬ | Tôles (0,2m et 0,4m) | ▼ 102 | Pluviomètre |
| ▬▬ | Muret (0,2m) | ▼ 10 | Pluviographe |
| ▨▨ | Exutoire en béton | ▬▬▬▬▬▬ | Limnigraphe et échelles limnimétriques |

Figure 2 : Plan d'ensemble de l'essai "ruissellement" à Samniweogo (1987).



12-15 septembre 1989

→ EM
trouvé dans un
vieux ERD =
pas dans Horizon
ni dans ENREG-1

*Actes
des journées
de la DRN*

***Agronomie
et ressources naturelles
en régions tropicales***

F 24/06/91

AGRONOMIE ET RESSOURCES NATURELLES EN REGIONS TROPICALES

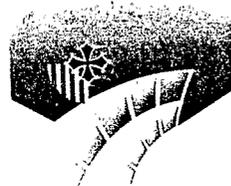
(Actes des journées de la DRN 12-15 septembre 1989)

Editeurs scientifiques : R. Bertrand, H. Saint Macary
Comité de lecture : R. Bertrand, J. Charoy, F. Forest,
R. Oliver, H. Saint Macary, P. Siband
Mise en page : J.-C. Lorente
Correction : M. Loubet
Cartographie : Ch. Gounel, G. Grellet, A. Lherbet
Couverture : H. Hemsî, Ch. Gounel

Ouvrage édité par IRAT / CIRAD avec l'aide financière de :

La MISSION AGER du CIRAD

Le CONSEIL REGIONAL
LANGUEDOC-ROUSSILLON



ISBN : 2-901987-33-8

076
AGRO 02
BER

10 8 1989

Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales. Montpellier, 12-15 septembre 1989. Editeur IRAT-Montpellier 1990.

Don
1010