

UNITE DE RECHERCHE 2B  
PROCESSUS DE TRANSFORMATION - FONCTIONNEMENT ET TRANSFERTS  
AUX INTERFACES SOL - PLANTE - ATMOSPHERE

RAPPORT D'ACTIVITE  
PERIODE 1987 - 1988

A. CASENAVE

CRSTOM

II

Juillet 1989

# ORSTOM

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

UNITE DE RECHERCHE 2B  
PROCESSUS DE TRANSFORMATION - FONCTIONNEMENT ET TRANSFERTS  
AUX INTERFACES SOL-PLANTE-ATMOSPHERE.

---

RAPPORT D'ACTIVITE  
PERIODE 1987-1988

---

A. CASENAVE

Juillet 1989

UNITE DE RECHERCHE 2B

PROCESSUS DE TRANSFORMATION - FONCTIONNEMENT ET TRANSFERTS  
AUX INTERFACES SOL-PLANTE-ATMOSPHERE

Rapport d'activité 1987-1988.

A. CASENAVE

AVANT PROPOS.

1ère PARTIE : OBJECTIFS ET MOYENS.

1. OBJECTIFS	p. 4
2. CONTEXTE	p. 5
3. LES MOYENS EN PERSONNEL	p. 7
4. LES MOYENS FINANCIERS	p. 10

2ème PARTIE : RESULTATS ET PERSPECTIVES.

1. LES IMPLANTATIONS GEOGRAPHIQUES	p. 14
2. ORGANISATION INTERNE DE L'UR	p. 15
3. PRINCIPAUX RESULTATS	p. 24
4. PERSPECTIVES	p. 28
5. VALORISATION	p. 29

3ème PARTIE : PROGRAMMES EN COURS.

2B A1	p. 34
2B A2	p. 36
2B A4	p. 42
2B A5	p. 43
2B A6	p. 45
2B A7	p. 48
2B A8	p. 50
2B A9	p. 53
2B A10	p. 54
2B A11	p. 56
2B A19	p. 67
2B A20	p. 71
2B B1	p. 73
2B B2	p. 78
2B B3	p. 89
2B B5	p. 95
2B B6	p.100
2B B7	p.118
2B B8	p.122
2B B10	p.127
2B B11	p.131

#### **4ème PARTIE : NOUVEAUX PROGRAMMES OU PROGRAMMES PREVUS.**

##### **Nouveaux programmes.**

2B A3	p.138
2B B4	p.142
2B B6	p.144
2B B9	p.147
2B B12	p.150

##### **Programmes prévus.**

Projet de recherche pour une équipe "Milieux Salés" au Sénégal	p.152
---	-------

Utilisation des MNT pour la construction de modèles distribués sur des bases physiques	p.160
---	-------

CONCLUSIONS.	p.169
--------------	-------



## AVANT PROPOS

Ce rapport étant destiné, avant tout, à l'évaluation de l'Unité de Recherche, et surtout de chacun des programmes qui la constituent, par la Commission Scientifique, nous avons adopté le plan qui nous paraissait le plus approprié à ce travail, en nous appuyant sur les recommandations de la note de F. MONIOD approuvée par la Commission.

Dans une première partie sont présentés brièvement la thématique et les objectifs de l'UR, le contexte dans lequel elle évolue ainsi que les moyens humains et matériels dont elle dispose pour atteindre ces objectifs.

Dans la seconde partie, le responsable de l'UR présente sous une forme synthétique les principaux résultats acquis au cours de la période ainsi que les perspectives pour les années à venir.

La troisième partie est consacrée à une présentation plus détaillée de chacun des programmes de l'UR. Ces fiches descriptives ont été, pour la plupart, établies par les responsables des différents programmes. Le responsable de l'UR n'est intervenu que pour harmoniser les présentations, raccourcir les textes trop longs, compléter quelques textes ou faire ressortir certains résultats.

Enfin la quatrième partie présente les programmes qui viennent de commencer ou qui sont en projet et pour lesquels le responsable de l'UR souhaite obtenir un avis de la Commission sur leur opportunité et sur les travaux prévus.

**1ère PARTIE**  
**OBJECTIFS ET MOYENS**

## 1. OBJECTIFS

L'objectif scientifique de l'UR 2B est de décrire et mesurer le fonctionnement des écosystèmes mais aussi, et surtout, de le comprendre et d'analyser les mécanismes reliant les différents facteurs à l'évolution qu'ils provoquent. L'eau étant le facteur qui conditionne pratiquement tous les processus de fonctionnement-transferts, et donc la transformation des écosystèmes, le thème central de l'UR est l'étude de la dynamique de l'eau et des matières dans le sol et aux interfaces.

Pour tenir compte du contexte de coopération et de développement dans lequel travaille l'ORSTOM, l'UR a choisi de privilégier l'étude des milieux fragiles et/ou à fortes contraintes, naturelles ou provoquées par l'exploitation.

Les travaux de l'UR s'appuient sur une approche méthodologique qui prétend privilégier:

- L'étude des voies de circulation et des volumes de stockage de l'eau dans les sols (analyse structurale, caractères et évolution des systèmes poreux internes et superficiels...).

- L'analyse des phénomènes à diverses échelles emboîtées (porosité élémentaire, parcelles, bassins versants) et l'intégration de la variabilité spatiale des paramètres.

- L'utilisation des techniques expérimentales, dont la simulation de pluie.

- L'étude des interactions solide-liquide.

- Le recours à la modélisation des phénomènes, visant à la simulation prévisionnelle.

Les produits attendus des recherches concernent principalement:

- L'évaluation des ressources hydriques en termes quantitatifs: disponibilité de l'eau dans les sols, ressources superficielles et profondes.

- L'évaluation des ressources hydriques en termes qualitatifs, définissant en particulier leur aptitude à être utilisées pour l'irrigation.

- L'évolution actuelle et la stabilité des systèmes de sols.

- Les interrelations entre végétation, naturelle ou cultivée, et le milieu physique.

## 2. CONTEXTE

### 2.1. Origine et antécédents des recherches

Pendant de nombreuses années hydrologues et pédologues bien que travaillant souvent sur le même terrain, ont eu du mal à se comprendre. Cette "incompréhension", particulièrement visible dans l'étude des bassins versants, résultait tant de la demande des hydrologues qui, souhaitant traiter statistiquement les résultats des études de bassins versants, considéraient ceux-ci comme des entités homogènes, que de la réponse des pédologues dont l'approche reposait à l'époque sur:

- .une classification des sols fondée sur des critères morphogénétiques et non sur leur comportement hydrodynamique,
- .une vision verticale et réductrice des sols (cartographie d'unités de sols homogènes, comprises dans des limites abruptes et verticales).

Depuis, les progrès réalisés de part et d'autre donnent plus de cohérence aux deux démarches:

Les pédologues privilégient désormais l'étude tridimensionnelle des volumes qui constituent la couverture pédologique. Ils ont montré, à cette occasion, que certaines différenciations sont particulièrement liées au fonctionnement hydrique. Ces analyses détaillées de la couverture pédologique les ont conduit à considérer l'hydrodynamique tant comme facteur que comme conséquence de l'autodéveloppement des systèmes de transformations pédologiques.

Les hydrologues, devant l'échec partiel de l'approche statistique des phénomènes de ruissellement, se sont orientés vers une approche plus déterministe. La compréhension des processus physiques implique la prise en compte des flux d'eau, au sein de la couverture pédologique. D'où la mise en oeuvre d'études expérimentales à des échelles inférieures à celle du bassin versant représentatif (parcelles, microbassins)

Au total, lors de la création de l'UR, pédologues et hydrologues partageaient les mêmes objectifs, les mêmes méthodes et les mêmes échelles d'analyse. Ce rapprochement explique qu'une collaboration fructueuse ait pu être établie entre les deux disciplines.

Dès lors, l'UR 2B a présenté d'emblée une cohésion importante du fait:

-D'un objet d'étude réellement fédérateur, la dynamique de l'eau et/ou des solutions.

-d'une situation charnière consécutive à une longue phase d'inventaire qui avait permis une bonne connaissance des milieux mais aussi soulevé nombre de problèmes relatifs à leur comportement, leur fonctionnement ou leur évolution,

-De la réalisation dans les pays où travaille l'ORSTOM de nombreux projets de développement nécessitant l'étude des problèmes d'évolution du milieu sous exploitation,

-De la disponibilité de technologies nouvelles permettant des études de dynamique sur le terrain par des mesures non destructives.

## 2.2. Insertion dans les grands courants de la recherche

Que ce soit en France ou à l'étranger, les études d'hydrodynamique se sont considérablement développées ces deux dernières décades.

Il s'agit, le plus souvent, de travaux menés par des hydrauliciens-physiciens du sol, ou par des agronomes. Les premiers travaillent généralement en laboratoire à l'échelle métrique ou décimétrique. Dans leur approche, la difficulté à appliquer des lois théoriques au milieu naturel est imputée à une hétérogénéité, traitée de façon statistique. Au contraire, les agronomes adoptent une analyse plus naturaliste et tentent de relier les fonctionnements aux structures spécifiques des milieux. Cependant, leur objet d'étude, le champ, limité dans l'espace et toujours transformé par l'homme, ne les prédispose pas à situer leur analyse à l'échelle de l'unité naturelle fonctionnelle, et les limite, dans le temps, aux phénomènes récents et à évolution rapide.

L'originalité de la démarche de l'UR 2B, avant tout naturaliste, réside dans le fait qu'elle cherche toujours à partir de l'unité fonctionnelle de paysage et à y resituer les résultats locaux. Elle analyse les phénomènes en combinant les échelles, en couplant observations et mesures in situ avec l'expérimentation, en utilisant la modélisation et l'approche statistique mais subordonnées à une analyse qualitative et structurale préalable.

Il faut noter que l'UR est largement ouverte sur l'extérieur, comme en témoignent les nombreuses collaborations entre ses équipes et d'autres organismes (Universités, organismes de recherches, français ou des pays partenaires, organismes gouvernementaux ou inter-états). La meilleure preuve de ce désir de collaboration et de confrontation, avec des équipes étrangères à l'Institut, nous semble être le nombre de propositions présentées par l'UR (et le succès qu'elles ont obtenues) aux sources de financement extérieures (CEE, ATP CNRS...). Ce fait représente pour nous la meilleure traduction de la vitalité scientifique et du dynamisme des équipes de l'UR.

### 3. LES MOYENS EN PERSONNEL

Les effectifs de l'UR 2B ont toujours été considérés comme pléthoriques. Qu'en est-il exactement ?

Il est difficile de donner une représentation exacte de ces effectifs pour plusieurs raisons:

-Les variations des affiliations aux UR sont relativement rapides,

-bien que ce soient, théoriquement, les programmes qui "appartiennent" aux UR, un certain nombre de chercheurs ou techniciens, ne travaillant pas à des programmes de l'UR 2B, n'en restent pas moins membres "administratifs" de cette UR,

-à l'inverse, des chercheurs n'étant pas rattachés administrativement à l'UR, peuvent y travailler à des programmes qu'elle finance.

- un certain nombre d'adhésions à l'UR restent théoriques, les chercheurs en question étant appelés à remplir d'autres tâches qu'un travail de recherche proprement dit.

Nous avons cependant essayé de donner une idée du potentiel humain de l'UR 2B en regroupant dans le tableau 1 les adhérents principaux de l'UR en 1989. Dans ce tableau sont indiqués en caractères gras les noms des ressortissants de l'UR, travaillant effectivement à un programme financé par l'UR. Ce sont eux qui en constituent le "noyau dur".

Afin de clarifier la situation, nous n'avons tenu compte que de ce noyau dur dans les commentaires qui suivent.

#### Situation en 1989

Le noyau dur de l'UR est constitué de:

- 25 chercheurs (1 DR1,7 DR2,15 CR1,2CR2),
- 13 ingénieurs ou techniciens (6 INE,4 ASI,2 TER,1ADT),
- 2 VSN,
- 4 allocataires.

soit au total 44 personnes, réellement impliquées dans des programmes de recherche.

Si, de plus, on considère que parmi les 25 chercheurs, certains ne consacrent qu'une fraction de leurs activités aux travaux de l'UR 2B, le potentiel réel en chercheurs est de 21 personnes.

Parmi les 38 personnes titulaires d'un poste budgétaire ORSTOM, on trouve 15 hydrologues et 23 pédologues. Ces chiffres montrent bien que l'UR n'est, à l'heure actuelle, que bi-disciplinaire, et souffre de carences disciplinaires évidentes par rapport à ses ambitions (agronomie, botanique, sciences sociales...).

Les effectifs de l'UR sont relativement jeunes, puisque la moyenne d'âge des 25 chercheurs est de 43,4 ans. Sur ces 25 personnes, 8 ont moins de 40 ans (32%) et 12 moins de 45 ans (48%).

Parmi les 44 membres de l'UR, 34 (soit 77 %), sont expatriés (22 en Afrique, 12 en Amérique).

#### Evolution par rapport à 1986

En dénombrant les membres de l'UR de la même façon, on constate les évolutions suivantes depuis 1986:

-4 adhésions à l'UR (BLANCANEUX, BRUNET, DELHOUME, PERRIER),

-20 départs de l'UR (BADER, BERTHELOT, BRICQUET, CADIER, CARRE, ETIENNE, FOTIUS, GIODA, C. GRIMALDI, IRIS, LAPETITE, LE BRUSQ, LE MARTRET, LOINTIER, MAILHAC, RIBSTEIN, RICHE, THEBE, VIEILLEFON, VUILLAUME)

Au total le déficit entre 1986 et 1989 s'élève donc à 12 chercheurs et 4 ingénieurs ou techniciens. Cette "hémorragie" s'explique, en grande partie, par la fin de certains programmes importants (travaux de terrain du programme HYPERBAV, programme "simulateur" Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Togo, Congo) ou par l'évolution de certains programmes vers la problématique d'autres UR.

Cette diminution numérique s'accompagne d'un vieillissement relatif, puisque l'âge moyen des chercheurs était de 38,5 ans en 1986 (43,4 ans en 89). Les chercheurs âgés de moins de 33 ans en 86 représentaient 36 % des effectifs de l'UR (26 % de moins de 36 ans en 89) et ceux de moins de 42 ans, 51,5 % (48 % de moins de 45 ans en 89). Ce sont donc surtout des jeunes chercheurs qui ont quitté l'UR.

Alors que les chercheurs de l'UR de moins de 33 ans représentaient 44 % des effectifs de la C.S.2 de cette tranche d'âge, en 1986, les chercheurs de moins de 36 ans, en 89, ne représentent plus que 26 % de ces mêmes effectifs. Cette diminution relative des "jeunes" est imputable aux départs, mais aussi à l'absence de recrutements pour l'UR 2B.

Malgré la diminution numérique de l'UR, le taux d'expatriation est resté pratiquement constant, 77 % en 89 contre 79 % en 86. Encore doit-on noter que sur les 13 personnes affectées en France en 1986, seules 2, y sont encore en 1989.

Tableau 1

ALBERGEL	JEAN	CR1	H	DAKAR
ASSELINE	JEAN	ASI	P	GOMEZ PALACIO
AUDEY	PIERRE	DR1	P	RECIFE
BADER *	JEAN CLAUDE	CR2	H	LOME
BERNARD	ALAIN	INE2	H	DAKAR
BESNARD	GILLES	VSN	-	GOMEZ PALACIO
BLANCANEAUX	PHILIPPE	CR1	P	TUNIS
BOIVIN	PASCAL	CR2	P	BONDY
BRUNET	DIDIER	ASI	P	DAKAR
CADIER *	ERIC	DR2	H	RECIFE
CAMUS	HENRI	DR2	H	TUNIS
CARRE *	PAUL	CR1	H	MONTPELLIER
CASENAVE	ALAIN	CR1	H	LOME
CHEVALLIER	PIERRE	CR1	H	MONTPELLIER
CLAUDE *	JACQUES	DR2	H	MONTPELLIER
COLLINET	JEAN	DR2	P	TURRIALBA
DELFIU	JEAN MARC	ADT2	H	OUAGADOUGOU
DELFIU	GEORGES	INE2	H	LOME
DELHOUME	JEAN PIERRE	CR1	P	GOMEZ PALACIO
DESCONNETS	JEAN PIERRE	VSN	-	RECIFE
DUBREUIL *	PIERRE	DR1	H	PARIS
DUMAS	RENE	INE2	H	TUNIS
ETIENNE *	JACKIE	TER3	H	ODIENNE
FORGET	ALBERT	INE2	P	LOME
FRITSCH	EMMANUEL	CR1	P	NANCY
GALLAIRE	ROBERT	CR1	H	NIAMEY
GATHELIER	ROBERT	ASI	H	NIAMEY
GIODA *	ALAIN	CR2	H	MONTPELLIER
IBIZA	DANIEL	CR1	H	MONTPELLIER
JANEAU	JEAN LOUIS	TER3	P	GOMEZ PALACIO
JOB	JEAN OLIVIER	CR1	P	TUNIS
LAMACHERE	JEAN MARIE	CR1	H	OUAGADOUGOU
LAPETITE *	JEAN MARC	TER3	H	ADIOPODOUME
LARAQUE	ALAIN	ALO	-	RECIFE
LEPRUN	JEAN CLAUDE	DR2	P	BRASILIA
LOYER	JEAN YVES	DR2	P	MONTPELLIER
MAHIEUX	ANDRE	TER3	H	OUAGADOUGOU
MITJA	DANIEL	ALO	-	PARIS
MOLINIER	MICHEL	CR1	H	RECIFE
MONTOBOI	JEAN PIERRE	CR1	P	DAKAR
MOUGENOT	BERNARD	CR2	P	BONDY
PERRIER	EDITH	INE2	P	BONDY
PLANCHON	OLIVIER	ALO	-	MONTPELLIER
PLEUVRET	CATHERINE	ALO	-	LOME
PONTANIER (**)	ROGER	DR2	P	TUNIS
POSS	ROLAND	CR1	P	CADARACHE
RIBSTEIN *	PIERRE	CR1	H	MONTPELLIER
RIEU	MICHEL	DR2	P	BERKELEY
SAYOL	RAPHAEL	INE2	P	TUNIS
THEBE *	BERNARD	TER2	H	MONTPELLIER
TOUMA	JAUDAT	CR1	H	DAKAR
VALENTIN	CHRISTIAN	CR1	P	BONDY
VIZIER	JEAN FRANCOIS	DR2	P	CADARACHE
ZANTE	PATRICK	ASI	P	DAKAR

\* membres théoriques de l'UR ne participant pas à des programmes financés par l'UR

(\*\*) non membre de l'UR mais participant à un programme financé par l'UR

H = Hydrologue

P = Pédologue

#### 4. LES MOYENS FINANCIERS

La situation budgétaire de l'UR 2B peut être résumée par quelques chiffres:

budget de fonctionnement ORSTOM (690 + 644)

2405 KF en 1984,  
2693 KF en 1985,  
2107 KF en 1986,  
1895 KF en 1987,  
1975 KF en 1988,  
2111 KF en 1989.

Les deux années couvertes par ce rapport ont été les plus catastrophiques au niveau budgétaire. Ces budgets draconiens ne sont évidemment pas sans conséquences sur les résultats de l'UR. Non seulement des travaux, parfaitement justifiés sur le plan scientifique, n'ont pu être financés, mais certaines équipes ont même été obligées d'arrêter les travaux de terrain en 1987 par suite des restrictions financières. Cette situation nous a également amenée à supprimer certains programmes, en 1988, malgré leur intérêt scientifique.

On trouvera, dans le tableau ci-après, le budget de chacun des programmes financés par l'UR au cours des 4 dernières années. Le numéro du programme correspond à celui indiqué dans la liste du § 2 (2ème partie).

Evolution annuelle du budget ORSIOM par programme  
(chapitre 690)

N° programme	1986	1987	1988	1989	Total	Budget moyen annuel
2B A						
1	51	20	11	25	107	26,8
2	35	31	50	72	188	47,0
3	-	-	-	40	40	40,0
4	11	12	10	30	63	15,8
5	-	41	45	50	136	45,3
6	51	20	30	20	121	30,3
7	71	24	22	22	139	34,8
8	71	41	45	45	202	50,5
9	156	41	50	40	287	71,8
10	-	-	15	30	45	22,5
11	50	32	76	55	213	53,3
12	6	5	4	5	20	5,0
13	131	8	25	20	184	46,0
14	7	6	3	3	19	4,8
15	144	65	*	*	209	104,5
16	96	15	*	*	111	55,5
17	42	28	*	*	70	35,0
18	-	41	*	*	41	41,0
19	99	20	*	*	119	59,5
20	14	7	16	*	37	12,3
21	24	0	0	0	24	6,0
22	58	0	0	0	58	14,5
23	50	50	20	0	120	40,0
Total 2BA	1167	507	428	532	2634	-
2B B						
1	383	485	371	141	1380	345,0
2	263	81	110	120	574	143,5
3	-	41	65	120	226	75,3
4	-	-	6	75	81	40,5
5	133	162	300	250	845	211,3
6	243	240	300	260	1043	260,8
7	-	90	107	155	352	117,3
8	20	15	20	20	75	18,8
9	-	-	-	92	92	92,0
10	-	36	40	50	126	42,0
11	70	42	80	40	232	58,0
12	-	-	-	50	50	50,0
13	19	16	0	0	35	8,8
14	6	*	*	*	6	6,0
15	19	12	*	*	31	15,5
Total 2BB	1156	1220	1393	1298	5067	-
Total UR	2323 1	1727	1821	1830 2	7701	-

0 programme non terminé mais que l'UR ne finance plus.

\* programme terminé.

1 y compris reliquats de l'année 85.

2 reste 120 KF dans la réserve de l'UR.

Ces tableaux appellent les commentaires suivants:

-Les budgets indiqués ne représentent que les budgets ORSTOM à l'exclusion des ressources sur convention qui sont très mal connues du responsable de l'UR (ces ressources extérieures étaient de l'ordre de 1800 KF, en 1988, soit un budget similaire à celui attribué par l'ORSTOM). Ils donnent, cependant, une idée des possibilités budgétaires minimales de chaque programme.

-Il est très difficile de chiffrer les ressources et le coût réel d'un programme. Nous n'en donnerons qu'un seul exemple, celui du programme HYPERBAV. En plus de ressources proprement ORSTOM, ce programme a bénéficié de crédits de l'ATP PIREN, d'autres du contrat CEE/ORSTOM "étude de l'infiltration en zone sahélienne", mais aussi de ressources "occultes" représentées par les bénéfices des conventions hydrologiques de Côte d'Ivoire (entre 100 et 300 KF par an). Ajoutons que les véhicules ou le matériel informatique utilisés pour ce programme ont été également acquis sur des crédits extérieurs, à l'occasion de conventions.

-On remarquera que le total du budget attribué au grand programme 2B B, qui est au coeur de l'UR, a été maintenue malgré la pénurie (ce total, qui ne représentait que 50 % du budget de l'UR en 1986, est passé à plus de 70 % dans les années suivantes). Les restrictions draconiennes qui nous ont été imposées n'ont donc portées que sur le grand programme 2B A.

-Nous tenons à souligner, une fois de plus, combien a été inégale, pendant longtemps, la répartition des ressources de l'ORSTOM, selon le département concerné. Les budgets comparés de l'UR 2 A et de l'UR 2 B, en 1987, sont très évocateurs à cet égard. On a:

- d'un côté (2A), 1280KF pour 21,5 personnes (10,5 chercheurs, 10 ingénieurs ou techniciens et 1 allocataire), soit 59,5 KF/personne,

- et de l'autre (2B), 1895 KF pour 52 personnes (29 chercheurs, 17 ingénieurs ou techniciens, 4 allocataires et 2 VSN), soit 36,4 KF/personne.

On ne peut bien sûr, de ce fait, pas juger les résultats de ces deux UR à la même aune.

**2ème PARTIE**  
**RESULTATS ET PERSPECTIVES**

## 1. LES IMPLANTATIONS GEOGRAPHIQUES

Nous indiquions dans notre dernier rapport d'activité de l'UR: "Dans un souci de meilleure rentabilité, il nous paraît souhaitable de favoriser la concentration des chercheurs en grosses équipes dont la productivité scientifique serait bien supérieure à celle résultant de l'actuelle dispersion". Qu'en a-t-il été dans la réalité ?

On trouvera ci-après un tableau donnant une comparaison des implantations de l'UR en 1986 et 1989, avec les effectifs concernés.

Pays	1986	1989
FRANCE	13	10
AFRIQUE		
BURKINA FASO	2	3
CAMEROUN	3	0
CONGO	1	0
COTE D'IVOIRE	11	0
NIGER	4	2
SENEGAL	6	6
TOGO	5	5
TUNISIE	5	6
AMERIQUE		
BRESIL	7	6
COSTA RICA	0	1
GUYANE	2	0
MEXIQUE	0	4
U.S.A.	0	1
OCEANIE		
Nelle CALEDONIE	1	0
TOTAL	60 personnes 12 implantations	44 personnes 10 implantations

Ce tableau appelle les commentaires suivants:

-La relative stabilité du nombre des implantations ne doit pas cacher des modifications importantes. 5 implantations ont été supprimées (dont la Côte d'Ivoire, qui était la plus importante, après la métropole) et 3 ont été créés, dont une, les USA, n'est que très provisoire.

-Comme nous l'avons déjà dit, la constance des effectifs d'une implantation peut cacher un "turn-over" important. C'est le cas de la France, où seules 2 des 13 personnes présentes en 86, sont encore dans ce pays en 89, mais aussi du Sénégal, où un seul des 6 membres de l'UR qui y étaient affectés en 86, s'y trouve encore à l'heure actuelle.

-Pour tout la zone de "l'étranger traditionnel", la disponibilité des chercheurs est beaucoup plus réduite qu'en Afrique. Les agents, bien que rattachés à l'UR 2B, ne consacrent souvent qu'une faible partie de leur activité aux programmes de l'UR, pris qu'ils sont, par ailleurs, par leurs obligations vis-à-vis de leur structure d'accueil. Leur mobilité est, de ce fait, beaucoup moins grande, la fin du programme qu'ils ont entrepris pour le compte de l'UR, ne les libérant pas pour autant. Comme ces effectifs représentent 40 % du total de l'UR, cela réduit considérablement la "marge de manoeuvre" du responsable, en matière d'affectations.

-Le nombre relativement important d'agents affectés en France est à mettre en relation avec la "jeunesse" des effectifs de l'UR. Il s'agit, dans la majeure partie des cas, de jeunes chercheurs rentrés quelques années en métropole pour y rédiger leur thèse. Cela explique le renouvellement rapide de ces effectifs.

-La liste des implantations traduit bien la priorité donnée par l'UR à l'étude des zones arides ou semi-arides (Sahel, Nordeste Brésilien, Mexique, Tunisie), où l'absence d'eau, ou son insuffisance, est un des principaux facteurs limitants du développement.

## 2. ORGANISATION INTERNE DE L'UR

Pour des raisons essentiellement administratives, les programmes de l'UR ont été regroupés en deux Grands Programmes. Le premier, 2BA, est relatif à des recherches finalisées sur l'économie de l'eau et concerne principalement l'hydrodynamique superficielle. Nous l'avons intitulé "Analyse expérimentale des processus du ruissellement et de l'infiltration". Le second, 2BB, "Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrique des écosystèmes naturels et transformés", est plus ambitieux et vise, à travers une analyse de l'hydrodynamique superficielle et interne et de l'influence des composantes du milieu sur les transferts d'eau et de matière, une connaissance plus exhaustive du fonctionnement hydrique des écosystèmes.

D'un point de vue purement scientifique, il n'existe pas de solution de continuité entre ces deux grands programmes. La caractérisation du fonctionnement hydrique des écosystèmes dépend des résultats du grand programme 2BB, mais bénéficie aussi de ceux du grand programme 2BA (étude fine des processus de l'infiltration, étude des processus du ruissellement sous pluies simulées, synthèse des résultats des BRE ou modélisation de leur fonctionnement). De même, l'étude de la

dynamique des éléments solubles dans les sols est fortement liée à celle des conséquences de l'anthropisation ou aux recherches sur l'hydrodynamique. La principale différence entre ces deux grands programmes réside dans le caractère plus monodisciplinaire des études du 2BA, souvent effectuées par des équipes de taille réduite (à l'exception notable du programme "minisimulateur"), alors que les programmes du 2BB sont presque tous, au moins bidisciplinaires, et sont le fait d'équipes numériquement importantes.

Au cours des deux années couvertes par ce rapport l'UR a financé entre 25 et 30 programmes selon les années. On trouvera ci-après une liste de ces programmes.

## **GRAND PROGRAMME 2B A : ANALYSE EXPERIMENTALE DES PROCESSUS DU RUISSELLEMENT ET DE L'INFILTRATION**

Depuis le milieu des années 50, les hydrologues ont étudié plus de 300 bassins versants représentatifs et expérimentaux (BRE), principalement en vue de déterminer les écoulements et les crues de fréquence rare. Cet inventaire, assez exhaustif, des comportements hydrologiques se poursuit, à l'heure actuelle, pour des milieux particuliers (milieu semi-aride de Tunisie ou milieu sub-désertique à Agadez).

Un des principaux objectifs de ces études était de mettre au point des règles simples permettant la transposition des résultats des BRE à des bassins n'ayant fait l'objet d'aucune mesure.

Le but des hydrologues était d'élaborer, à partir de l'analyse statistique d'un échantillon le plus consistant possible, une typologie des bassins versants, fondée sur des paramètres caractéristiques du milieu (paramètres physiques: indice de compacité, de pente,...; grands types de couvert végétal, nature géologique du substratum, grands types de sols), facilement mesurables.

Lors des premières synthèses de ces résultats, que ce soient ceux des crues décennales (RODIER-AUVRAY, 1965) ou des écoulements (DUBREUIL et al., 1975; RODIER, 1975, 1976), on s'est heurté à un certain nombre de difficultés:

-Impossibilité de quantifier l'aptitude au ruissellement d'un bassin. Faute de mieux, on a classé les bassins en 5 catégories, mais plus à partir des résultats observés que de critères objectifs. Cette déficience semblait provenir d'une incapacité à prendre en compte les caractéristiques pédologiques des bassins. La nature des sols n'apparaissait pas, lors de l'analyse statistique des résultats comme un facteur

discrimant vis à vis du ruissellement, ce qui pouvait paraître, a priori, comme surprenant.

-Impossibilité de donner un mode de calcul précis de la crue décennale en zone forestière, les coefficients de ruissellement y variant dans des proportions telles, sans qu'on puisse en déterminer exactement les causes, qu'il n'était même pas possible de classer ces bassins dans des catégories d'aptitude au ruissellement, comme on l'avait fait pour la zone de savane. Là encore, il semblait que l'absence de connaissances sur le comportement hydrodynamique des sols forestiers, était à l'origine de cet échec.

L'échec partiel de ces méthodes stochastiques amenait les hydrologues à développer de nouveaux programmes basés sur:

-une reprise des synthèses antérieures en tentant d'analyser plus finement les résultats (programme FORCRUSA),

-une approche plus déterministe. Comprendre les processus de l'infiltration et du ruissellement pour mieux les prévoir, impliquait la mise en oeuvre d'études expérimentales à des échelles inférieures à celle du petit bassin versant (parcelles, microbassins), (ensemble des programmes "grand" puis "minisimulateur"),

-le développement de modèles conceptuels déterministes, devant faciliter la compréhension des phénomènes hydrologiques. La recherche de paramètres de réglage ayant une signification physique pouvait simplifier l'application de ces modèles à des bassins peu ou pas observés (programme HYDRO-PHYS).

Ces travaux s'appuyaient sur une évolution parallèle de la pédologie.

Les pédologues, dont la réponse, sous forme de cartes pédologiques des bassins (inadaptées aux besoins des hydrologues car fondées sur des critères morphogénétiques non représentatifs des caractéristiques hydrodynamiques des sols) était partiellement responsable de cet échec, évoluaient aussi. D'une vision verticale et réductrice des sols (cartographie s'appuyant sur la définition d'unités de sols homogènes compris dans des limites abruptes et verticales), ils passaient à des études toposéquentielles prenant en compte les différenciations latérales des sols puis, à l'analyse tridimensionnelle de la couverture pédologique qui les a conduit à considérer l'hydrodynamique tant comme facteur que comme conséquence de l'autodéveloppement des systèmes de transformations pédologiques.

C'est la conjonction de ces deux évolutions parallèles qui a permis de progresser dans la connaissance de l'hydrodynamique des sols et, par là, dans celle du fonctionnement hydrologique des petits bassins.

Les études sous pluies simulées ont permis de mieux expliciter les facteurs conditionnels du ruissellement. De nouveaux progrès paraissaient, cependant, encore possibles et étaient à rechercher dans une caractérisation plus fine, et la modélisation, des processus de l'infiltration.

Les conséquences souvent catastrophiques de l'anthropisation (qui se cumulent à celles de la sécheresse) particulièrement dans les zones semi-arides, sont à l'origine de recherches sur les conditions d'une meilleure gestion des ressources en eau, sol et plantes, qu'il faut accentuer.

De ces objectifs scientifiques découle l'organisation interne de ce grand programme qui regroupe, en 4 thèmes, les différents programmes.

**THEME 1 - ETUDE FINE DES PROCESSUS DE L'INFILTRATION.**

**Programme 1** : Structure et fonctionnement des milieux poreux.

Etat actuel: En cours  
Localisation:U.S.A.  
Participants:RIEU

**Programme 2** : Dynamique de l'eau et des éléments minéraux.

Etat actuel:Terminé sur le terrain.Synthèse en France à partir de mi-89  
Localisation:Togo,France  
Participants:POSS,FORGET

**Programme 3** : Dynamique des organisations superficielles sur deux types de sol du Togo. Influence sur l'infiltration et conséquences agronomiques.

Etat actuel:Démarrage  
Localisation:Togo  
Participants:Melle PLEUVRET (encadrement POSS, VALENTIN)

**THEME 2 - ANALYSE ET MODELISATION**

**Programme 4** : Modélisation des écoulements en fonction des caractéristiques physiographiques (HYDROPHYS).

Etat actuel:En cours (?)  
Localisation:Montpellier  
Participants:IBIZA

**Programme 5** : Simulation numérique des transferts dans les sols.

Etat actuel:En cours  
Localisation:Sénégal  
Participants:TOUMA

**THEME 3 - SYNTHESES**

**Programme 6** : Synthèse des données de bassins versants et processus de formation des crues dans le Sahel ( FORCRUSA ).

Etat actuel:Fin prévue mi-89  
Localisation:Montpellier  
Participants:RIBSTEIN, (RODIER)

**THEME 4 - ETUDE DES CONSEQUENCES DE L'ANTHROPISATION**

**Programme 7** : Etude du ruissellement et de l'érosion sur bassins versants en Tunisie.

Etat actuel:En cours  
Localisation:Tunisie  
Participants:CAMUS,DUMAS,BEN YOUNES

**Programme 8** : Etude des paramètres physico-hydriques et de l'érodibilité des terres cultivées.

Etat actuel:En cours  
Localisation:Tunisie  
Participants:PONTANIER,SAYOL,+étudiants Tunisiens

**Programme 9** : Evolution des paramètres du cycle de l'eau sous l'influence de la mise en culture.

Etat actuel:Provisoirement mis en sommeil  
Localisation:Niger  
Participants:GATHELIER (+ missions CASENAVE)

**Programme 10**: Etude des transformations de quelques écosystèmes naturels en agrosystèmes au Brésil.

Etat actuel:En cours  
Localisation:Brésil  
Participants:LEPRUN

Le dernier programme est transversal à ces thèmes et même aux deux grands programmes de l'UR. Il s'agit d'une assistance aux autres études en matière de cartographie des états de surface et d'utilisation de la technique des pluies simulées.

**Programme 11**: Coordination des programmes de simulation de pluie en Afrique de l'ouest et centrale

Etat actuel:En cours  
Localisation:Togo,Burkina Faso,Sénégal.  
Participants:CASENAVE,VALENTIN,JANEAU.

En plus des programmes proprements dits, l'UR anime 3 groupes transversaux qui, budgétairement, sont considérés comme des programmes.

**Programme 12:** Groupe méthodologique de simulation de pluie.

**Programme 13:** Groupe de simulation numérique.

**Programme 14:** Groupe transfert d'échelles et hétérogénéité.

A ces programmes, actuellement en cours, s'ajoutent un certain nombre d'études qui se sont terminées pendant la période couverte par ce rapport.

**Programme 15:** Analyse du ruissellement à l'aide des techniques de simulation de pluies au Togo

Etat actuel: terminé fin 87

**Programme 16:** Analyse du ruissellement à l'aide des techniques de simulation de pluies en Côte d'Ivoire.

Etat actuel: terminé fin 87

**Programme 17:** Analyse du ruissellement à l'aide des techniques de simulation de pluies au Burkina Faso.

Etat actuel: terminé fin 87

**Programme 18:** Analyse du ruissellement à l'aide des techniques de simulation de pluies au Congo.

Etat actuel: terminé fin 87

**Programme 19:** Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (Nord Cameroun).

Etat actuel: terminé fin 87

**Programme 20:** Comportements hydrodynamiques et érosifs de sols de l'Afrique de l'ouest.

Etat actuel: terminé fin 88

**Programme 21:** Etude régionale des ressources en eau sur les bassins versants de la région d'Agadez.

Etat actuel: plus financé par l'UR depuis 87

**Programme 22:** Mécanismes de l'alimentation de la nappe de la cuvette d'Agadez.

Etat actuel: plus financé par l'UR depuis 87

**Programme 23:** Laboratoire d'hydrophysique.

Etat actuel: plus financé par l'UR depuis 89

**GRAND PROGRAMME 2B B :**  
**CARACTERISATION ET**  
**MODELISATION DU FONCTIONNEMENT**  
**HYDRIQUE DES ECOSYSTEMES**  
**NATURELS ET TRANSFORMES**

L'objectif affiché de ce grand programme, qui est au coeur de l'UR, est de décrire et mesurer le fonctionnement hydrique des écosystèmes mais aussi, et surtout, de le comprendre et d'analyser les mécanismes responsables de leurs évolutions. Les priorités scientifiques des différents programmes sont définies soit par la nature de l'écosystème étudié (fonctionnement géochimique pour le programme Casamance), soit par les possibilités locales de collaboration (étude de la végétation dans le programme Mapimi ou aspects agronomique et sociologique du programme Bidi).

Une des conséquences de la sécheresse qu'a subi l'Afrique soudano-sahélienne ces 20 dernières années, a été une modification des systèmes de production. Alors que traditionnellement, dans toute cette zone, les bas-fonds dont les sols sont difficiles à travailler et trop sujets à des inondations, n'étaient pas exploités, on constate, depuis plusieurs années, un regain d'intérêt pour ces zones, favorables à une mise en valeur agricole de par la richesse chimique des sols et surtout la disponibilité de ressources hydriques abondantes.

De très nombreuses régions semi-arides de par le monde, sont affectées, naturellement, de problèmes de salinisation des sols. Le développement, dans la plupart des pays du tiers monde, de grands périmètres agricoles, généralement irrigués, rend encore plus aigu ce problème. Cela explique qu'un des objectifs de l'UR soit l'évaluation des ressources hydriques en termes qualitatifs, définissant en particulier leur aptitude à être utilisées pour l'irrigation.

En fonction de leurs objectifs scientifiques, on peut regrouper les différents programmes en trois thèmes. Le premier a pour but principal de comprendre le fonctionnement hydrique d'écosystèmes peu transformés. Le second vise à mettre en évidence les évolutions que subissent certains écosystèmes sous l'effet de l'anthropisation. Le troisième est plus particulièrement consacré aux problèmes liés à la dynamique des éléments solubles dans les sols.

**THEME 1 - ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDRIQUE D'ECOSYSTEMES NON OU PEU ANTHROPISES**

**Programme 1 :** Programme Hydropédologique de recherche sur bassin versant en Côte d'Ivoire:HYPERBAV

Etat actuel: Synthèse.Fin prévue mi-89  
Localisation:Montpellier,Bondy,Paris,Nancy,Côte d'Ivoire  
Participants:BOA,CHEVALLIER,FRITSCH,IRIS(?), JANEAU,LEPAGE,MITJA,PLANCHON,TANO,VALENTIN.

**Programme 2 :** Etude des écosystèmes du Nordeste Brésilien.

Etat actuel:En cours  
Localisation:Brésil  
Participants:AUDRY,LARAQUE,LEPRUN,MOLINIER, DESCONNETS

**Programme 3 :** Etude intégrée des ressources en eau, sol et végétation en zone aride du nord Mexique.

Etat actuel:En cours  
Localisation:Mexique  
Participants:DELHOUME,ASSELINE, BESNARD,+ Thésards Mexicains

**Programme 4 :** Gestion intégrée des ressources naturelles.

Etat actuel:Démarrage mi-89  
Localisation:Costa Rica (CATIE)  
Participants:COLLINET

**THEME 2 - ETUDE D'ECOSYSTEMES TRANSFORMES : FONCTIONNEMENT ET AMENAGEMENT DES BAS-FONDS**

**Programme 5 :** Etude du ruissellement et de l'érosion sur bassin versant de la région de Bidi.

Etat actuel:En cours  
Localisation:Burkina Faso  
Participants:LAMACHERE,DELFIU,MAHIEUX + équipe UR 3G

**Programme 6 :** Etude des sols du domaine fluvio-marin de basse Casamance et de leur évolution en condition de sécheresse : sursalure et acidification.

Etat actuel:En cours  
Localisation:Sénégal, France  
Participants:ALBERGEL,BOIVIN,BRUNET,MONTOROI, MOUGENOT,TOUMA,ZANTE

**Programme 7:** Mise en valeur des bas fonds au Sahel: Typologie fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles.

Etat actuel: En cours  
Localisation: Sénégal, Mali  
Participants: ALBERGEL, BERNARD, GUIGUEN, PEPIN

**Programme 8:** Processus pédogénétiques particuliers aux sols évoluant sous l'effet d'un excès d'eau. Dynamique du fer dans les milieux saturés.

Etat actuel: En cours  
Localisation: Cadarache  
Participants: VIZIER

**Programme 9:** Dimensionnement et gestion de petits aménagements hydrauliques du sud Brésil.

Etat actuel: Démarrage prévue fin 89  
Localisation: Brésil  
Participants: CHEVALLIER

### THEME 3 - DYNAMIQUE DES ELEMENTS SOLUBLES DANS LES SOLS

**Programme 10:** Réévaluation de la potentialité des sols à croûtes (calcaires, gypseuse et salines) de Tunisie.

Etat actuel: Fin prévue en 89  
Localisation: Tunisie  
Participants: BLANCANEUX, + étudiants Tunisiens

**Programme 11:** Laboratoire des sols salés de Montpellier.

Etat actuel: En cours  
Localisation: Montpellier  
Participants: LOYER

**Programme 12:** Evolution de la salure des périmètres irrigués en Tunisie.

Etat actuel: Démarrage  
Localisation: Tunisie  
Participants: JOB

Là encore, certains programmes sont arrivés à leur terme pendant la période 86-88.

**Programme 13:** Etude de la relation entre les différents écoulements et la concentration en  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  à l'exutoire de petits bassins versants. Guyane.

Etat actuel: plus financé par l'UR depuis 88

**Programme 14:** Etude des sols fortement déséquilibrés de Nouvelle Calédonie.

Etat actuel: plus financé par l'UR depuis 87

**Programme 15:** Prévision et contrôle de la salinité des sols des sols de périmètres irrigués.

Etat actuel: terminé fin 87

### 3. PRINCIPAUX RESULTATS

#### 3.1 Grand programme 2B A.

Les nouvelles synthèses des travaux antérieurs ont été principalement consacrées à la zone sahélienne.

RODIER et RIBSTEIN (1988) ont affiné la méthode de prédétermination des crues décennales des très petits bassins (< 10 Km<sup>2</sup>) en utilisant le concept de bassin fictif. A cette occasion ils ont mis au point un questionnaire permettant de corriger les résultats, en fonction des particularités des bassins non prises en compte. Ce questionnaire pourrait être l'amorce d'un système expert pour la prédétermination des crues des petits bassins sahéliens.

Pour les bassins de plus grande taille, une approche par modélisation mathématique a été proposée en distinguant les concepts de fonction de production et de fonction de transfert. SEGUIS (1986) a déterminé une fonction de production de l'écoulement, à l'échelle journalière, adaptée aux petits bassins sahéliens. Cette fonction basée sur la pluie et différents indices de précipitations antérieures, peut être régionalisée principalement à partir des caractéristiques des horizons superficiels des sols. RIBSTEIN (1989) a mis en évidence la spécificité hydrologique des petits bassins sahéliens et montré que le concept d'hydrogramme unitaire s'y applique parfaitement.

Le programme "minisimulateur" bien qu'il ait permis de mettre au point une nouvelle technique de détermination des crues décennales des petits bassins versants forestiers (CASENAVE, 1982, CASENAVE et al., 1986) s'est principalement développé en zone soudano-sahélienne.

Les travaux de COLLINET (1988) ainsi que l'analyse statistique, par ALBERGEL et al. (à paraître), des paramètres caractéristiques du milieu et de l'infiltration acquis sur 141 parcelles soumises à 860 averses simulées ont permis de faire ressortir les facteurs explicatifs de l'infiltration et du ruissellement sur une vaste zone géographique, et de hiérarchiser l'influence de ces différents facteurs. Ces résultats

sont à la base d'un nouveau mode de représentation cartographique du milieu où ne sont pris en compte que les variables conditionnant l'infiltration et le ruissellement (VALENTIN, 1986).

Ces études ont confirmé le rôle primordial des états de surface sur l'hydrodynamique, en zone soudano-sahélienne, déjà révélé par COLLINET et LAFFORGUE.

L'étude des processus et l'analyse des facteurs des réorganisations superficielles, associées à la description des microhorizons ont amené CASENAVE et VALENTIN (1988) à la définition d'une typologie morphogénétique des principales croûtes sahéliennes. De l'identification de ces grands types de croûte, et d'autres critères relatifs à l'activité faunique, à la couverture et au travail du sol, découle une typologie des principales surfaces élémentaires. A chacune correspond un comportement hydrodynamique particulier qui a été caractérisé par un certain nombre de paramètres de l'infiltration et du ruissellement.

A l'échelle directement supérieure, celle du petit bassin versant, la combinaison de ces surfaces élémentaires mène à la définition du concept d'état de surface, base d'une méthode cartographique originale. Les unités définies dans cette méthode répondent à des critères d'homogénéité tant au niveau de leur dynamique évolutive qu'à celui de leur fonctionnement hydrologique.

Un modèle de reconstitution des lames ruisselées, basé sur cette cartographie des états de surface et sur la détermination sous pluies simulées des fonctions de production du ruissellement a été mis au point (ALBERGEL et al., 1986; ALBERGEL, 1987; THEBE, 1987).

CHEVALIER (1985) et ALBERGEL (1987) ont étendu l'utilisation pratique de cette nouvelle méthodologie en la couplant à la modélisation à petit pas de temps et à l'extension (ou la transposition) des cartes des états de surface par télédétection.

On a montré ainsi, qu'en zone sahélienne, la conjugaison des études sous pluies simulées, de la télédétection et d'une modélisation à petit pas de temps constitue un outil performant pour la simulation des écoulements, la prédétermination des crues de fréquence rare et la transposition des résultats à un bassin non observé.

La conception de modèles déterministes dont les paramètres de calage auraient une signification physique paraissait une voie de recherche intéressante pour l'extension pratique de ces résultats. Le programme HYDROPHYS, consacré à ce sujet, semble malheureusement abandonné par son responsable après avoir pourtant donné quelques résultats prometteurs.

Les résultats de toutes ces études (mais aussi celles du grand programme 2B B) avaient mis en évidence la nécessité d'une caractérisation plus fine des processus de l'infiltration. C'était le rôle normalement dévolu au programme 2B A1, malheureusement très retardé par les fonctions administratives occupées par son responsable et au laboratoire d'hydrophysique dont les programmes ont également été retardés, d'abord par

les difficultés pratiques de mise en place du matériel puis par le départ de son animateur.

Là encore, l'extension des résultats obtenus en laboratoire ou sur les parcelles de simulation de pluie passe par la modélisation. Deux modèles de simulation numérique de l'infiltration dans un sol encroûté ont été réalisés et sont en cours de test (TOUMA, à paraître).

A l'occasion des études sous pluies simulées, des bassins versants antérieurement étudiés ont été remis en service. On a ainsi mis en évidence des modifications considérables du comportement hydrologique de certains de ces bassins (ALBERGEL, 1987; ALBERGEL et VALENTIN, 1986; ALBERGEL et GIODA, 1986). Ces changements de comportement résultent de modifications des états de surface sous l'action conjuguée de la sécheresse et de la pression anthropique. Ainsi est apparue la nécessité de développer des études sur les conséquences, souvent catastrophiques, de l'anthropisation, en vue d'une meilleure gestion des ressources en eau, sol et plantes.

L'étude du bassin de Kountkouzout au Niger montre qu'un mode de mise en culture bien adapté peut être un frein à la dégradation du milieu (GATHELIER, 1988). L'intérêt d'aménagements bien conçus, que ce soit sur l'érosion ou sur la recharge des réserves hydriques des sols, ressort également des travaux de PONTANIER et al. (1988) dans le nord du Cameroun, de ceux de POSS et al. (1988) au Togo ou des études de COLLINET (1988) sous pluies simulées. Des travaux similaires sont actuellement en cours sur d'autres milieux en Tunisie (programmes 2B A7 et 2B A8). Enfin une synthèse, couvrant tout le Brésil, sur les conséquences de la mise en culture sur la dégradation des sols, est en cours de rédaction.

### 3.2 Grand programme 2B B.

Les principaux résultats des trois programmes du premier thème (Hyperbav, N.E. Brésil et Mapimi) sont similaires. Ils concernent une caractérisation très fine du milieu à des échelles qui vont du microscopique (étude de la porosité) à celle du paysage (organisation tridimensionnelle de la couverture pédologique de petits bassins versants) et une détermination des fonctions de production de l'infiltration et du ruissellement à ces mêmes échelles. A partir de cette caractérisation ont été mis en évidence les principaux facteurs influençant le déterminisme de la circulation de l'eau et des matières dans les différents écosystèmes.

Cette première étape de l'élaboration d'un modèle de fonctionnement des petits bassins, qui consiste à identifier et à quantifier les flux doit être suivie d'une seconde étape pour intégrer ces flux dans l'espace. Ce qui pose, une nouvelle fois, le problème des effets d'échelle. Malgré l'analyse détaillée du milieu et de son fonctionnement qui a été faite, seule l'équipe du N.E. Brésil, du fait d'une répartition très favorable des caractéristiques pédologique (la proportion de sols perméables augmente avec la surface considérée), a réussi à quantifier ces effets, au moins entre le m<sup>2</sup> et l'hectare. Il

ne semble pas que l'utilisation de la géostatistique (Hyperbav mais aussi Casamance) apporte une solution à ce problème.

On doit noter qu'une bonne partie des résultats obtenus dans le cadre de ces programmes ont des conséquences pratiques immédiates pour l'exploitation de ces milieux. La connaissance du fonctionnement hydrique de ces écosystèmes permet de définir les précautions à prendre pour les exploiter sans les dégrader.

Dans le cadre du contrat CEE/CIEH/ORSTOM/CIRAD, des programmes préexistants ont été réorientés, en 88-89, vers l'étude des bas-fonds (Casamance, Bidi), mais ces programmes, dans leur phase initiale avaient déjà donné un certain nombre de résultats.

L'étude des parcelles agronomiques de Bidi a mis en évidence l'effet bénéfique d'un aménagement en cordons pierreux et du labour isohypses tant sur les rendements (accroissement en grain sec de 20 à 40 %) que sur l'infiltration (augmentation de 20 % du volume infiltré pour les fortes pluies) ou l'érosion (écrêtage important des crues). La caractérisation des états de surface par télédétection a été améliorée, tant en Casamance qu'à Bidi, mais les résultats ne sont encore que partiels et ces études doivent être poursuivies.

Les précisions obtenues sur les processus d'adsorption et de désorption ont permis de compléter un schéma général des mécanismes modulant la mobilité du fer ferreux dans les milieux saturés d'eau. Ces recherches sur la mobilité du fer ou celles sur la libération de l'aluminium dans les milieux très acides de basse Casamance, ont des implications évidentes au niveau agronomique, du fait de la toxicité de ces éléments et s'intègrent parfaitement à la problématique des études des bas-fonds.

Les études géochimiques, dont nous avons regretté, dans notre dernier rapport, le faible développement, semblent connaître un regain d'intérêt (Brésil, Sénégal, Tunisie). Les résultats les plus marquants en sont:

La mise au point d'un modèle hydrochimique qui permet de reconstituer l'évolution de la qualité de l'eau dans un réservoir soumis à l'évaporation et la mise en évidence des facteurs qui régissent ces évolutions.

La mise au point d'une nouvelle méthodologie de cartographie de la salure basée sur l'utilisation de la conductivimétrie électromagnétique et de techniques d'interpolation par krigeage. Cette nouvelle technique qui permet un suivi fiable de l'évolution de la salinité, en conditions naturelles ou sous irrigation, doit être largement utilisée dans le nouveau programme 2B B12.

#### 4. PERSPECTIVES.

Les perspectives dérivent directement des objectifs et des résultats. Un certain nombre des objectifs visés par l'UR n'ont pas encore été atteints et les études doivent se poursuivre. Certains résultats entraînent des développements nouveaux qui doivent être mis en oeuvre dans les années à venir.

Bien que des résultats tangibles sur les processus des réorganisations superficielles aient déjà été obtenus (VALENTIN, 1981; COLLINET, 1988; POSS et al., 1988; PLEUVRET, 1988), leur importance sur l'hydrodynamique est telle, qu'elle justifie un nouveau programme sur ce sujet (programme 2B A3).

Le retour de RIEU, VALENTIN et POSS en métropole, le rattachement de BRAUDEAU à l'UR 2B, devraient permettre de relancer le laboratoire d'hydrophysique et les programmes de caractérisation des processus de l'infiltration, en liaison avec les équipes outre-mer (particulièrement celle de Dakar).

Comme nous l'avons vu, les efforts de synthèse et de compréhension des phénomènes se sont portés en priorité sur la zone sahélienne. Il conviendrait d'étendre ces recherches à des zones plus arrosées, mais cela pose un important problème de disponibilité du personnel nécessaire à ces travaux.

Les tentatives de modélisation du fonctionnement hydrologique du bassin de Booro-Borotou, ont mis en évidence certaines lacunes des modèles hydrologiques, classiquement employés à l'ORSTOM, en particulier, pour le modèle couplé l'incapacité à prendre en compte les mécanismes variables de la production de l'écoulement. La mise au point de nouveaux types de modèles, s'appuyant en particulier sur les facilités de représentation du milieu offertes par les MNT, et permettant une représentation des transferts d'eau, mais aussi des matières (problèmes d'érosion ou de DRS) doit être tentée. Une application immédiate pourrait en être faite dans le cadre du nouveau programme 2B B9 essentiellement centré sur des problèmes d'érosion.

Les programmes "bas-fonds" qui en sont à la phase d'acquisition des données sur le terrain doivent être poursuivis. La synthèse générale des résultats est prévue pour 1992, pour ce qui est du contrat CEE, mais des développements ultérieurs, en particulier pour l'aspect typologie, sont à prévoir.

L'étude des problèmes de salinisation liés à l'irrigation doivent connaître de nouveaux développements principalement dans le cadre du programme 2B B12, mais aussi dans le N.E. Brésil et au Sénégal (programme "Fleuve").

Tous les programmes, ou presque, de l'UR se heurtent au problème de l'extension ou de la transposition de résultats quasi-ponctuels (laboratoire, parcelles, microbassins) à des surfaces plus importantes qui ne peut se faire, à l'heure actuelle, que de façon empirique et très approximative, faute de pouvoir quantifier les "effets d'échelle".

La compréhension et la quantification de ces "effets d'échelle" devraient être l'objectif prioritaire de l'UR dans les prochaines années.

C'est dans cette optique que l'UR prévoit de participer activement au programme HAPEX-SAHEL développé par l'UR 1B. Ce projet, qui vise à déterminer les interactions entre le sol et l'atmosphère, nécessite de mesurer les différents termes du bilan hydrologique. Pour ce faire, il est prévu d'installer une dizaine de bassins versants sur le degré carré étudié, à proximité de Niamey (2-3° E. et 13-14°N.). Ces bassins, d'une superficie allant de 1 à 1000 Km<sup>2</sup>, avec des compositions d'états de surface contrastées, doivent permettre d'étudier les effets d'échelle, en prenant en compte, de plus, le phénomène de dégradation hydrologique caractéristique des réseaux hydrographiques sahéliens.

## 5. VALORISATION

La première valorisation des travaux de l'UR, ce sont les publications. Les membres de l'UR 2B ont publiés, au cours des deux années couvertes par ce rapport, 160 rapports en littérature grise mais aussi 9 thèses et 50 articles dans des ouvrages de synthèse ou dans des revues.

L'UR a été également présente dans un nombre important de manifestations scientifiques régionales, nationales et internationales, où ses membres ont présenté 66 communications, notamment aux:

-Journées GFHN, Angers, 1986.

-Colloque international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse. C.I.E.H., Ouagadougou, 1986.

-XIXème journées de l'hydraulique de la S.H.F. Paris, 1986.

-Colloque Nordeste-Sahel, IHEAL, Paris, 1986.

-Conférence internationale MEDECOS V, Montpellier 15-21 juillet 1986.

-Symposium ISPRS "Remote sensing for ressources development and environmental management". ENSCHEDE, 1986.

-3eme Symposium international sur les sols sulfatés acides, DAKAR, 1986.

- Symposium INQUA ASEQUA: Changements globaux durant le quaternaire, Passé, Présent, Futur. , DAKAR, 1986.
- Journées AFEID, Montpellier, septembre 1986.
- 1<sup>er</sup> Réunion de concertation Bénino-Togolaise sur la Fertilité des sols, Lomé, 15-17 décembre 1987.
- 8<sup>er</sup> Réunion Comité ouest et centre Africain de corrélation des sols (Yaoundé, 19-28 janvier 1987).
- Symposium IAHS The influence of climate change and climatic variability on the hydrologic regime and water resources, Vancouver, Aug. 1987.
- Séminaire régional de Yaoundé sur les latérites, 1987.
- Second Symposium on Resources of the Chihuahuan Desert Region, United States and Mexico. Chihuahuan Desert Research Institute, Alpine, Texas, USA. 1987.
- XX<sup>e</sup> Congrès de la Société Méicaine de la Science du Sol, Zacatecas, Mex., 11 au 14 novembre 1987.
- ATP Dynam. Cations, Montpellier, 13-14 décembre 1988.
- Colloque Direct. nation. rech. scient., Lomé, 17-20 février 1988.
- 9<sup>er</sup> Réunion ouest et centre Afric. de corrélation des sols, Cotonou, 13-23 novembre 1988.
- SEMINFOR, ORSTOM, Montpellier, 1988.
- Journée Matière organique, Bondy, 1988.
- Intern. Symposium on Sediment Budgets, IAHS, Porto Alegre, 11-15 décembre 1988.
- 14<sup>ème</sup> Conseil des Ministres du CIEH, journées techniques, 9-11 février 1988.
- Third International Geostatistics Congress, 5-9 sept. 1988, Avignon.
- Journées Hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier, 1988.
- Séminaire sur les techniques d'aménagement des bas-fonds. Ouagadougou, 25-27 avril 1988.
- Journées informatiques de DAKAR, oct. 1988.
- Colloque CNES, SPOT 1 Utilisation des images, Bilan, résultats. CEPADUES, 1988.
- 2<sup>ème</sup> Journées de l'eau au Sénégal, Eau et Développement, 8-10 déc. 1988, DAKAR.

-XXI<sup>e</sup> Congrès National de la Société Nationale de Science du Sol du Mexique, Ciudad Juarez, Chih., Mex., 8 au 11 nov. 1988.

-Séminaire "SCOPE-ICSU (Scientific Committee on Problems of the Environment, International Council of Scientific Unions)", Paris, 12-16 déc., 1988.

-Third International Rangeland Congress, New-Delhi, India, nov. 7-11, 1988.

-Séminaire UNESCO sur l'état de l'art en hydrologie et en hydrogéologie dans les zones arides et semi-arides d'Afrique. Ouagadougou, Fevr. 1989.

-Colloque Conseil Général de la Guadeloupe, Pointe à Pitre, 18-20 avril 1989.

-Premier Séminaire franco-africain de Pédologie tropicale, SOLTROP, Lomé, 6-12 février 1989.

-VII Simposio brasileiro de hidrologia e recursos hidricos. Foz do Iguaçu, nov. 89.

-XXII congrès de Science du Sol, Récife, 23-31 juillet 1989.

La valorisation passe aussi par les tâches d'enseignement ou d'encadrement de jeunes chercheurs. Presque toutes les équipes de l'UR participent à ces tâches, mais plus particulièrement celles de "l'étranger traditionnel", dans les structures locales dans lesquelles elles sont insérées (Tunisie, Brésil, Mexique).



**3<sup>ème</sup> PARTIE**  
**PROGRAMMES EN COURS**

**PROGRAMME 2B A1****STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DES MILIEUX  
POREUX.****EQUIPE.**

RIEU

**JUSTIFICATION, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

La simulation numérique du transfert et de l'équilibre des solutions dans le sol est fondée sur les lois générales de l'hydrodynamique et de la thermodynamique. Les particularités structurales des sols ne peuvent être prises en compte que de manière approximative en aménageant les modèles idéaux: la phase liquide est décomposée en fractions plus ou moins mobiles et actives. Une autre solution, peu utilisée encore, consiste à déduire de l'analyse de la structure et du mode d'assemblage des sols les éléments nécessaires à la simulation de leur comportement hydrodynamique.

L'objectif du programme est de préciser les relations de causalité entre l'organisation de l'espace poral du sol et ses propriétés hydrodynamiques et thermodynamiques.

Le produit attendu est une simplification de la conception des modèles de simulation et surtout de l'acquisition des caractéristiques hydrodynamiques des sols. A terme c'est la prévision de la salinisation secondaire des sols liée à l'irrigation qui est visée.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

Ce programme a été très retardé du fait des fonctions administratives occupées par son responsable.

**PERSPECTIVES.**

Participation au programme CEE "effects of irrigation on the soil quality of reclaimed areas in Las Marismas". Modèle numérique de transfert de solutions et d'équilibre.

Développement dans le cadre du laboratoire d'hydrophysique (Boivin, Braudeau, Perrier, Rieu, Valentin) des programmes suivants:

- Validation des paramètres de la courbe de retrait,
- validation des paramètres fractals de la structure,
- étude de l'équilibre hydrostatique d'une colonne de sol gonflant au banc gamma.

**BIBLIOGRAPHIE.**

Deux articles sont en préparation à Berkeley sur l'application de la géométrie fractale à l'analyse de la structure des sols.

**PROGRAMME 2B A2**

**DYNAMIQUE DE L'EAU ET DES ELEMENTS MINERAUX  
AU TOGO MERIDIONAL.**

**EQUIPE.**

POSS, FORGET, SARAGONI (IRAT)

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Dans un contexte de surexploitation et de dégradation des sols dans une région agricole capitale pour le Togo, le programme vise à préciser:

-La dynamique de l'eau dans les terres de Barre en sol nu et cultivé en maïs afin d'approcher:

. la pénétration de l'eau dans les sols et les moyens de l'améliorer,

.la consommation en eau du maïs et ses relations avec le rendement,

.le drainage en dessous de la zone d'extraction racinaire.

-La dynamique des éléments minéraux et leur lixiviation par drainage profond.

En dehors des résultats fondamentaux sur la compréhension de la dynamique de l'eau et des éléments minéraux, ce programme doit permettre de:

. définir un meilleur calage des cycles culturaux,

. optimiser les apports minéraux.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

Débutée en 1984, la phase de terrain du programme s'est achevée fin 1988. Les résultats concernant la consommation en eau des plantes ont été exploités et publiés. Ceux relatifs à l'infiltration de l'eau dans le sol ont été dépouillés et publiés sous forme de rapports. Ils seront repris ultérieurement sous forme d'articles. Les résultats concernant la dynamique des éléments minéraux sont partiellement dépouillés, mais des résultats d'analyse manquent encore pour effectuer une interprétation générale. Les données concernant les relations entre la consommation en eau et les paramètres climatiques sont saisies sur support informatique, mais n'ont pas été interprétées.

## Dynamique de l'eau dans le sol

### Pénétration de l'eau dans le sol

Des campagnes de simulation de pluie ont été réalisées sous forêt relictuelle, dans les jachères et sur des parcelles cultivées avec différents types de travail du sol.

Sur les parcelles labourées planées, l'intensité d'infiltration est de l'ordre de  $20 \text{ mm.h}^{-1}$ , quelle que soit l'intensité de la pluie. Dès que le sol est protégé de l'impact des gouttes de pluie, que ce soit par un mulch naturel de feuilles sous forêt, par la couverture herbacée sous jachère, ou par un mulch d'herbes apporté sur sol labouré, il n'y a aucun ruissellement. C'est donc la surface du sol, dont les propriétés sont modifiées par l'impact des gouttes d'eau, qui conditionne l'entrée de l'eau dans les sols cultivés. Il s'agit d'un caractère zonal des régions sahéliennes, qui se retrouve ici, sur les sols cultivés, dans une zone plus arrosée.

Pour comprendre les mécanismes en jeu, l'évolution des états de surface a été suivie au cours des pluies. Les organisations observées sont cohérentes avec les résultats obtenus par l'Institut au Sahel, et elles rendent bien compte des infiltrabilités obtenues. Une étude expérimentale au laboratoire a permis de mettre en évidence la succession des processus élémentaires qui conduisent à l'individualisation des organisations pelliculaires décrites sur le terrain.

Au cours des premières minutes de pluie sur un champ labouré, l'infiltrabilité diminue très rapidement sur les terres de Barre: le labour à plat n'est donc pas une solution pour lutter contre le ruissellement et l'érosion. La confection de billons favorise l'entrée de l'eau dans le sol, mais c'est au prix d'une détachabilité d'autant plus importante que le microrelief est plus accentué: cette technique ne doit donc être utilisée que dans le cas de culture isohypse, sous peine d'une érosion très importante. Comme les hauteurs précipitées et les intensités sont modérées au sud-Togo, le risque de rupture de billons est très faible. Mais la technique de lutte anti-érosive la plus efficace est la protection de la surface du sol contre l'impact de gouttes de pluie, qui devra être utilisée en priorité lorsque c'est techniquement et humainement possible. (Publications:18,23)

### Circulation et stockage de l'eau dans les sols

L'étude des cinétiques de ressuyage, sur les différentes parcelles étudiées, a permis de déterminer les coefficients de conductivité hydraulique de la loi de Darcy  $K(\theta)$  et  $K(h)$ . Une étude méthodologique a ensuite été réalisée, ce qui a permis de montrer que la meilleure évaluation du drainage à la base des profils résultait, sur terres de Barre, de l'utilisation des relations  $k(h)$ . Le drainage à l'échelle journalière a pu être calculé pour deux parcelles sur trois ans.

Le stockage de l'eau dans le sol, dans tous les horizons compris entre la surface du sol et 1,5 m de profondeur, a été évalué à partir du suivi, à l'humidimètre à neutrons, du ressuyage d'un sol préalablement humecté et bâché. Une valeur d'humidité a été retenue comme "capacité au champ", ce qui a permis, par différence avec l'humidité à pF 4,2, de calculer la "réserve utile" sur l'ensemble du profil. (Publications:2,3,4,6,9,10,19,22)

#### Consommation en eau du maïs et simulation du bilan hydrique.

Le suivi tensio-neutronique journalier de parcelles cultivées a permis de calculer l'ETR de plusieurs variétés de maïs, avec des conditions d'alimentation hydrique et minérale contrastées. Pour deux variétés, pour lesquelles la croissance a été optimale, des coefficients culturaux ont pu être établis.

Pour généraliser les résultats dans le temps et dans l'espace, un modèle de simulation (BIP) a été utilisé, après lui avoir apporté quelques améliorations et l'avoir validé. L'utilisation de ce modèle a permis de mettre en évidence une forte liaison entre deux paramètres de l'alimentation hydrique de la plante et le rendement au champ. La recherche d'une optimisation de ces paramètres a ensuite conduit à définir les dates de semis optimales au sud-Togo. Ces dates sont dès maintenant utilisées par certains organismes de développement nationaux. Par ailleurs, ce travail a conduit à s'intéresser à la pluviométrie et à ses éventuelles variations. Il a été prouvé qu'il n'y avait, actuellement, aucune évolution du climat vers l'aridité, sur l'ensemble du territoire togolais.

La prolongation de ce volet du programme est un projet réalisé par le service national d'agroclimatologie, avec l'appui du CIRAD, pour effectuer une étude du même type à l'échelle de l'ensemble du Togo. (Publications:1,5,7,8,11,15,17,20,25,26,28,29,30)

#### Dynamique des éléments minéraux.

##### Circulation des éléments minéraux dans le sol.

L'étude de la concentration de la "solution du sol" a été réalisée à l'aide d'une centaine de capteurs de solution en céramique, implantés à différentes profondeurs et relevés tous les quinze jours.

Après détermination des concentrations des différents ions au laboratoire, le couplage avec les valeurs de drainage a permis de calculer les pertes par lixiviation à la base du profil. Il apparaît que les éléments les plus entraînés sont le calcium, la magnésium et l'azote, dont les cinétiques sont liées. Par contre le potassium migre peu, même lorsqu'il est apporté à des doses assez élevées (150 K<sub>2</sub>O/ha).

Par ailleurs, l'apport d'engrais potassique à la surface du sol se traduit par un pic de concentration à 30 cm. Mais ce pic est de courte durée, et la valeur initiale est retrouvée un mois et demi après l'apport. Aussi un essai d'apport fractionné a-t-il été réalisé. Il a montré qu'il était possible ainsi d'étaler le pic. L'interprétation des nombreux chiffres obtenus n'est encore que partielle, et elle sera poursuivie. (Publications:13,14,24,27)

### Bilan minéral

Afin d'effectuer un bilan minéral complet du sol, des analyses sont en cours pour quantifier les exportations, les restitutions et les éléments fixés dans le sol. Les premiers résultats montrent que les terres de Barre peuvent rétrograder une partie du potassium apporté. Ce comportement, étonnant pour de vieux sols ferrallitiques, s'explique par la présence d'interstratifiés résultant de l'altération de micas. Ces minéraux ont été mis en évidence au microscope électronique et par diffraction. Ce résultat éclaire d'un jour nouveau les problèmes de fertilisation potassique des terres de Barre. (Résultats inédits)

### **PERSPECTIVES.**

Les résultats seront interprétés par SARAGONI, au Togo, pour tout ce qui concerne l'agronomie et la circulation des éléments minéraux, et par POSS, en France, pour la dynamique de l'eau et les aspects directement liés au sol.

Un article sur la dynamique des éléments minéraux est prévu pour l'Agronomie Tropicale en 89, suivi en 90 d'une synthèse sur l'expérimentation agronomique, d'un article sur le bilan minéral et d'une communication sur le rôle de faibles quantités d'interstratifiés sur le comportement du complexe d'échange des terres de Barre. POSS utilisera une partie des résultats pour rédiger une thèse qui devrait être soutenue en 90 ou 91.

Au Togo ce programme s'achève, mais des études du même type vont être réalisées sur d'autres sols et avec d'autres plantes.

### **BIBLIOGRAPHIE.**

#### Revues

1. FRETEAUD J.P., POSS R., SARAGONI H.-1987- Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tensio-neutroniques in situ (culture du maïs au Togo méridional). Agron. Trop., 42(2), 94-102.
2. POSS R.-1984- La précision du comptage neutronique avec l'humidimètre SOLO 25. Définition des protocoles de mesure. Bull. GFHN, 16, 109-122.
3. POSS R.-1987- BHYSON 1.2 Logiciel intégré pour le traitement des données d'humidimétrie neutronique. ORSTOM Paris, coll. LOGOR, 60p., 1disquette.

4. POSS R., SARAGONI H.-1987- Quelques problèmes posés par l'estimation du bilan hydrique en plein champ. Milieux poreux et transferts hydriques, 22, 32-46.
5. POSS R., SARAGONI H., IMBERNON J.-1988- Bilan hydrique simulé du maïs au Togo méridional. Réponse à l'eau, dates de semis et zonage agro-pédo-climatique. Agron. Trop., 43(1), 18-29.

#### Congrès et séminaires

6. POSS R.-1986- Un logiciel intégré pour le dépouillement des données neutroniques. Poster Journées GFHN (Angers)
7. POSS R.-1987- La modélisation de l'évapotranspiration d'un couvert de maïs: un moyen pour caler les dates de semis et pour définir les potentialités régionales. Comm. 1<sup>er</sup> Réun. concert. Bénino-Togol.Fert. sols (Lomé, 15-17 décembre).
8. POSS R.-1987- La dégradation des terres de Barre du Togo: mythe ou réalité ? Comm. 8<sup>ème</sup> Réun. Comité ouest et centre Afric. de corrélation des sols (Yaoundé, 19-28 janvier).
9. POSS R.-1988- Quelques voies d'étude actuelles de la dynamique de l'eau en zone intertropicale. Comm. ATP Dynam. Cations (Montpellier, 13-14 décembre).
10. POSS R., SARAGONI H.-1986- Choix d'une méthode d'approche du bilan hydrique en plein champ. Comm. Journées GFHN (Angers).
11. POSS R., SARAGONI H.-1988 - La simulation du bilan hydrique: un moyen pour définir les variétés, les dates de semis et les potentialités régionales. Comm. coll. Direct. nation. rech. scient. (Lomé, 17-20 février).
12. POSS R., SARAGONI H.-1988- Pour une meilleure utilisation de l'eau par le maïs: la simulation du bilan hydrique. Comm. 9<sup>ème</sup> Réunion ouest et centre Afric. de corrélation des sols (Cotonou, 13-23 novembre)
13. SARAGONI H.-1987- Etude de la composition de la solution du sol des terres de Barre à l'aide de capteurs en céramique poreuse. Comm. 1<sup>er</sup> Réun. concert. Bénino-Togol.Fert. sols (Lomé, 15-17 décembre).
14. SARAGONI H., POSS R.-1988- Etude de la composition de la solution du sol des terres de Barre du sud Togo à l'aide de capteurs en céramique poreuse. Comm. ATP Dynam. Cations (Montpellier, 13-14 décembre).

#### Littérature grise

15. ATI A.-1987- Recherche des relations entre consommation en eau et rendement du maïs en milieu paysan (Togo méridional). ORSTOM, Lomé, multigr., 20 p.
16. DOME D.-1985- Carte pédologique de la région de Tsévié (Togo) au 1/50.000. Contribution à l'étude pédo-agronomique des terres de Barre du Togo. ORSTOM, Lomé, multigr., 138 p.
17. IMBERNON J., SEGUIS L., POSS R.-1987- Etude agroclimatologique 1<sup>ère</sup> phase de la double culture maïs-coton dans la région de Notsé au Togo. ORSTOM-IRAT, multigr., 22p., 10 annexes.

18. PLEUVRET C.-1988- Infiltration et réorganisations superficielles sous pluies simulées. Cas des sols ferrallitiques du sud Togo. DEA pédologie (Paris VI), multigr., 79p.
19. POSS R.-1986- Logiciels de traitement des données d'humidimétrie neutronique sur micro-ordinateur compatible IBM-PC. ORSTOM, Lomé, multigr., 54 p.
20. POSS R.-1988- La pluviométrie du Togo et la culture du maïs. Emission "24 heures en Afrique". RFI, 17 février.
21. POSS R., SARAGONI H.-1987- Calage du cycle cultural du maïs et zonage pédo-climatique au Togo méridional. ORSTOM, Lomé, multigr., 10 p.
22. POSS R., SARAGONI H., FORGET A.-1985- Etude des conductivités hydrauliques dans les terres de Barre. ORSTOM, Lomé, multigr., 35 p.
23. POSS R., SARAGONI H., FORGET A.-1988- La pénétration de l'eau dans les terres de Barre. ORSTOM-IRAT-DRA, multigr., 72 p.
24. SARAGONI H.-1985- Etude de la composition de la solution du sol des terres de Barre à l'aide de capteurs en céramique poreuse (1<sup>e</sup> année). DRA (Togo), multigr., 16 p.
25. SARAGONI H.-1985- Croissance et développement d'une culture de maïs (1<sup>e</sup> année). DRA (Togo), multigr., 16 p.
26. SARAGONI H.-1986- Croissance et développement d'une culture de maïs (2<sup>e</sup> année). DRA (Togo), multigr., 28 p.
27. SARAGONI H.-1986- Etude de la composition de la solution du sol des terres de Barre à l'aide de capteurs en céramique poreuse (2<sup>e</sup> année). DRA (Togo), multigr., 19 p.
28. SOGBEDJI M.-1986- Alimentation en eau du maïs dans la région maritime et influence de la fumure potassique sur la culture. Mém. ESA (Togo), multigr., 92 p.
29. SOGBEDJI M.-1987- Etude de la pluviométrie du Togo méridional. ORSTOM, Lomé, multigr., 25 p.
30. SEGUIS L.-1988- La pluviométrie au Togo: caractérisation agronomique. ORSTOM, Lomé, multigr., 24 p, 7 annexes.

**PROGRAMME 2B A4**

**MODELISATION DES ECOULEMENTS EN FONCTION  
DES CARACTERISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES.**

**EQUIPE.**

IBIZA

Pas de contribution au rapport de l'UR.

**PROGRAMME 2B A5****SIMULATION NUMERIQUE DES TRANSFERTS DANS LES SOLS.****EQUIPE.**

TOUMA

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Ce programme se propose d'étudier les transferts dans les sols par résolution numérique des équations qui les décrivent et de dégager les facteurs qui les influencent.

Ces modèles, une fois validés, permettent:

-L'étude d'un même processus sous différentes conditions. La voie numérique est, en ce domaine, plus rapide et plus économique que la voie expérimentale.

-de faire des prévisions ce qui est particulièrement intéressant lorsque plusieurs scénarios sont envisagés à des fins d'aménagement.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

-Mise au point de deux modèles de simulation de l'infiltration dans un sol encroûté:

.le premier est fondé sur l'approche classiquement considérée dans la littérature; à savoir que la croûte existe et est saturée préalablement à l'infiltration. La résistance hydraulique et l'épaisseur définissent entièrement les caractéristiques de la croûte dans ce cas.

.le second modèle est construit sur l'hypothèse que la croûte est formée par un sol similaire, au sens hydrodynamique, au sol sous-jacent. Cette considération permet de déduire les caractéristiques de la croûte de celles du sol qu'elle surmonte, moyennant un facteur d'échelle constant. L'hypothèse de saturation préalable de la croûte n'est pas nécessaire dans ce cas.

Il faut noter qu'aucun des deux modèles ne tient compte du mécanisme de genèse de la croûte. En effet les résultats publiés dans la littérature montrent que dans les sols naturels sujets à la formation d'une croûte en surface, celle-ci résulte d'une transformation de la structure du sol au cours de l'infiltration. On peut cependant penser que la seconde approche est plus réaliste pour étudier l'infiltration dans des sols déjà encroûtés, notamment en zone sahélienne, où

l'hypothèse de saturation de la croûte avant l'infiltration est difficilement acceptable.

La comparaison des résultats des deux modèles devrait permettre d'une part, d'apprécier l'incidence de l'hypothèse de saturation de la croûte avant l'infiltration et, d'autre part, d'élaborer des modèles simplifiés qui puissent tenir compte de ce phénomène de façon satisfaisante.

Les deux modèles sont en cours d'exploitation. Les résultats feront l'objet d'une publication.

-Etude de la structure d'un modèle pour simuler l'infiltration telle qu'elle a lieu sous pluie simulée, en tenant compte de l'aspect bidimensionnel de l'écoulement. La comparaison des résultats fournis par ce modèle et ceux donnés par un modèle d'infiltration verticale permettrait d'apprécier l'importance de la composante latérale de l'écoulement suivant la nature du sol. Une éventuelle extension de cette étude serait la possibilité de tenir compte, même de façon approximative, de la composante latérale lors du dépouillement des essais de caractérisation hydrodynamique du sol, effectués au simulateur de pluie.

-Mise en place d'une expérimentation pour mesurer le temps d'apparition du ruissellement en fonction de l'intensité de la pluie et relier la courbe obtenue avec les caractéristiques du sol. Cette expérience est actuellement en cours. Le protocole a été défini de façon à permettre de quantifier les erreurs de mesures, inhérentes à l'utilisation de l'humidimètre neutronique, avec une précision satisfaisante.

#### PERSPECTIVES.

-Mise au point du modèle de simulation correspondant à l'infiltration sous pluie simulée.

-Etude de la structure d'un modèle tenant compte de la présence de végétation et donc de la consommation racinaire et, éventuellement de l'évapotranspiration.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- BOIVIN P., TOUMA J., ZANTE P.-1988- Mesure de l'infiltrabilité du sol par la méthode du double anneau. 1. Résultats expérimentaux. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XXIV (1)
- TOUMA J., BOIVIN P.-1988- Mesure de l'infiltrabilité du sol par la méthode du double anneau. 2. Résultats numériques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XXIV (1)
- BOIVIN P., TOUMA J.-1988- Mesure de l'infiltrabilité du sol par la méthode du double anneau. 3. Variabilité spatiale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XXIV (2)
- TOUMA J.-1988- Modélisation de l'infiltration dans les sols non saturés. Comm. à SEMINFOR, ORSTOM, Montpellier.
- TOUMA J., CHEVILLOTTE H.-1988- Ajustements non linéaires par des méthodes analytiques et non analytiques. Comm. à SEMINFOR, ORSTOM, Montpellier.

**PROGRAMME 2B A6**

**PROCESSUS DE FORMATION DES CRUES DANS LE SAHEL  
(FORCRUSA)**

**EQUIPE.**

RIBSTEIN, RODIER

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Le programme FORCRUSA s'intègre dans une synthèse des données obtenues sur les bassins représentatifs et expérimentaux étudiés par l'ORSTOM, commencée dans les années 70 par VUILLAUME.

L'objectif propre de FORCRUSA est de faire, à partir des données d'une soixantaine de bassins sahéliens inférieurs à 100 Km<sup>2</sup>, une analyse fine des relations pluie-débit, afin d'améliorer les méthodologies de prédétermination des crues. On peut distinguer dans ce programme 4 parties:

-La prédétermination des crues sur les bassins inférieurs à 10 Km<sup>2</sup>.

-La modélisation des écoulements à l'échelle journalière.

-La modélisation des crues à petit pas de temps.

-La synthèse du programme sous forme de propositions pour une nouvelle méthodologie de prédétermination des crues sur des petits bassins sahéliens non jaugés.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

Avant cette étude, les méthodes de prédétermination en usage pour les très petits bassins (< 10 Km<sup>2</sup>) étaient imprécises. Pour ce type de bassins, les temps de montée et de base très courts interdisent le recours à une modélisation à petit pas de temps. C'est pourquoi RODIER et RIBSTEIN ont traité séparément ces très petits bassins en proposant une méthodologie de prédétermination des crues plus empirique que celle utilisée sur des bassins plus grands.

A partir des données de 29 petits bassins, les auteurs ont recalculé les caractéristiques hydrologiques (coefficient de ruissellement, paramètres de l'hydrogramme type) des fortes crues observées. Ils proposent d'utiliser le concept de bassins fictifs pour étudier l'ensemble des variations possibles des facteurs explicatifs (hauteur de pluie, superficie, pente et perméabilité du bassin) de la crue prédéterminée. L'élaboration d'un questionnaire (joint à la méthode proposée) permet de considérer des valeurs extrêmes de certains facteurs, non pris en compte dans la méthode.

Pour les bassins sahéliens compris entre 10 et 100 Km<sup>2</sup>, une approche par modélisation mathématique a été proposée en distinguant les concepts de fonction de production et de fonction de transfert. Le travail de SEGUI (1986) a concerné la recherche d'une fonction de production à l'échelle journalière adaptée aux petits bassins sahéliens et la régionalisation de cette fonction, dans un souci d'application à des bassins non jaugés. Cette fonction, identifiée sur plus de 20 bassins à partir de régressions multilinéaires, explique la lame écoulée à partir de la pluie et de différents indices de précipitations antérieures. La régionalisation de cette fonction s'est appuyée sur la nature du substratum et sur la répartition et l'extension des zones à faible, moyenne ou forte potentialité au ruissellement. Ces zones ont pu être définies principalement à l'aide de descriptifs des horizons superficiels des sols. La thèse de SEGUI peut aussi être considérée comme une synthèse sur l'utilisation des indices de précipitations antérieures pour la prédiction des lames ruisselées au Sahel.

La thèse de RIBSTEIN s'appuie sur 8 bassins tests bien observés. Dans la première partie de ce travail, la comparaison des crues observées permet de souligner la spécificité hydrologique des petits bassins sahéliens (homogénéité des formes des fortes averses, importance des états de surface pour la fonction de production et de la forme du réseau hydrographique pour la fonction de transfert,...). Dans la seconde partie l'auteur étudie la possibilité d'application au Sahel des modèles de crues de type hydrogramme unitaire. A travers la comparaison de plusieurs modèles basés sur 6 fonctions de production et sur 4 fonctions de transfert (modèle de Nash, modèle ARX, DPFT et GUH), il montre que l'hydrogramme unitaire s'applique bien au contexte sahélien. Ce travail tente aussi de faire le point sur les différentes méthodes d'identification de l'hydrogramme unitaire. En conclusion, RIBSTEIN propose un certain nombre de règles méthodologiques pour appliquer des modèles de type hydrogramme unitaire.

L'ensemble des résultats de FORCRUSA a mis en évidence deux points importants:

- la difficulté de trouver des facteurs explicatifs pour les lames ruisselées observées et la mauvaise adéquation des fonctions de production proposées à petits pas de temps;

- la relative simplicité des formes des crues observées sur les petits bassins sahéliens et la bonne adéquation du concept d'hydrogramme unitaire pour représenter ces crues.

Il s'agit de tendances générales qu'il faut nuancer lorsque le bassin présente des particularités liées à l'extension ou à la répartition des zones perméables, à la forme du réseau hydrographique,...

#### PERSPECTIVES.

Deux voies de recherche se dégagent à l'issue de ce programme:

- estimation de la perméabilité globale d'un bassin à partir de la typologie des états de surface,

- élaboration d'un système expert pour la prédétermination des crues sur les petits bassins sahéliens. En effet, la plupart des bassins observés présentent des particularités et

le manque de données fiables empêche de prendre en compte toutes ces particularités dans un modèle. On pourrait contourner ce problème par un système expert s'appuyant, au départ, sur le questionnaire mis au point à l'occasion de l'étude des très petits bassins.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- ALBERGEL J., CASENAVE A., RIBSTEIN P., VALENTIN C.-1986- Transposition des données hydrologiques. Prédétermination des crues décennales des petits bassins versants. Apport de la simulation de pluie. Colloque international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse. C.I.E.H., Ouagadougou, 12p.
- GRET -1988- La maîtrise des crues dans les bas fonds. Petits et microbarrages en Afrique de l'ouest. Dossier n°12 (le point sur:), GRET, Paris. Annexe 1: La prédétermination des crues, méthodes et pratique. Présentation des méthodes et utilisation (RIBSTEIN P., pp. 304-336) et Document pratique n°3, méthode ORSTOM pour les bassins versants de superficie inférieure à 10 Km<sup>2</sup> (RIBSTEIN P. et RODIER J., pp. 370-385)
- RIBSTEIN P.-1989- Modèles de crues et petits bassins au Sahel. Thèse de doctorat USTL Montpellier
- RIBSTEIN P., LEBEL T.-1988- L'hydrogramme unitaire appliqué à l'analyse des crues au Sahel. Comparaison de différentes méthodes d'identification. Séminaire UNESCO sur l'état de l'art en hydrologie et en hydrogéologie dans les zones arides et semi-arides d'Afrique. Proceedings édités par I.W.R.A., pp. 160-172.
- RIBSTEIN P., RODIER J.-1988- La prédétermination des crues sur des petits bassins sahéliens inférieurs à 10 Km<sup>2</sup>. Séminaire UNESCO sur l'état de l'art en hydrologie et en hydrogéologie dans les zones arides et semi-arides d'Afrique. Proceedings édités par I.W.R.A., pp. 118-127.
- RIBSTEIN P., RODIER J.-à paraître- Fortes crues des petits cours d'eau du Sahel. Forme de l'hydrogramme. Hydrologie Continentale, 20 p.
- RODIER J., RIBSTEIN P.-1986- Utilisation des bassins représentatifs pour la prédétermination des crues et l'estimation des apports au Sahel. Colloque international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse. C.I.E.H., Ouagadougou, 47 p.
- RODIER J., RIBSTEIN P.-1988- Estimation des caractéristiques de la crue décennale pour les petits bassins versants du Sahel couvrant de 1 à 10 Km<sup>2</sup>. ORSTOM, Montpellier, 133 p.
- SEGUIS L.-1986- Recherche pour le Sahel d'une fonction de production journalière (lame précipitée-lame ruisselée) et sa régionalisation. Thèse de Doctorat U.S.T.L., Montpellier, 325 p.
- SEGUIS L.-1987- Indice des précipitations antérieures et prédiction des crues au Sahel. Hydrologie Continentale, 2(1), pp. 47-55.

**PROGRAMME 2B A7****ETUDE DU RUISSELLEMENT ET DE L'ÉROSION SUR  
BASSINS VERSANTS EN TUNISIE.****EQUIPE.**

CAMUS, DUMAS, BEN YOUNES

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

La construction de nombreux barrages collinaires dont la durée de vie est limitée principalement par le comblement dû à l'érosion imposait d'étudier celle-ci, pour la limiter au maximum. Dans le cadre d'un programme conjoint, ORSTOM- Direction Générale des Ressources en Eau, d'étude de bassins versants de Tunisie centrale, des micro-bassins ont été équipés pour essayer de quantifier l'impact de différents travaux de Conservation des Eaux et des Sols (édification de banquettes, de tabias et de jessours), sur l'écoulement, le ruissellement et l'érosion.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

A la fin de 1988, seules les observations sur micro-bassins sont effectuées à une échelle fine (pas de temps de l'averse). Les bassins plus grands ne sont suivis qu'au pas de temps journalier, voir hebdomadaire pour les appareils les plus excentrés. La période de sécheresse sévère que traverse la Tunisie n'a malheureusement permis d'enregistrer que de rares événements pluvieux, sans effet érosif notable.

La présynthèse des 12 années d'observations sur les bassins des oueds El Hissiane, Zioud et Dhiar, a permis de mettre en évidence certaines caractéristiques du ruissellement et de l'érosion.

-On note, sur la période, un écoulement moyen assez faible (2 à 5 %), variable selon les bassins, mais ne dépassant pas 7 à 8% dans les cas les plus favorables. La présence d'une végétation, par endroit assez dense, affecte notablement le ruissellement, jusqu'à l'annuler une année sur trois. L'écoulement n'apparaît qu'à la suite d'averses à fortes intensités (100 à 120 mm.h<sup>-1</sup>) au cours des mois de mai et juin ou septembre, octobre, ou d'averses à faibles intensités (< 30 mm.h<sup>-1</sup>), mais de longue durée, telles que celles que l'on peut observer, en année normale, de décembre à février.

-Une bonne corrélation semble exister entre le débit maximal de crue et le volume érodé.

-Les crues importantes, en volume, sont observées aux mois de mars- avril, et les plus agressives pour les sols en septembre-octobre

-L'analyse des bilans mensuels ou annuels montre qu'une part de l'écoulement reste inexplicée. Compte tenu du substratum calcaire de ces bassins, on peut penser qu'une partie de l'écoulement est de type karstique.

#### PERSPECTIVES.

-Rédaction des synthèses sur l'érosion et sur les observations pluvio-climatologique des stations météorologiques des bassins de l'oued El Hissiane.

-Poursuite des observations sur les micro-bassins, en espérant quelques années de pluviométrie normale.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- CAMUS H.-1986- Revue de la presse tunisienne relative aux pluies diluviennes d'octobre 1986. Multigr., 57 p., Tunis
- CAMUS H., BEN YOUNES M.-1986- Recueil des données pluviométriques et climatologiques pour l'année 1984-85 sur le bassin de l'oued El Hissiane. ORSTOM/DRE, multigr., 21 p., Tunis.
- CAMUS H., BOUZAIANE S., ABDALLAH R.-1987- Rapport d'installation de 3 micro-bassins dans la région de SBEITLA pour l'évaluation de l'impact des travaux de C.E.S.; ORSTOM/DGRE/CES, multigr., 26 p., Tunis.
- CAMUS H., BEN YOUNES M.-1987- Données climatologiques et pluviométriques du bassin versant de l'oued El Hissiane (année 1985-86). ORSTOM/DGRE, multigr., 36 p., Tunis.
- CAMUS H., DUMAS R., BEN YOUNES M.-1988- Ecoulement et érosion en Tunisie centrale sur le bassin de l'oued El Hissiane (période 1982-1986). ORSTOM/DGRE, multigr., 175 p., Tunis.
- CAMUS H., BEN YOUNES M.-1988- Recueil des données pluviométriques et climatologiques (année 1986-87) du bassin versant de l'oued El Hissiane. ORSTOM/DGRE, multigr., 28 p., Tunis.

**PROGRAMME 2B A8**

**ETUDE DES PARAMETRES PHYSICO-HYDRIQUES ET DE  
L'ERODIBILITE DES TERRES EN TUNISIE -  
AGRICULTURE D'IMPLUVIUM.**

**EQUIPE.**

PONTANIER, SAYOL, + étudiants Tunisiens.

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

On assiste sur de nombreux terroirs depuis quelques décennies à une pression accrue sur le milieu, qui dans la mesure où elle n'est pas contrôlée aboutit souvent sur les terres défrichées à la dégradation des sols (diminution de la fertilité organique, destructuration, battance,...) puis à leur érosion. Dans le même temps, on constate une diminution de l'efficacité de l'eau dans la recharge des réserves hydriques du sol (mauvaise infiltration, reprise rapide par l'évaporation, diminution de la RU suite au décapage des horizons supérieurs par les eaux,...). C'est dans ce contexte de déséquilibres du système sol/eau qui, à l'extrême, conduisent à l'abandon des terres, donc à la désertisation, et dans celui d'intensification des programmes de développement rural, que sont conduites des études visant à fournir aux aménagistes et utilisateurs du milieu rural, des documents et des normes leur permettant de localiser et de gérer au mieux la ressource sol, dans un but d'intensification de la productivité agricole, tout en conservant ce capital précieux.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

Au cours de la période 1987-88, l'équipe s'est efforcée de:

.poursuivre les tests de simulation afin de pouvoir élargir l'échantillonnage des terres,

.commencer la réalisation du référentiel technique concernant l'érodibilité et le comportement hydrique des terres,

.essayer d'intégrer sur des documents cartographiques de ressources en sols les résultats concernant l'érodibilité et le régime hydrique des terres,

.utiliser le simulateur de pluie pour la définition des normes d'irrigation par aspersion,

.réaliser un numéro spécial "Sols de Tunisie" faisant le point sur l'état des connaissances et des réalisations en matière de simulation de pluie en Tunisie,

.corréliser les résultats de la simulation et ceux observés sur le bassin du Semmama et sur les parcelles de ruissellement (Dissa, Telman, Mkechebia,...)

## BIBLIOGRAPHIE.

- ASSELINE J., HADJ BELGACEM M.-1987- Particularités du nouvel infiltromètre à aspersion construit à Gabès. ES n°243 DS/ORSTOM, Tunis, 16 p., ronéo.
- ASSELINE J., M'TIMET A., PONTANIER R., CLERY J.-1988- Une méthode de caractérisation en zone aride et semi-aride des états des surfaces élémentaires (1 m<sup>2</sup>) soumises à des averses contrôlées (mesure au champ, dépouillement sur micro-ordinateur Casio PB 700, interprétation). ES n°245, DS/ORSTOM, Tunis, 17 p., ronéo + annexes et listing programme (à publier dans ouvrage zone aride)
- BAHRI A., PONTANIER R., DRIBI B.-1988- Conséquences des façons culturales en fin de saison sèche sur le régime hydrique et l'érosion des terres dans le Kairouanais. ES n°244, DS/ORSTOM, Tunis, 31 p., ronéo + annexes.
- FLORET C., M'TIMET A., PONTANIER R.-1988- Caractérisation des régimes hydriques et de l'érodibilité des sols en zone aride. Sols de Tunisie n°14 (à paraître)
- M'TIMET A.-1988- Evaluation de la sensibilité des sols arides à l'érosion hydrique. ES n°240, DS, Tunis, 51 p.
- PONTANIER R., SOUISSI A.-1988- Pratiques agricoles et changement du régime hydrique des terres en zone aride méditerranéenne. Atelier sur l'agriculture et la transformation des terres dans le bassin méditerranéen. Comité français du Scope-CIHEAM. Ministère français de l'environnement. MAB/UNESCO. IAM Montpellier, 13-17 juin 1988.

Mémoires et Thèses encadrement PONTANIER

- BAROUMI M.-1987- Etude de l'hydrodynamique des sols et de l'érodibilité des terres, soumis à des averses contrôlées. Mémoire de fin d'étude ESIER Medjez-El-Bab. DS/ORSTOM, Tunis, 45 p., ronéo + annexes.
- KHECHINI H.-1987- Potentialités en sols. Aménagements des terres (Lorbens et St Rabeh G. Kef). Mémoire de fin d'étude INAT, 145 p. + 6 cartes, annexes.
- LAASILI GHEZAL L.-1988- Ruissellement et érosion sur un micro-bassin versant; modélisation et simulation. Impact des travaux de CES. Mémoire cycle de spécialisation INAT, Tunis, 171 p. + annexes.
- CHAABI A.-1988- Méthodes d'évaluation de l'érosion sur un bassin versant traité en banquettes dans une zone du semi-aride (sous pluies naturelles et simulées). Mémoire cycle de spécialisation INAT, Tunis, 237 p.
- TOUJANI BEN SALAH -1988- Modélisation du ruissellement sur un micro-bassin et simulation des pluies. Equations et régionalisation. Mémoire cycle de spécialisation INAT, Tunis, Vol. 1, 249 p, Vol. 2 (annexes) 70 p. + 2 cartes ht..

Revue SOL DE TUNISIE R. SAYOL et R. PONTANIER éditeurs

- N° 13 Numéro spécial consacré au Séminaire de Thibar sur les terres à céréales.
- N° 14 Numéro spécial consacré aux Régimes hydriques et érodibilité des terres en zones arides méditerranéennes.

**PROGRAMME 2B A9**

**EVOLUTION DES PARAMETRE DU CYCLE DE L'EAU  
SOUS L'INFLUENCE DE LA MISE EN CULTURE.**

Cf. programme 2B A11

**PROGRAMME 2B A10****ETUDE DES TRANSFORMATIONS DE QUELQUES  
ECOSYSTEMES NATURELS EN AGROSYSTEMES AU BRÉSIL.****EQUIPE.**

LEPRUN.

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Ce programme est justifié par la nécessité de comparer les transformations de quelques écosystèmes de différentes régions du Brésil dont les climats, les sols, le modelé, la végétation, les cultures et les éléments socio-économiques et culturels sont différents. Il permet de plus de valoriser les nombreux résultats du projet ORSTOM/EMBRAPA "Inventaire des problèmes et des aires de dégradation des sols sur le territoire national".

L'objectif principal est de tenter de dégager les particularités des dégradations des sols des différentes régions pour pouvoir mieux les connaître et mieux les combattre.

Les produits attendus sont une meilleure connaissance des modifications des écosystèmes par l'homme et leur impact ambiental et économique sur les sols et les eaux. La divulgation de recommandations protectrices sur la gestion des sols cultivés, l'économie de l'eau, la recherche de pratiques culturales adaptées aux sols, aux cultures et aux niveaux technologiques et socio-économiques des différentes régions.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

Les données de dégradation des sols à partir des parcelles expérimentales (1,10,100,1000 m<sup>2</sup>), des microbassins (1 ha à 1 Km<sup>2</sup>), des bassins des grands fleuves et de leurs tributaires (100 à 1 million de Km<sup>2</sup>) de tout le pays ont été collationnées, ainsi que les caractéristiques de ces sols, les pratiques culturales utilisées et les rendements obtenus. Sur les 5 régions du Brésil, deux sont déjà traitées (nord-est, sud-est). Les autres sont en cours de traitement. Une synthèse à l'échelle du pays a été faite cette année. Une comparaison détaillée des sols et des eaux des deux régions sèches du Nordeste et du Sahel africain a été établie. L'accent a été particulièrement mis sur le rôle et le devenir de la matière organique durant la mise en culture et les dégradations conséquentes.

## PERSPECTIVES.

Une synthèse par grande région est en cours pour clore le projet EMBRAPA fin 1989. Une version française des résultats est prévue sous la forme d'un ouvrage sur la dégradation et la gestion des sols et de l'eau au Brésil.

## BIBLIOGRAPHIE.

- LEPRUN J.C.-1988- Matière organique et conservation des sols. Comm. journée Matière organique, Bondy.
- LEPRUN J.C.-1988- A situacao da conservacao do solo e da agua no Brasil. O papel do SNLCS da EMBRAPA. Synthèse, 42 p., SNLCS/EMBRAPA, Rio de Janeiro.
- LEPRUN J.C. et al.-1988- Erosion studies in Sume, a semi-arid region in the northeast of Brasil. Intern. Symposium on Sediment Budgets, IAHS, Porto Alegre, 11-15 décembre.
- LEPRUN J.C.-à paraître- Analogies et particularités des sols et des eaux de deux régions semi-arides: le Sahel de l'Afrique de l'ouest et le nord-est du Brésil. 20 p. Accepté pour publication dans "L'aridité: une contrainte au développement". Ouvrage RZA.
- LEPRUN J.C.-à paraître- Les "brousses tigrées": structure, dynamique, écologie (Mali et Burkina Faso). 13 p. Accepté pour publication dans "L'aridité: une contrainte au développement". Ouvrage RZA.
- LEPRUN J.C.-à paraître- Matière organique et conservation des sols. Exemples brésiliens. Cah. ORSTOM, sér. Pédol.
- LEPRUN J.C., DOS SANTOS R.D., CERRI C.C.-à paraître- Composition das aguas de percolacao de solos do estado de Rondonia. 25 p., à paraître dans la Revista Brasileira de Geoquímica, Sao Paulo.

**PROGRAMME 2B A11**

**COORDINATION DES PROGRAMMES DE SIMULATION DE  
PLUIES EN AFRIQUE DE L'OUEST ET CENTRALE.**

Nous avons rassemblé sous ce titre unique l'ensemble des programmes d'étude du ruissellement, de l'infiltration et de l'érosion à l'aide des techniques de simulation de pluies qui se sont développés progressivement, à partir de 1981, en Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Cameroun, Congo, Togo, Niger et au Sénégal (programmes 2B A9, 2B A15, 2B A16, 2B A17, 2B A18). A l'heure actuelle ce programme ne couvre plus que le Burkina Faso, le Sénégal et le Niger.

**EQUIPE ACTUELLE.**

ALBERGEL, BERNARD, CASENAVE, DELFIEU J.M., GATHELIER, KONG, LAMACHERE, TOUMA, VALENTIN.

Ont également participé à ce programme MM. ASSELINE, BADER, BRICQUET, CHEVALLIER, COLLINET, ETIENNE, DELFIEU G., FRITSCH, GIODA, IRIS, JANEAU, LAPETITE, PONTANIER, POSS, RIBSTEIN, SAYOL, THEBE THIEBAUX.

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Depuis fort longtemps, les hydrologues se heurtaient lors de l'interprétation de leurs mesures, particulièrement celles des bassins représentatifs et expérimentaux, à l'impossibilité de chiffrer l'aptitude des différents types de sols au ruissellement. La première réponse des pédologues à ce problème, sous forme de cartes pédologiques des bassins, était inadaptée, ces cartes ne reflétant pas les caractéristiques hydrodynamiques des sols.

Par la suite, de nombreuses études ont été réalisées dans le domaine des relations eau-sol (Müntz, Pioger, cases de ruissellement, bilan hydrique des sols, etc...), mais elles se heurtaient toutes à quatre problèmes auxquels la technique des pluies simulées pouvait pallier:

-un problème d'analyse des paramètres entrant en jeu dans les processus d'infiltration et de ruissellement. Du fait de leur nombre et de leurs interactions, il est difficile, sous pluies naturelles, de mettre en évidence le rôle respectif de ces différents paramètres. Le simulateur de pluie, qui permet de fixer à volonté les caractéristiques des averses, l'état d'humectation du sol, de tester différents types de sols, d'états de surface ou de couverture végétale autorise une analyse beaucoup plus fine des phénomènes.

-un problème de durée des études. Pour obtenir un résultat fiable sous pluies naturelles, il est nécessaire de prolonger les mesures sur plusieurs années, surtout en zone sahélienne où les pluies sont rares et irrégulières. Les mesures sous pluies simulées permettent de réduire de façon très sensible la durée des études pour un résultat d'une précision sensiblement égale, sinon supérieure dans certains domaines, à celle des mesures classiques.

-un problème d'extension spatiale des résultats. Du fait de leur durée, les mesures classiques ne sont effectuées que sur un petit nombre de sites. Les mesures sous pluies simulées, beaucoup plus rapides, permettent pour un même investissement de tester un nombre de sites bien plus élevé.

-un problème d'expérimentation. Les mesures d'infiltration ont pratiquement toujours été réalisées à l'aide de techniques interdisant le ruissellement (Müntz, Pioger...) qui ne tiennent pas compte des réorganisations superficielles et sont donc très éloignées de la réalité physique des phénomènes.

Les études menées sous pluies simulées sont donc l'aboutissement d'une évolution progressive des techniques d'étude de l'hydrodynamique des sols.

Historiquement, les mesures à l'aide du minisimulateur de pluie ont débutées en 1977, pour essayer de résoudre, à la demande du C.I.E.H., le problème de la détermination des crues décennales des petits bassins forestiers d'Afrique tropicale. A cette occasion ont été montrées les possibilités de cet appareil pour l'étude de l'hydrodynamique des sols. Devant les résultats prometteurs de cette étude et d'un premier essai fait, en zone sahélienne, à OURSI par CHEVALLIER, le Comité Technique d'Hydrologie décidait d'étendre ce programme de recherche sur les processus du ruissellement à de nouveaux pays et chargeait CASENAVE de coordonner l'ensemble.

Ce programme, à l'origine purement hydrologique, a été progressivement orientés vers des objectifs intéressants aussi largement les pédologues. Ce caractère bi-disciplinaire est attesté par la liste des participants qui si elle comprend 18 hydrologues fait aussi ressortir la participation de 9 pédologues.

Dans son rapport annuel de 1982, CASENAVE, en présentant ce programme notait:

"Les principales voies de recherche en simulation de pluie me paraissent être les suivantes (sans qu'il existe de solution de continuité entre ces différentes voies qui forment un tout):

-Etude des crues décennales des petits bassins

Cette étude initiée en Côte d'Ivoire, pour la zone forestière doit être poursuivie et étendue géographiquement (...). Le but de cette étude est avant tout pratique et doit être de substituer aux études classiques de BRE des campagnes de simulation beaucoup plus rapides et moins onéreuses.

-Etude de la genèse des crues

La détermination, à l'aide du simulateur, des caractéristiques hydrodynamiques des différents types de sols, doit permettre de mieux comprendre comment se fait la composition des écoulements des différentes zones d'un bassin et, par là, de mieux cerner le processus de genèse des crues.

-Etude des relations entre les caractéristiques physico-chimiques des sols et l'infiltration.

La plupart des cartes pédologiques, (...), ne permettent pas d'apprécier la perméabilité globale d'un bassin et ne sont donc que de peu d'utilité aux hydrologues. Il n'est pas sans intérêt de chercher quelles sont les caractéristiques physico-chimiques des sols influençant l'infiltration.

-Etude "au champ" des lois de l'infiltration.

Il existe à l'heure actuelle un grand nombre de formules permettant, théoriquement, de calculer l'infiltration. Il s'avère en réalité que la majeure partie de ces formules, mises au point en laboratoire, sont inapplicables dans la réalité. Le minisimulateur, (...), paraît être un instrument privilégié de l'étude "au champ" des lois théoriques de l'infiltration.

-Etude des relations entre états de surface des sols et infiltration.

(...) Il serait très intéressant pour les hydrologues de poursuivre, en collaboration avec les pédologues, l'étude de la caractérisation de ces différents états de surface sur une zone géographique la plus étendue possible.

-Transposition des modèles mathématiques

(...) Une des voies de recherche les plus importantes du simulateur me paraît être d'essayer de caler ces modèles uniquement à partir des caractéristiques mesurées avec le simulateur".

Ces objectifs ont-ils été atteints ?

#### ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

Après une dizaine d'années de mesures intensives sur le terrain, ce programme en est arrivé, depuis deux ou trois ans, à la phase des synthèses. Les travaux de terrain ne se poursuivent plus qu'au Burkina Faso et au Sénégal. Si on reprend un à un les objectifs initiaux, on peut montrer qu'une bonne partie de ceux-ci ont été atteints.

-Etude des crues décennales des petits bassins.

Les mesures sous pluies simulées, entreprises de 1977 à 1984, sur les bassins forestiers de Côte d'Ivoire, du Congo et du Cameroun, antérieurement étudiés de façon classique, ont permis de mettre au point une nouvelle technique de détermination des crues décennales pour ces petits bassins (CASNAVE 1982, CASNAVE et al., 1986).

En zone soudano-sahélienne, 18 bassins ont été testés sous pluies simulées (8 au Burkina, 3 en Côte d'Ivoire, 2 au Niger, 2 au Cameroun, 2 au Togo et 1 au Congo). Un modèle de reconstitution des lames ruisselées, basé sur la cartographie des états de surface et la détermination sous pluies simulées des fonctions de production de ces états de surface a été mis au point (CASNAVE, 1982, ALBERGEL et al., 1986, CASNAVE, 1986, ALBERGEL, 1987, THEBE, 1987). Ce modèle, qui ne demande que 2 à 3 mois de travaux de terrain, permet une reconstitution de l'ensemble des crues avec une précision similaire à celle de l'analyse statistique des résultats de plusieurs années d'études classiques de bassins (BADER, 1985, CASNAVE et al., 1985). Il se heurte, toutefois, au problème du calage des mesures sous pluies simulées sur celles réellement observées, ce qui oblige, à l'heure actuelle, à effectuer des mesures classiques, sur le bassin étudié, pendant au moins une saison des pluies. Ce problème de la détermination des facteurs influençant ces fonctions de calage reste à résoudre.

-Etude de la genèse des crues.

Les mesures sous pluies simulées permettent de déterminer avec précision les zones contributives homogènes d'un bassin et par là, de mieux comprendre comment se fait la composition des écoulements de ces différentes zones. Le meilleur exemple, en la matière, en a été donné par THEBE (1987), sur un petit bassin du Nord Cameroun, où il a montré que la première pointe des crues observées résultait du ruissellement de la partie amont du bassin qui arrive à l'exutoire avant l'écoulement de la partie aval. Cette interprétation basée sur les résultats des pluies simulées a été démontrée par des marquages des écoulements des différentes zones.

-Etude des relations entre les caractéristiques physico-chimiques des sols et l'infiltration.

Pour chacun des sols testés, en zone forestière, des analyses physico-chimiques des horizons de surface ont été effectuées. On a, ainsi, mis en évidence des liaisons étroites entre les valeurs des lames infiltrées et certains paramètres caractéristiques de la structure de ces horizons, de la teneur en matière organique ou en éléments grossiers (CASNAVE et al., 1982). L'échantillon est, malheureusement, trop réduit pour en tirer des conclusions générales. Cette étude mériterait d'être poursuivie.

En zone soudano-sahélienne, une analyse statistique de paramètres, caractéristiques du milieu et de l'infiltration, acquis d'abord sur 48 parcelles du Burkina (ALBERGEL et al., 1986), puis sur 141 parcelles soumises à 860 pluies simulées (ALBERGEL et al., à paraître), a permis de faire ressortir les facteurs explicatifs de l'infiltration et du ruissellement sur une vaste zone géographique et de hiérarchiser l'influence de ces différents facteurs. Ces résultats sont à la base d'un nouveau mode de représentation cartographique du milieu (VALENTIN, 1986) où ne sont pris en compte que les variables conditionnant l'infiltration et le ruissellement.

-Etude "au champ" des lois de l'infiltration.

C'est sans doute cette fraction du programme qui a été la moins développée par suite de contingences (changement d'affectation du chercheur en charge de cette étude, manque d'intérêt du chercheur devant lui succéder, etc...). Seul ALBERGEL (1987) a tenté une analyse des processus de l'infiltration à partir de ses mesures du Burkina. Il a montré que seule une partie de ses 48 parcelles suit le modèle théorique de variation de la lame infiltrée et de l'intensité d'infiltration en fonction du temps (HILLEL, 1974). Pour la plupart des parcelles on note trois différences importantes par rapport à ce modèle:

-Une augmentation brutale de l'infiltration lorsque l'intensité de la pluie croît pour toutes les parcelles couvertes de croûtes,

-une certaine dépendance entre l'intensité d'infiltration en régime permanent et l'intensité de la pluie pour les parcelles à surface hétérogène et à microrelief marqué,

-une tendance rapide pour l'intensité d'infiltration vers une constante très faible pour les parcelles à fortes réorganisations superficielles.

En appliquant le modèle développé par MOREL-SEYTOUX aux résultats obtenus sous pluies simulées, ALBERGEL montre que, sur l'ensemble des parcelles, la fin de la courbe d'infiltration est parfaitement reconstituée mais que, pour certaines parcelles, il existe un décalage net entre les valeurs observées et calculées pour le début de cette courbe. Ce phénomène peut s'expliquer, au moins partiellement, en appliquant le modèle développé par LAFFORGUE (1977) aux parcelles à surface hétérogène.

Cette partie du programme, qui reste une des priorités de l'UR, devrait se développer, dorénavant, grâce à la collaboration établie au Sénégal entre MM. ALBERGEL et TOUMA.

-Etude des relations entre états de surface des sols et infiltration.

Nous avons déjà noté que les études sous pluies simulées ont permis de déterminer les facteurs conditionnels de l'infiltration et du ruissellement sur une vaste zone géographique et de hiérarchiser l'importance relative de ces différents facteurs. C'est ainsi que s'est manifesté, en zone sahélienne, le rôle prépondérant des caractéristiques de surface

sur l'infiltrabilité, au premier rang desquelles se classent le couvert végétal, l'activité faunique, le microrelief et le type de croûte.

Dans un ouvrage récent, CASENAVE et VALENTIN (1988) ont entrepris la synthèse des résultats obtenus, sous pluies simulées, depuis une dizaine d'années, en zone aride et semi-aride.

L'étude des processus et l'analyse des facteurs des réorganisations superficielles, associée à la description des microhorizons, les amène à la définition d'une typologie morpho-génétique des principales croûtes sahéliennes. De l'identification de ces grands types de croûte, et d'autres critères relatifs à l'activité faunique, à la couverture et au travail du sol, découle une typologie des principales surfaces élémentaires. A chacune, correspond un comportement hydrodynamique particulier, caractérisé par un certain nombre de paramètres de l'infiltration et du ruissellement.

A une échelle supérieure, la combinaison de ces surfaces élémentaires mène à la définition du concept d'état de surface, base d'une méthode cartographique originale. Celle-ci fait appel à un système normalisé de description du milieu. Les unités, ainsi définies, répondent à des critères d'homogénéité tant au niveau de leur dynamique évolutive qu'à celui de leur fonctionnement hydrologique. En outre, cette cartographie des états de surface s'est avérée extrapolable (CHEVALLIER, 1985) et transposable (ALBERGEL, 1987), par télédétection.

#### -Transposition des modèles mathématiques

Les modèles mathématiques de simulation des écoulements donnent, généralement, des résultats satisfaisants à condition de pouvoir les caler sur des valeurs réellement observées. Cela suppose souvent plusieurs années d'études de terrain intensives et rend très difficile la transposition de ces modèles à des bassins n'ayant fait l'objet d'aucune mesure. Le problème était donc de savoir s'il était possible de caler ces modèles à partir des résultats des pluies simulées.

Une première tentative a été faite par CHEVALLIER (1985) qui a introduit dans le modèle à discrétisation spatiale "ORSTOM-Ecole des Mines", pour chacun des états de surface (cartographiés sur un petit sous bassin de 9 Km<sup>2</sup> puis étendus par télédétection à l'ensemble du bassin sur 263 Km<sup>2</sup>), la fonction de production du ruissellement déterminée sous pluie simulée. Le modèle ainsi calé, a permis de reconstituer de façon très précise la limnimétrie de la mare d'Oursi.

ALBERGEL (1987) a transposé ce modèle aux deux petits bassins versants de Gagara, situés à une cinquantaine de Km à l'est de ceux d'Oursi. En utilisant les thèmes déterminés par télédétection, sur les bassins d'Oursi, il a établi la carte des bassins de Gagara. En introduisant cette carte des états de surface et les fonctions de production du ruissellement qui leur sont associées dans le même modèle mathématique, avec en données d'entrée les précipitations réellement mesurées à

Gagara, il a pu reconstituer les volumes annuels écoulés avec une erreur inférieure à 5 %.

On a montré ainsi, qu'en zone sahélienne, la conjugaison des études sous pluies simulées, de la télédétection et d'une modélisation à petit pas de temps constitue un outil performant pour la simulation des écoulements, la prédétermination des crues de fréquence rare et la transposition des résultats à un bassin non observé.

Un autre type de modèle, couramment utilisé par les agronomes, est le modèle agroclimatologique. L'exemple type, en la matière, en est le modèle BIP de l'IRAT. Ce modèle qui simule le bilan hydrique d'une culture pluviale, intègre une fonction simple du ruissellement basée sur deux critères, la texture et la technique culturale, en fonction desquels sont donnés des valeurs de la pluie d'imbibition et du coefficient de ruissellement. VACKSMANN (1988) a montré que le remplacement de la fonction de ruissellement originelle du modèle par les équations proposées par CASENAVE et VALENTIN (1988), pour chaque surface élémentaire, permet d'aboutir à une simulation nettement plus proche de la réalité.

## PERSPECTIVES.

### -Etude des conséquences de l'anthropisation

La reprise de l'étude de certains bassins versants, 10 ou 20 ans après l'étude initiale, à l'occasion des campagnes de simulation de pluie, a permis de mettre en évidence les modifications du fonctionnement hydrologique de ces bassins sous l'action conjuguée de la sécheresse et de la pression anthropique (ALBERGEL, 1987). La comparaison des régimes hydrologiques des bassins de Kazanga, Kognéré (Burkina) et Waranienne (Côte d'Ivoire) tend à montrer que la dégradation du milieu résultant de la mise en culture est exacerbée par le déficit pluviométrique (ALBERGEL et GIODA, 1986). Une étude en cours du bassin de Kountkouzout (Niger) tend, toutefois, à nuancer cette conclusion (GATHELIER, 1988). Alors que le bassin de Kognéré, pourtant situé dans une zone climatique plus favorisée (Pluie annuelle = 689 mm), accuse de façon très nette les conséquences de l'augmentation des surfaces cultivées (qui passent de 16 % à 37 % de la surface du bassin entre 1956 et 1980), le coefficient de ruissellement d'une pluie de 30 mm doublant entre ces deux périodes, il ne semble pas que le comportement hydrologique du bassin de Kountkouzout (pluie annuelle = 377 mm, surfaces cultivées passant de 18 % à 43 % entre 1954 et 1984) ait été modifié. Le mode de culture est très probablement à l'origine de cette différence de comportement. Alors que le mil est semé, quasi exclusivement, en poquets sur le bassin de Kognéré, sur celui de Kountkouzout, il est semé sur billons avec, à la sortie des plants, un nouveau billonnage qui met la ligne de semis en position d'interbillons, favorisant ainsi l'alimentation hydrique. De plus des sarclages fréquents en saison des pluies atténuent fortement les réorganisations superficielles.

Ce type d'étude, qui permet de tester le mode cultural le mieux adapté aux faibles ressources pluviométriques de cette zone climatique, est actuellement en sommeil, faute de chercheur pour s'y consacrer. Etant donné son impact sur le développement, elle mériterait d'être non seulement poursuivie, mais étendue.

**-Détermination des états de surface par télédétection.**

Bien que des résultats tangibles aient déjà été obtenus en la matière (ALBERGEL, 1987, CHEVALLIER, 1985, ESCADAFAL, 1989, LAMACHERE, 1988,), il est nécessaire de développer l'utilisation des techniques de télédétection pour la détermination des états de surface et le suivi de leur évolution. Les progrès constants, tant du matériel que des techniques d'interprétation, devraient permettre d'arriver à une cartographie fine des états de surface et donc du fonctionnement hydrodynamique des différentes zones d'un bassin versant.

**-Problème des effets d'échelle**

Si, comme l'ont montré CASENAVE et VALENTIN (1988), il est possible, à l'échelle du  $m^2$ , de décomposer la surface du sol en unités hydrologiquement homogènes, l'extension de ces résultats à l'échelle d'un bassin versant de quelques  $Km^2$  n'est pas sans poser quelques problèmes. Ces problèmes, auxquels se heurtent la plupart des équipes de l'UR, et que l'on regroupe généralement sous le terme "d'effets d'échelle", interdisent, à l'heure actuelle, une utilisation plus étendue des modèles déterministes.

La compréhension de ces effets d'échelle devrait être l'objectif prioritaire de l'UR dans les années à venir.

**BIBLIOGRAPHIE.**

Parmi la cinquantaine de rapports, communications et articles publiés dans le cadre de ce programme, nous avons sélectionné les plus importants.

ALBERGEL J.-1987- Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du  $m^2$  au  $Km^2$ . Etude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse Univ. Paris VI, 336 p.

ALBERGEL J.-1987- Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface. Application aux petits bassins du Burkina Faso. The influence of climate change and climatic variability on the hydrologic regime and water resources (proceedings of the Vancouver Symposium, Aug. 1987), IAHS Publ. n° 168, pp. 355-365.

- ALBERGEL J.,CASENAVE A.-1984- Une nouvelle technique d'estimation des crues décennales des petits bassins versants: les études sous pluies simulées. CIEH Yaoundé. Compte rendu des journées techniques, tome 2, pp. 517-526.
- ALBERGEL J.,CASENAVE A.,VALENTIN C.-1986- Modélisation du ruissellement en zone soudano-sahélienne; simulation de pluie et cartographie des états de surface. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Coll. ORSTOM, Colloques et Séminaires, pp. 75-87.
- ALBERGEL J.,GIODA A.-1986- Extension des surfaces agricoles et modification de l'écoulement. Analyse sur deux bassins de la savane africaine. XIXème journées de l'hydraulique de la S.H.F. Paris, tome 1, pp. 191-196.
- ALBERGEL J.,RIBSTEIN P.,VALENTIN C.-1986- L'infiltration: quels facteurs explicatifs ? Analyse des résultats acquis sur 48 parcelles soumises à des simulations de pluies au Burkina Faso. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Coll. ORSTOM, Colloques et Séminaires, pp. 25-48.
- ALBERGEL J.,VALENTIN C.-1986- "Sahélisation" d'un petit bassin versant: Boulsa Kognéré au centre nord du Burkina Faso. Colloque Nordeste-Sahel, IHEAL, Paris.
- BADER J.C.-1985- Etude du ruissellement sous pluie simulée sur les bassins versants du lac Elia et de la Dayes à Dzobegan-Togo. ORSTOM Lomé, multigr., 46 p., 24 fig.
- CASENAVE A.-1982- Le minisimulateur de pluie. Conditions d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.,XIX, 4, pp. 207-227.
- CASENAVE A.-1986- L'apport de la simulation de pluie dans l'analyse des phénomènes de ruissellement et d'infiltration: quelques exemples d'applications hydrologiques. Annales du CNFGG,1982-1986, vol. 5-1986, pp. 35-48.
- CASENAVE A.-1987- Bilan hydrique des sols cultivés de la zone semi-aride de l'ouest africain: étude de l'infiltration sous pluies simulées. Contrat TSD 281 F. Rapport final. ORSTOM-CEE, multigr., 53 p., 18 fig.
- CASENAVE A.,GUIGEN N.,SIMON J.M.-1982- Etude des crues décennales des petits bassins versants forestiers en Afrique tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.,XIX, 4, pp. 229-252.
- CASENAVE A.,KONG J.,THIEBAUX J.P.-1985- Etude du ruissellement sous pluies simulées sur un bassin versant de la Comba. ORSTOM Abidjan, multigr., 30 p.
- CASENAVE A.,CHEVALLIER P.,KONG J.-1986- Etude des crues décennales des petits bassins forestiers: bassin du Leyou et de la Bibanga (Congo). ORSTOM Abidjan-Brazzaville, multigr., 25 p.
- CASENAVE A.,VALENTIN C.-1988- Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM-CEE, tome 1, 260 p., 43 fig. et cartes + annexes. tome 2 , 197 photos

- CASENAVE A., VALENTIN C.-1989- Les états de surface: une des clefs de l'hydrologie sahélienne. Coll. intern. sur l'état de l'art en hydrologie et hydrogéologie dans les zones arides et semi-arides d'Afrique. Ouagadougou, 13-17 février.
- CHEVALLIER P.-1982- Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi, Haute Volta). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4, pp. 253-297.
- CHEVALLIER P., CLAUDE J., POUYAUD B., BERNARD A.-1985- Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la mare d'Oursi (Burkina Faso). ORSTOM Paris, Travaux et Documents n°190, 251 p.
- 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.
- COLLINET J.-1986- Hydrodynamique superficielle de quelques types de sols du Sahel africain, comparaison des données fournies par deux dimensions de parcelles de simulation de pluie. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Coll. ORSTOM, Colloques et Séminaires, pp. 117-153.
- COLLINET J., VALENTIN C.-1985- Evaluation of factors influencing water erosion in West Africa using rainfall simulation. In: Challenges in African Hydrology and Water resources. IAHS Publ., n° 144, pp. 451-461.
- 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). Thèse de doctorat, Univers. Paris VI, 317 p.
- GATHELIER R.-1988- Etude du bassin versant de Kountkouzout. Rapport de la campagne 1987. ORSTOM Niamey, multigr., 23 p. + annexes.
- IRIS J.M.-1987- Etude des facteurs de l'infiltration et du ruissellement en zone de savane. Analyse de la variabilité spatiale du ruissellement sur un hectare. ORSTOM, Bondy, multigr., 8 p.
- LAMACHERE J.M.-1988- Interprétation des images satellitaires SPOT et cartographie des aptitudes au ruissellement et à l'infiltration des sols sur un bassin versant sahélien: le bassin versant de la mare d'Oursi-Burkina Faso. 14ème Conseil des Ministres du CIEH, journées techniques, 9-11 février.
- THEBE B.-1987- Hydrodynamique de quelques sols du nord Cameroun. Bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des transferts d'échelles. Thèse Université, USTL Montpellier, multigr., 306 p.
- VACKSMANN -1988- BIPODE, logiciel de calcul des termes du bilan hydrique. IRAT-CIRAD
- VALENTIN C.-1981- Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie en eau. Thèse 3è cycle, Univers. Paris VII, Coll ORSTOM, Etudes et Thèses, 1985, 259 p.
- VALENTIN C.-1985- Effects of grazing and trampling on soil deterioration around recently drilled water holes in the Sahellian zone. In: Soil erosion and conservation, Soil conservation Society of America edit., pp. 51-65.

- VALENTIN C.-1986- Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement: une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Coll. ORSTOM, Colloques et Séminaires, pp. 50-74.
- VALENTIN C.,CASENAVE A.-1989- The impact of soil surface deterioration on runoff production in the arid and semi-arid zones of west Africa. Coll. intern. sur l'état de l'art en hydrologie et hydrogéologie dans les zones arides et semi-arides d'Afrique. Ouagadougou, 13-17 février.

**PROGRAMME 2B A19**

**UTILISATION ET CONSERVATION DES RESSOURCES EN SOL ET EN EAU DANS LE NORD CAMEROUN.**

**EQUIPE.**

PONTANIER, SAYOL, SEGHIERI, THEBE, FLORET (centre L. Emberger) + chercheurs Camerounais.

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Ce programme, qui est arrivé à son terme début 88, a été réalisé conjointement par le Centre National des Sols de l'Institut de la Recherche Agronomique du Cameroun (CNS/IRA), le Centre de Recherche Hydrologique de l'Institut de Recherche Géologique et Minière (CRH/IRGM), l'ORSTOM et le Centre Louis Emberger (CEPE/CNRS Montpellier).

Les zones concernées par le projet sont principalement la plaine du Diamaré et ses bordures, où la pluviosité moyenne annuelle est de 650 à 750 mm, ainsi qu'un secteur des monts Mandara bordant à l'ouest cette plaine, où la pluviosité est supérieure (800 à 1000 mm); l'ensemble est situé dans la province de l'extrême nord du Cameroun.

Dans une situation de déséquilibre biologiques liés à la surexploitation du milieu naturel et en vue d'une meilleure utilisation des ressources en eau, en sol et en végétation, le projet visait à renforcer et initier un certain nombre d'actions concernant la dynamique de l'eau à l'interface sol-plante-atmosphère et à préciser les processus de dégradation et éventuellement de régénération des sols et de la végétation naturelle. C'est ainsi qu'ont été menées des études concernant:

- la caractérisation et la cartographie des systèmes écologiques d'une zone test (BV Mouda), permettant de préciser la distribution spatiale et l'utilisation des ressources d'un territoire, la dynamique actuelle du milieu face à certaines perturbations et de globaliser les observations stationnelles,

- le cycle de vie des espèces végétales spontanées en relation avec le partage de la ressource hydrique du sol sur les principaux types de milieux de la région de Mouda,

- la caractérisation et la quantification à différentes échelles du ruissellement et des pertes en sol des principaux systèmes écologiques de la région, en insistant sur les facteurs conditionnels de ces phénomènes, les problèmes du transfert d'échelle et la sensibilité des milieux à l'érosion hydrique,

-l'impact de certains aménagements traditionnels sur la dynamique du milieu, en vue d'une réflexion sur les actions d'aménagement à entreprendre pour une meilleure gestion de l'espace rural.

Enfin, le projet devait former une équipe nationale rodée aux méthodes de l'inventaire global des ressources, apte à conduire des recherches pluridisciplinaires sur le fonctionnement et l'évolution des milieux.

Les échelles auxquelles ont été effectués les différents axes de recherche sont très variées. En ce qui concerne le ruissellement et l'érosion, elles vont de la micro-parcelle ( $1\text{m}^2$ ) au bassin versant ( $X \text{ Km}^2$ ) en passant par le mini-bassin versant ( $X 10^3 \text{ m}^2$ ); certaines études ont été faites en mode diachrone (étude des bilans d'eau, d'érosion et des régimes hydriques des sols sur plusieurs années), d'autre en mode synchrone (simulation de pluie sur parcelles).

#### ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

##### Les systèmes écologiques du bassin versant de Mouda.

Cette cartographie a été conçue d'une part pour l'analyse et pour la résolution des problèmes de transfert d'échelle du ruissellement, et pour la globalisation des observations effectuées au niveau stationnel, et d'autre part pour évaluer les ressources naturelles en vue de leur gestion. L'unité de cartographie est le système écologique. Ceux-ci, au nombre de 15, sont répartis sur trois secteurs. Chaque système écologique est défini en termes de (i) sol, en insistant sur les caractéristiques hydrodynamiques et sur les caractères évolutifs (érosion), (ii) végétation (physionomie, espèces dominantes, indicateurs de dégradation, état du couvert) et (iii) utilisation des terres. Par ailleurs, cette méthode de caractérisation globale du milieu a été le départ d'une réflexion sur les aspects dynamiques concernant la dégradation des sols et de la végétation.

##### Cycle de vie des espèces végétales - Partage de la ressource hydrique du sol.

Face aux perturbations intenses (climatiques et anthropiques) que subit la végétation, différentes réponses ont été mises en évidence par l'analyse phénologique. Ligneux et herbacées sont en compétition pour la ressource hydrique durant une bonne partie de la saison des pluies puisque la partie superficielle du système racinaire des ligneux exploite la même profondeur de sol que les graminées annuelles, qui est de 20 à 25 cm sur les "hardés", 40 cm sur les vertisols et les ferrugineux.

### Ruissellement et érosion - Sensibilité des milieux à l'érosion hydrique.

Des fonctions de production du ruissellement ont été établies en saison sèche, à partir des données obtenues sous pluies simulées sur sept sites des principaux systèmes écologiques. Les paramètres retenus comme explicatifs de la lame ruisselée sont: la hauteur de pluie précipitée, un indice des précipitations antérieures, caractérisant l'état d'humectation du sol et un indice de recouvrement au sol par la végétation. Le suivi de trois sites pendant une saison des pluies, a permis de valider les résultats de la simulation de pluie.

Le transfert de ces résultats à l'échelle du micro-bassin et du bassin versant a été réalisé grâce à la détermination des aires de chacun des systèmes écologiques sur lesquels les coefficients de ruissellement varient de 75 % sur les sols "hardés" à 2 ou 3 % sur les sols fersiallitiques de collines.

Du point de vue de l'érosion, les tests pratiqués sur parcelles élémentaires, sous pluie simulée ont mis en évidence le rôle prépondérant du couvert et du travail du sol. La sensibilité à l'érosion hydrique d'un sol ferrugineux cultivé étant multiplié par 15, par rapport au même sol couvert d'une jachère de 2 à 3 ans.

Les mesures sur bassins ont permis de quantifier l'érosion, qui est de l'ordre de 11 à 17 tonnes/ha/an sur le micro-bassin pour les 2 années d'études et de 5,2 tonnes/ha/an sur le bassin représentatif.

Concernant l'érosivité de ces systèmes, les différences proposées par les modèles de corrélation font surtout intervenir la lame ruisselée qui n'explique, cependant, que 35 % de la variance en moyenne et 60 à 70 % dans les meilleurs cas.

### Conservation des sols et maîtrise de l'eau - Réflexions sur l'aménagement.

La recherche a montré l'intérêt en zone montagnarde de l'aménagement en terrasses, mais a surtout mis l'accent sur les conséquences des cycles d'abandon alternant avec des remises en état et de la pratique de la jachère. Dans tous les cas, la culture, même avec des murettes en bon état, augmente l'érosion. L'abandon avec jachère est le traitement qui perd le moins d'eau et de terre, malgré l'absence d'entretien des murettes. L'érosivité du millimètre ruisselé est 2,5 fois plus forte sur les terrasses cultivées que sur les jachères. La culture sur les terrasses augmente les pertes en eau de 32 %, si on la compare aux terrasses laissées en jachère.

En plaine et sur les glacis des séquences vertisoliques, on a montré que le cloisonnement des champs par des diguettes délimitant des petits casiers de 50 à 200 m<sup>2</sup>, augmentait de 40 % le coefficient d'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves.

L'ensemble de la recherche a montré que la diversité des systèmes écologiques et surtout édaphiques induisait une répartition spatiale de l'aridité (édaphique) autre que celle d'origine climatique. Cette diversité, loin d'être un désavantage en zone aride, doit être utilisée pour adapter et localiser au mieux des aménagements basés sur la maîtrise des eaux de surface, qui semble être la voie la moins étroite pour intensifier les productions.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- CCE-1988- Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau dans le nord Cameroun. Rapport final du contrat TSD-A-216 CAM(5). IRA/IRGM/ORSTOM/CEPE, 232 p.
- FLORET C., LE HOUEROU H., PONTANIER R.-1986- Risque climatique et aménagement. Comparaison pour les zones arides au nord et au sud du Sahara. Conférence internationale MEDECOS V, Montpellier 15-21 juillet.
- PONTANIER R., MOUKOURI KUOH, SAYOL R., THEBE B.-1985- Apport de l'infiltromètre à aspersion pour l'évaluation des ressources en sol des zones soudano-sahéliennes du Cameroun. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Coll. ORSTOM, Colloques et Séminaires, pp. 165-189.
- SEGHIERI J.-à paraître- Dynamique saisonnière de la végétation en relation avec le régime hydrique dans les savanes soudano-sahéliennes du nord Cameroun. Thèse USTL Montpellier.
- SEYNI-BOUKAR L.-à paraître- Dynamique de l'eau du sol de quelques systèmes écologiques du nord Cameroun. Application à l'aménagement. Thèse Université Yaoundé.
- THEBE B.-1987- Hydrodynamique de quelques sols du nord Cameroun. Bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des transferts d'échelles. Thèse Université, USTL Montpellier, multigr., 306 p.
- THEBE B., PONTANIER R.-à paraître- Le ruissellement obtenu par simulation de pluie sur parcelles est-il transférable au bassin versant ? Hydrologie Continentale.

**PROGRAMME 2B A20****COMPORTEMENTS HYDRODYNAMIQUES ET EROSIFS DE  
SOLS DE L'AFRIQUE DE L'OUEST.****EQUIPE.**

COLLINET

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Identifier, comparer les comportements hydrodynamiques et érosifs d'un transect climatique de sols de l'ouest africain et détecter les mécanismes expliquant ces comportements.

Contribution à l'amélioration des connaissances au niveau de deux volets:

-hydrodynamique superficielle, partition entre ruissellement et infiltration et connaissance des paramètres conditionnels issus tant des contraintes climatiques (pluies) que des situations (sols, interfaces sols-végétation, traitement culturaux, topographie).

-conservation des sols, déterminisme des niveaux de l'érosion hydrique sur parcelles, extrapolation au champ, au versant en liaison avec les mêmes paramètres conditionnels que précédemment.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

Ce programme s'est terminé par la soutenance de thèse de COLLINET le 27-05-88.

Ruissellements et érosions ont été étudiés sur des sols représentatifs de l'Afrique de l'ouest en utilisant un simulateur de pluies sur 92 parcelles expérimentales depuis le Sahel jusqu'aux tropiques humides.

Dans un premier niveau d'analyse, où l'on étudie les comportements globaux de sols isohumiques, ferrugineux et ferrallitiques, il apparaît que l'accent doit être mis sur la conductivité hydraulique de la surface du sol qui départage des ruissellements élevés dans les régions sahéliennes et soudanaises (# 70 %) et plus modérés dans les régions guinéennes (# 20 %). La limite entre ces deux comportements est tranchée et correspond, en fait, à une pérennité du couvert végétal intervenant surtout au niveau de son système racinaire traçant et à une activité plus durable de la faune du sol. On ne retrouve pas cette limite pour ce qui concerne les érosions qui varient dans de larges limites (facteur 10 dans le domaine isohumique et facteur 150 dans les domaines ferrugineux et ferrallitiques). Alors que les infiltrations sont surtout sous

la dépendance des organisations des sols, les érosions sont plus liées aux constituants, c'est ce qui explique la forte dispersion des résultats dans les domaines ferrugineux et ferrallitiques aux sols plus ou moins gravillonnaires.

Dans un second niveau d'analyse, on se préoccupe des paramètres les plus susceptibles d'influencer ruissellements et érosions. Le "splash", lié à l'énergie des averses, et la capacité érosive des ruissellements dépendent de la granulométrie, de la nature minéralogique, de l'humectation antérieure et de la pente topographique des sols. Des seuils de réaction se manifestent qui mettent en évidence le rôle intercepteur d'énergie de l'épaisseur de la lame ruisselante, donc aussi, toutes causes susceptibles de modifier la microtopographie du sol.

L'efficacité de différentes techniques culturales a été testée; il apparaît que la conservation des terres et des eaux est liée aux effets opposés de l'augmentation de la surface spécifique du champ et des inclinaisons du plan d'impact des pluies.

Cette étude révélant l'importance prépondérante des organisations superficielles des sols, on s'est enfin attaché à suivre la constitution et les remaniements des concentrations plasmiques laminaires contrôlant la conductivité des sols, par toute une série d'observations micromorphologiques avant, pendant et après les averses simulées. On est ainsi amené à proposer une théorie sur la formation des concentrations plasmiques subsuperficielles des sols, complétée par une semi-quantification des infiltrabilités que conditionnent leur étanchéité et leur stabilité.

#### BIBLIOGRAPHIE.

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 L. Pasteur Strasbourg.

**PROGRAMME 2B B1**

**PROGRAMME HYDROPEDOLOGIQUE DE RECHERCHE SUR  
BASSIN VERSANT EN COTE D'IVOIRE  
(HYPERBAV).**

**EQUIPE.**

BERTHELOT, BOA, BROU, CAMARA, CHEVALLIER, ETIENNE, FRITSCH, IRIS, JANEAU, LAPETITE, LEPAGE, MITJA, PLANCHON, TANO, VALENTIN.

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Les études sous pluies simulées, notamment, mais aussi les résultats des bassins versants représentatifs de cette région, ont montré que la zone de savane humide était celle où le fonctionnement hydrologique des petits bassins était le plus complexe. En effet, l'hydrodynamique y est influencée par la nature des organisations internes de la couverture pédologique et par les états de surface ceux-ci étant, de plus, sujets à des variations saisonnières importantes.

L'objectif principal du programme HYPERBAV était, au travers de deux approches, l'une naturaliste, l'autre géostatistique, de comprendre le fonctionnement hydrologique d'un petit bassin versant de cette zone, par l'analyse des mécanismes et des processus mis en jeu. Pour ce faire, l'équipe a été amenée à aborder les thèmes scientifiques suivants:

- Analyse fine des composantes du milieu (climat, topographie, couvert végétal, organisations superficielles et internes de la couverture pédologique, évolution saisonnière), de leurs interactions et de leur influence sur les transferts hydriques,

- étude de l'influence sur le milieu et sur son comportement de la mise en culture: suivi de la reconstitution sur des jachères d'âges différents (association avec l'UR 509),

- hydrodynamique superficielle et interne: observations du comportement du bassin, d'un sous-bassin et d'un bassin emboîtant, lois de l'infiltration et de la filtration sur parcelles, modélisation-simulation,

- détermination de l'importance relative des différentes composantes du milieu sur les fonctions de production des termes du bilan hydrique,

- migrations des constituants superficiels (érosion en nappe et linéaire).

Ce programme qui devait, à l'origine, se dérouler sur 2 à 3 années, aura en réalité, duré près de 7 ans, sans que pour autant, d'ailleurs, tous les objectifs initiaux aient été atteints, la complexité du milieu s'étant révélée encore plus grande que prévue.

## ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

Ces dernières années du programme ont été marquées par un travail de synthèse intensif qui s'est traduit par la soutenance de quatre thèses et qui sera valorisé lors des Journées Hydrologiques et Pédologiques 89 de Montpellier, consacrées à la présentation des résultats de ce programme.

Les principaux résultats concernent, d'une part, les composantes du milieu et, d'autre part, le fonctionnement hydrologique.

### -Les composantes du milieu:

-Aux échelles fines, il est possible d'estimer correctement la teneur en hématite d'un échantillon du bassin par une simple mesure de coloration au code Munsell. Les variations de porosité les plus importantes ont lieu lors du passage des horizons rouges aux horizons ocres. Elles traduisent une baisse de porosité d'environ 8 % que l'on peut relier principalement à la disparition de la macroporosité interagrégat de type fissural. La couleur fournit des indications très pertinentes quant à l'instabilité structurale (Henin-Monnier). Il est nécessaire de distinguer la vitesse d'encroûtement, de sa sévérité, exprimée soit en épaisseur de croûte formée, soit en termes hydrodynamiques.

-A l'échelle de quelques  $m^2$ , à l'inverse de la biomasse épigée, la plus forte biomasse racinaire correspond aux jachères les plus âgées. Une durée de dix ans correspond à un seuil pour un âge de jachère: c'est la durée nécessaire à la stabilisation de l'instabilité structurale de l'horizon superficiel.

-A l'échelle du bassin versant, un modèle numérique de terrain a été développé à partir de la carte hypsométrique.

### -Le fonctionnement hydrologique:

-Aux échelles fines, l'élaboration d'une typologie morphogénétique des gravillons a permis de distinguer leurs aptitudes au stockage de l'eau et à sa restitution à la matrice lors de la dessiccation.

-A l'échelle du  $m^2$ , plus des deux tiers de la variance du coefficient d'infiltration sont expliqués, indépendamment du couvert et de l'état hydrique du sol (différents types de croûtes). 81 % de la variance du coefficient d'infiltration est expliquée par l'utilisation de la typologie des surfaces unitaires.

-A l'échelle des versants, l'étude du ruissellement a été menée grâce à 130 points d'observations qui vont de la station hydrologique classique à la simple constatation de la présence ou de l'absence d'écoulement. Il apparaît que tous les paysages type définis par l'analyse de la base de données ont des lois de production du ruissellement qui leur sont propres et, sauf dans certains cas exceptionnels, ce ruissellement s'infiltré en totalité en bas de versant, avant d'atteindre le cours d'eau. La partie située de part et d'autre de

la rupture de pente est la plus productrice de ruissellement. Les ravines sont le lieu privilégié des transferts depuis les versants jusqu'au marigot. Lors de ce changement d'échelle, apparaît un nouveau facteur qui est la propagation des crues le long des ravines; celle-ci dépend étroitement de la recharge de la nappe. Ce n'est que lorsque son niveau est suffisamment élevé, en fin de saison des pluies, que l'onde de crue peut atteindre le bas-fond.

-A l'échelle du bassin versant, apparaît le rôle essentiel des stockages souterrains dans la zone saturée, comme dans la zone non saturée. Toutes les hypothèses formulées ces dernières années sur les chemins de l'eau (écoulement superficiel de type hortonnien, écoulements rapides internes liés ou non à la position des nappes, variations rapides des niveaux piézométriques, écoulement sur surfaces saturées) interviennent de manière variable dans le temps et dans l'espace avec l'évolution saisonnière du milieu naturel (particulièrement du bilan pluie-évapotranspiration) et avec l'hétérogénéité spatiale des facteurs (substratum géologique, sols, organisations superficielles, végétation) influençant le comportement hydrodynamique. Les quatre modèles pluies-débits utilisés (CREC, Modglo, Modibi, modèle couplé) assurent une bonne reproduction des lames écoulées mensuelles. Au pas de temps journalier les résultats obtenus avec le modèle couplé sont décevants pour deux raisons essentielles: ce modèle n'est pas conçu pour prendre en compte les mécanismes variables de la production de l'écoulement; les données de base sur le domaine souterrain sont trop sommaires. L'étude des formes des crues montre que les crues pointues procèdent d'un écoulement de surface essentiellement sur les zones saturées; les crues plus plates sont liées à des variations rapides de niveau des stocks internes. L'étude du tarissement fait apparaître l'extrême sensibilité de la zone de bas-fond aux phénomènes évapotranspiratoires par exemple à travers les oscillations journalières des débits.

## PERSPECTIVES.

Elles sont actuellement de deux types: valorisation des travaux déjà réalisés, d'une part; développements nouveaux à partir des résultats acquis, d'autre part.

## BIBLIOGRAPHIE.

Parmi l'abondante littérature produite par les artisans de ce programme, nous n'avons sélectionné que les publications dans des revues internationales, les communications à des congrès ou séminaires et les thèses. A ces titres il faudrait en ajouter 25 autres parus sous forme de littérature grise entre 1986 et 1989.

BOA D.-1989- Caractérisation, propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialités des sols gravillonnaires: cas de Booro-Borotou (région de Touba, nord-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de 3ème cycle, Univers. d'Abidjan.

- CAMARA M.-1989- Les systèmes de culture et leurs influences sur quelques propriétés physiques et hydrodynamiques du sol: cas de Booro-Borotou (région de Touba, nord-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Univers. d'Abidjan.
- CHEVALLIER P.-1988- Complexité hydrologique du petit bassin versant. Exemple en savane humide, Booro-Borotou (Côte d'Ivoire). Thèse, USTL., Montpellier.
- CHEVALLIER P.-1989- Fonctionnements hydrologiques élémentaires. Expérience acquise récemment par l'ORSTOM en Afrique de l'ouest. Colloque Conseil Général de la Guadeloupe, Pointe à Pitre, 18-20 avril.
- CHEVALLIER P., LAPETITE J.M.-1986- Note sur les écarts de mesure observés entre les pluviomètres standard et les pluviomètres au sol en Afrique de l'ouest. Hydrologie Continentale, I(2), pp. 111-119.
- CHEVALLIER P., GIRARD G.-1989- Utilisation d'un modèle distribué sur un petit bassin versant de savane (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). Coll. intern. sur l'état de l'art en hydrologie et hydrogéologie dans les zones arides et semi-arides d'Afrique. Ouagadougou, 13-17 février.
- FRITSCH E., PLANCHON O., BOA D.-1987- Les transformations d'un paysage cuirassé au nord ouest de la Côte d'Ivoire sur formations gneisso-migmatitiques. Séminaire régional de Yaoundé sur les latérites. Col. ORSTOM Colloques et séminaires.
- FRITSCH E., HERBILLON A.J., JEANROY E., PILLON P., BARRES O.-à paraître- Variations minéralogiques et structurales accompagnant le passage "sols rouges-sols jaunes" dans un bassin versant caractéristique de la zone de contact forêt-savane de l'Afrique occidentale (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). Soumis pour publication à CATENA.
- IRIS J.M.-1986- Analyse et interprétation de la variabilité spatiale de la densité apparente dans trois matériaux ferrallitiques. Science du sol, 24(3), pp. 245-256.
- IRIS J.M.-1988- Effet de la variabilité spatiale du ruissellement sur l'estimation des crues. Third International Geostatistics Congress, 5-9 sept. Avignon, Reidel & Co. edit.
- JANEAU J.L., VALENTIN C.-1988- Relations entre les nids de TRINERVITERMES et la surface du sol: réorganisations, ruissellement et érosion. Rev. Ecol. Biol. Sol, 24(4), pp. 637-647.
- LEPAGE M., TANO Y.-1986- Les termitières épigées d'un bassin versant en zone soudanienne. Premiers résultats obtenus. Actes Coll. Insectes sociaux, CNRS, Paris, 3, pp. 133-142.
- PLANCHON O., FRITSCH E., VALENTIN C.-1987- Rill development in a wet savannah environment. CATENA Suppl., 8, pp. 55-70.
- PLANCHON O.-1988- La production de sédiments sur les versants et leur transport à l'échelle du Km<sup>2</sup> en savane humide, Côte d'Ivoire. Proceedings of the Porto-Alegre Symposium, IAHS publ.n° 174, pp. 281-291.
- PLANCHON O.-1989- Le relief, les paysages et les formes d'érosion linéaire: leur importance dans le fonctionnement d'un petit bassin versant. (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). Thèse USTL Montpellier.

- TANO Y.,LEPAGE M.-1987- Distribution of termite mounds in a drainage basin of the sudanian zone (Côte d'Ivoire). in: EDER/REMBOLD, Chemistry and Biology of Social Insects, Verlag J. PEPERNY, München, pp. 613-614.
- VALENTIN C.,FRITSCH E.,PLANCHON O.-1987- Sols, surfaces et formes d'érosion linéaire en milieu ferrallitique de savane. L'exemple d'un bassin versant du nord-ouest de la Côte d'Ivoire. in: Land development management of acid soil. IBSRAM Proceedings n°4, Bangkok, pp. 67-81.
- VALENTIN C.-1987- Soil surface crusting. Some agronomic implications. IBSRAM Proceedings n°4, Bangkok, pp.53-66.
- VALENTIN C.-1989- Les états de surface des savanes de l'ouest africain: relations avec les sols et incidences sur l'économie en eau. Premier Séminaire franco-africain de Pédologie tropicale, SOLTROP, Lomé, 6-12 février.
- VALENTIN C.,JANEAU J.L.-à paraître- Les risques de dégradation structurale superficielle en savane humide. Cah. ORSTOM, sér. Pédol.

**PROGRAMME 2B B2**

**ETUDE DES ECOSYSTEMES DU NORDESTE BRÉSILIEN.**

Un programme étant à l'ORSTOM une entité administrative ("croisement d'un grand programme et d'un centre de gestion"), ce programme recouvre, en réalité, trois sous-programmes "scientifiques" différents.

**SOUS-PROGRAMME: ETUDE DU BILAN D'EAU ET DES MATIERES SUR BASSINS VERSANTS**

**EQUIPE.**

AUDRY, LEPRUN, MOLINIER, DESCONNETS.

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

La sécheresse qui sévit très souvent dans le N.E. du Brésil (insuffisance et irrégularité des pluies) fait que l'eau y est le facteur limitant n°1 de la production agricole. Or la plus grande partie de cette zone sèche (SERTA0) est située sur socle cristallin, ce qui lui confère deux caractères importants:

-les sols sont souvent peu épais et, pour cela, incapables de constituer des réserves en eau qui tamponneraient efficacement l'inégale distribution des pluies, limitant ainsi les effets de la sécheresse,

-hormis les grands fleuves permanents, les eaux superficielles et subsuperficielles sont limitées et localisées. De plus, elles présentent souvent des taux de minéralisation qui les rendent, à terme plus ou moins proche, dangereuses à utiliser sans précautions pour l'irrigation.

Dans ces conditions, tant en culture sèche qu'irriguée, la conduite de l'agriculture consiste en un pilotage délicat qui doit tenir compte de la quantité et de la qualité des eaux disponibles et viser à une exploitation maximale, sans toutefois dégrader les sols par érosion ou salinisation-sodification.

La recherche entreprise est menée sur bassins versants correspondants à des sols et, plus généralement, des écosystèmes représentatifs et prétend:

-mesurer, caractériser, analyser et tenter de modéliser les mécanismes qui contrôlent la dynamique et les bilans hydriques et minéraux, à différentes échelles et sous divers couverts végétaux, naturels ou cultivés;

-essayer de définir quelques règles de transfert des résultats obtenus à l'échelle ponctuelle à des petites surfaces et, de là, à des superficies plus importantes (microbassins et bassins représentatifs);

-définir des conditions permettant la transposition des résultats vers d'autres régions sur la base d'analogies de couvertures pédologiques et végétales et des éléments climatiques;

-utiliser les résultats obtenus pour améliorer la gestion des ressources en eau du sol.

Le site choisi pour ce projet est celui des bassins représentatifs et expérimentaux de SUME, dans la zone semi-aride du nordeste (pluviométrie moyenne annuelle de 600 mm), sur sols bruns eutrophes à caractère vertique. Le dispositif comprend 4 échelles de superficie: 1 m<sup>2</sup>, 100 m<sup>2</sup>, 1ha et 10 Km<sup>2</sup>. La superficie de 10 Km<sup>2</sup> est représentée par le bassin de UMBURANA étudié depuis 1972. L'échelle de 1 ha comporte quatre microbassins expérimentaux, étudiés depuis 1982. Neuf parcelles de 100 m<sup>2</sup>, de pentes et de traitements différents, ont été mises en place entre 1982 et 1986. Enfin, un certain nombre de parcelles de 1 m<sup>2</sup> a été rajouté, chacune d'elle étant équipée d'un tube de mesures neutroniques et d'une batterie de tensiomètres échelonnés de 5 à 65 cm.

#### ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

Les travaux de terrain se sont achevés au début de l'année 1989.

Le rôle prépondérant de deux facteurs a été mis en évidence dans le déterminisme de la circulation dans l'écosystème. Il s'agit du couvert végétal qui règle l'infiltration superficielle et de l'organisation de la couverture pédologique qui règle les circulations internes. La caractérisation du mode d'intervention de ces deux facteurs et de leur interaction a permis de schématiser le fonctionnement de l'écosystème à l'échelle d'un versant.

Ce schéma représente la première étape de l'élaboration d'un modèle, étape qui a consisté à identifier les flux.

Ce modèle intègre bien le facteur échelle qui affecte le ruissellement et que les différentes mesures ont permis de mettre en évidence et de chiffrer, entre 1 m<sup>2</sup> et 1 ha. Le facteur explicatif de ce phénomène est la nature diversifiée et la structure plissée-faillée du substrat rocheux qui commande, aux différentes échelles, la distribution et les proportions relatives de sols à comportements hydrologiques différents.

Dans ce système où dominent les sols peu perméables (bruns vertiques) associés à des sols plus perméables (bruns modaux passant à des lithosols), la proportion de ces derniers augmente à mesure qu'on embrasse une superficie croissante. Ceci peut expliquer, en partie, l'effet d'échelle constaté. On peut ajouter qu'à une échelle plus ample que celle de nos mesures, on intégrerait des sédiments qui augmenteraient la capacité moyenne d'infiltration.

Conséquences pratiques pour l'exploitation du milieu.

-Culture pluviale

Le problème essentiel est de stocker, dans le sol et à la disposition des plantes, toute la pluie, puisque, même en réalisant au mieux ce stockage, du fait de la seule irrégularité des pluies, 3 années sur 10, en moyenne, entreront quand même dans la catégorie des trop connues années sèches du Nordeste Brésilien. En conséquence, deux mesures s'imposent:

-Le choix de plantes dont les racines pénètrent bien l'horizon B argileux, malgré sa compacité, pour tirer parti de l'eau qui y sera stockée;

-forcer artificiellement l'infiltration, spécialement au début du cycle et avant que les plantes ne couvrent le sol. Dans ce but, la création d'un microrelief, type billon cloisonné, paraît être une des mesures simples les plus appropriées.

-Culture irriguée

Dans ce cas, le problème est de savoir s'il est possible d'éliminer, par drainage, le supplément de sels apporté par les eaux d'irrigation. Ceci sera une urgence d'autant plus immédiate que les eaux seront plus minéralisées, ce qui sera pratiquement le cas chaque fois qu'on utilisera des ressources localisées d'eau souterraine. Mais ce drainage est indispensable aussi, en cas d'utilisation d'eaux superficielles dites de qualité moyenne ou bonne, car si l'accumulation des sels est plus lente, elle ne s'en produit pas moins et, à terme, les résultats seront les mêmes.

On peut considérer cette question selon deux points de vue:

-La perméabilité du sol est-elle suffisante pour que de l'eau percole à travers le profil (drainage interne des pédologues) ?

Les perméabilités les plus faibles, mesurées sous charge, sont de l'ordre de  $0,5 \text{ mm.h}^{-1}$ . Cette valeur très faible suggère, entre autres choses, un grand soin dans l'ajustage des doses d'irrigation et des fréquences d'arrosage pas trop élevées, pour éviter le risque d'engorgement prolongé. Dans le même souci, il serait préférable d'appliquer une surdose cumulée de lavage toutes les n irrigations, plutôt qu'à chaque arrosage.

Compte tenu de la grande hétérogénéité spatiale des sols sur de courtes distances, il vaudra mieux apporter l'eau d'irrigation, et plus encore la surdose de lavage, sur une surface divisée en parcelles de dimensions réduites. Enfin, du fait de l'hétérogénéité et des circulations latérales dans les horizons A, il faudra assurer un suivi du niveau de salinisation et ajuster, en conséquence, la dose de lavage, sans se fier à des normes préétablies.

-Les conditions générales du bassin permettent-elles l'évacuation effective des solutions de lavage (drainage externe évalué au niveau de l'unité de paysage) ?

L'élimination des solutions de lavage doit être facilitée par le drainage oblique mis en évidence dans l'horizon C. Sa perméabilité et sa pente doivent être suffisantes, et sa topographie interne assez régulière pour éviter des petites nappes perchées qui donneraient autant de taches salinisées (phénomène effectivement observé dans une région voisine). Pour l'irrigation, on éliminera toute dépression ou replat et, d'une manière générale, les bas de versants, sauf s'ils présentent un exutoire réellement efficace.

En conclusion, aussi bien en culture pluviale qu'irriguée, l'exploitation de cet écosystème suppose le respect d'un certain nombre de précautions. Le non respect de celles-ci entraînerait une dégradation de l'équilibre existant (érosion, régime hydrologique, salinisation). Si ces conditions ne sont pas garanties, il est préférable de conserver à des fins d'élevage extensif, les couvertures de caatinga dont la valeur de pâturage peut, par ailleurs, être améliorée.

#### **PERSPECTIVES.**

Au tout premier plan des prolongements envisagés figure la deuxième phase d'élaboration du modèle de fonctionnement de l'écosystème, qui consiste à quantifier les flux et à les intégrer dans l'espace.

Ce modèle serait constitué d'un ensemble de deux modules unidimensionnels verticaux, basés sur la loi de Darcy, chacun d'eux calé sur l'un des deux grands types de sols présents. Ils simuleraient l'infiltration et le remplissage des réservoirs correspondants aux divers horizons, ainsi que la redistribution verticale et l'évapotranspiration. Chaque fois que les horizons A et C arriveraient à saturation, les transferts latéraux seraient réalisés sous la forme d'une vidange du réservoir, interférant, bien entendu, avec l'ensemble des profils hydriques de chaque unité de l'espace discrétisé.

C'est à partir de ce modèle, calé sur les données disponibles, que l'on envisage, d'une part de passer à une estimation du bilan hydrique, dont seuls quelques termes ont été mesurés dans les travaux réalisés et, d'autre part, de préciser les règles de transfert des résultats en fonction des surfaces considérées.

Un projet de recherche sur la dynamique des transferts hydriques et minéraux dans le sol, en système de culture régionale, dans la zone semi-aride du Nordeste est envisagé, en collaboration avec l'IMG et le Département d'Énergie Nucléaire de l'Université de Pernambuco. Il constituerait un prolongement logique des travaux accomplis dans le cadre de l'ATP-PIREN qui vient de se terminer.

## BIBLIOGRAPHIE.

- AUDRY P., CADIER E., LEPRUN J.C., MOLINIER M.-1987- Projet: "Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème représentatif du Nordeste Brésilien. Conditions d'extrapolation spatiale à l'échelle régionale". Rapport d'avancement des travaux en juin 1987. ATP-PIREN, ORSTOM Récife, multigr., 78 p., 32 fig.
- MOLINIER M., AUDRY P., DESCONNETS J.C., LEPRUN J.C.-1988-Projet: "Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème représentatif du Nordeste Brésilien. Conditions d'extrapolation spatiale à l'échelle régionale". Rapport d'avancement des travaux en juin 1988. ATP-PIREN, ORSTOM Récife, multigr., 20 p., 3 fig.
- CARVALHO N.C. de, LEPRUN J.C.-1989- Atmospheric input. Functional analysis between its components. Ouvrage américain type "paper's" à paraître.
- DESCONNETS J.C.-1989- Organisation et comportement hydrique de l'association de sols bruns vertiques du bassin représentatif de Sumé. Mémoire de maîtrise. Univers. d'Avignon.
- LEPRUN J.C.-1989- Analogies et particularités des sols et des eaux de deux régions semi-arides, le Sahel de l'Afrique de l'ouest et le nord-est brésilien. in: L'aridité: une contrainte au développement. Ouvrage RZA-CNRS sous presse.
- MOLINIER M., GALVAO C.O., GOMEZ H.P.-1987- Determinação do escoamento de uma bacia hidrográfica através das técnicas de simulação de chuva. VII Simposio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos. Foz do Iguaçu, nov. 89, à paraître.
- MOLINIER M., AUDRY P., DESCONNETS J.C., LEPRUN J.C.-1989- Modelagem do escoamento e da infiltração em um solo Bruno não calcico do Nordeste. VII Simposio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos. Foz do Iguaçu, nov. 89, à paraître.
- MOLINIER M., AUDRY P., DESCONNETS J.C., LEPRUN J.C.-1989- Projet: "Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème représentatif du Nordeste Brésilien. Conditions d'extrapolation spatiale à l'échelle régionale". Rapport final. ATP-PIREN, ORSTOM Récife, multigr., 25 p., 6 fig. + annexes 56 p., 13 fig.

**SOUS-PROGRAMME: ETUDE ET MODELISATION DES RISQUES DE  
SALINISATION ET D'ALCALISATION DES SOLS DU NORD EST BRESILIEN  
SOUS IRRIGATION.**

**EQUIPE.**

AUDRY

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Comme dans toutes les régions semi-arides, des phénomènes de salinisation affectent les sols irrigués lorsqu'un drainage suffisant n'élimine pas l'excès de sels apportés par les eaux d'irrigation. Ceci s'est confirmé, de longue date, dans le N.E. brésilien sur les grands périmètres irrigués créés par les pouvoirs publics, malgré l'utilisation d'eaux de bonne qualité.

Malgré cela, le gouvernement a entrepris, il y a une dizaine d'années, de développer la petite irrigation pour laquelle les eaux sont fréquemment de qualité médiocre et parfois mauvaise. En quelques années, sont apparus des phénomènes de salinisation, localisés mais sérieux. Le CNPQ s'est fixé comme objectif d'évaluer ce problème régional et de contribuer à élaborer des outils de gestion en conséquence. C'est dans ce cadre que le CNPQ a demandé la collaboration de l'ORSTOM pour animer et orienter des projets de recherche.

A la suite d'une mission de M. RIEU, le CNPQ décidait de financer deux programmes de recherche sur la modélisation des phénomènes de salinisation et d'alcalisation des sols sous irrigation, prenant pour point de départ le modèle SIMUL. L'un de ces programmes (au Ceara) a été abandonné par suite de l'insuffisance de l'équipe exécutante, l'autre (dans la Paraíba) est en cours depuis 1,5 ans sous la direction de AUDRY.

L'existence d'un réseau d'expériences pratiques, réalisées chez et par des petits producteurs ruraux sélectionnés, qui bénéficient d'une assistance technique accrue, a été l'occasion de proposer au CNPQ de mettre à profit ce réseau pour réaliser un programme de prélèvements mensuels des eaux d'irrigation, dans le but d'en étudier la qualité et les variations saisonnières. Ce travail, coordonné par AUDRY, est complémentaire de celui de LARAQUE qui étudie, de façon plus approfondie, les seules eaux d'açudes.

Les produits attendus sont:

.Un inventaire géochimique des eaux superficielles et subsuperficielles,

.la mise en relation de la géochimie des eaux avec le climat, le mode de gisement et la nature des roches et des sols, et l'étude du mode d'acquisition des caractères géochimiques. L'ensemble constituant une base pour l'extrapolation et la régionalisation des résultats,

.le calage et l'adaptation d'un modèle de simulation des processus de salinisation et d'alcalisation sur une longue période.

L'ensemble de ces résultats doit servir à l'élaboration d'un instrument de gestion de la petite irrigation dans la région.

#### ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

Les travaux de terrain de l'aspect modélisation (suivi de la salinisation et de l'alcalisation sur lysimètres, sur sol nu, puis sous culture de coton et de maïs) ont commencé en octobre 87. Les travaux accomplis et les résultats sont les suivants:

-Caractérisation hydrodynamique préalable des sols par la méthode du drainage interne. Excellents résultats permettant de constituer la base d'un bon travail méthodologique; aussi a-t-on entrepris de faire un traitement semi-automatisé des résultats de ce type d'expérience. Un logiciel permettant de tester et comparer commodément les ajustements des lois les plus fréquemment utilisées pour décrire la relation  $K(\theta)$  a été élaboré.

Les résultats obtenus montrent une rupture très nette entre les deux phases, rapide et lente, de la redistribution, dont les ajustements exponentiels simples, couramment utilisés, ne rendent pas compte correctement. Ce travail est terminé. Il constitue le corps de la thèse d'un étudiant brésilien en phase finale de rédaction.

-Début d'un travail méthodologique visant à mettre au point une technique de détermination de  $K(\theta)$  sur petits cylindres de sol non remanié. Par rapport à la méthode proposée par RIEU, deux microtensiomètres sont systématiquement utilisés pour vérifier, de façon permanente, la validité de l'hypothèse du gradient unitaire en redistribution. Lorsque cette condition cesse d'être réalisée, l'expérience est poursuivie en évaporation. Premiers résultats encore partiels, mais extrêmement cohérents et encourageants.

-Réalisation d'une expérience de laboratoire pour déterminer la loi de variation de  $K$  en fonction du  $\text{Na}^+$  adsorbé, sur petits cylindres à structure conservée. L'existence d'une loi de forme exponentielle a été confirmée. La loi de dépendance établie sera un des paramètres à entrer dans le modèle. Travail terminé, constituant la thèse d'un autre étudiant brésilien.

-Calibrage du modèle. Les données récoltées pour réaliser ce calibrage sont d'excellente qualité en ce qui concerne les mesures hydriques, au moins pour la phase sol nu. Pour ce qui est des profils de salinité, les analyses sont en grande partie réalisées et les données, aujourd'hui disponibles, témoignent de leur consistance. Les premiers essais de calibrage commenceront d'ici quelques mois.

-Géochimie des eaux d'irrigation. La phase initiale a consisté en un gros travail d'organisation et de gestion de l'opération qui s'étend sur une région quasi grande comme la France. La première année de prélèvements est terminée depuis quelques mois. L'interprétation, dans un premier temps statistique et agronomique est en préparation. La deuxième année de collecte est en cours.

#### PERSPECTIVES.

La fin du travail de terrain en vue de la modélisation est prévue pour 1990. Un gros travail d'interprétation est à prévoir pour le calibrage du modèle; d'autant que l'abondance et la bonne qualité des données permettront de disposer du matériel nécessaire à une bonne adaptation du modèle dont on connaît déjà les principales limites, faiblesses et/ou insuffisances.

Passage à la phase d'interprétation de la géochimie des eaux d'irrigation, également à partir de 1990.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- AUDRY P., QUEIROZ M.M.F., BARRETO FILHO F.L., GHEYSI H.R.-1989- Estudo da condutividade hidraulica de um solo aluvial de Sao Goncalo. Poster accepté pour le XXII congrés de Science du Sol, Récife, 23-31 juillet.
- BARRETO FILHO F.L.-1989- Estudos de conductividade hidraulica em solos com diferentes teores de sodio trocavel. Thèse mestrado, UFPb, 43 p.
- GHEYSI H.R., AUDRY P., BARRETO FILHO F.L., QUEIROZ M.M.F.-1989- Calibracao e adaptacao de um modelo de simulacao dos processos de salinizacao num solo aluvial de Sao Goncalo. Apresentacao e sintese dos primeros resultados parciais. Poster accepté pour le XXII congrés de Science du Sol, Récife, 23-31 juillet.

**SOUS PROGRAMME: ETUDES DE BASSINS VERSANTS REPRESENTATIFS ET DE MISE EN VALEUR, POUR L'IRRIGATION, DE PETITS RESERVOIRS (ACUDES).**

**EQUIPE.**

CADIER, LARAQUE, LEPRUN

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Les études de BRE correspondent à une de nos plus anciennes activités dans le Nordeste (1962). Les activités dans ce domaine peuvent être classées en trois groupes dont les deux premiers sont assumés par CADIER et le troisième correspond au premier sous programme présenté:

-Synthèse d'étude sur BVR; mise au point d'une méthode de classification hydrologique des petits bassins. Cette classification nécessite d'établir des critères d'extrapolation prenant en compte la compréhension des mécanismes hydrologiques et les documents cartographiques existants. Un pédologue et trois hydrologues brésiliens travaillent sur cette étude, avec la participation de LEPRUN.

-Conseil en gestion de BVR. Cette activité, a priori sans grand intérêt scientifique, est difficilement dissociable des autres activités et permet d'influer sur le choix de certaines études

-Etude fine des mécanismes. Cf. premier sous programme, BV de Sumé.

Pour ce qui est de l'étude de la qualité des eaux des açudes, les justifications sont les mêmes que celles du deuxième sous programme. Cette étude s'articule avec la mise au point du modèle POMAC (CADIER UR 2E) qui simule au pas de temps journalier le fonctionnement d'un açude, de son bassin d'alimentation et de son périmètre d'irrigation.

Les produits attendus sont une meilleure connaissance des ressources en eau des petits bassins des zones semi-arides et du potentiel d'utilisation de ces ressources pour l'irrigation.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

Par suite de difficultés financières les études de BVR ont été suspendues par la SUDENE début 88. Depuis octobre 88 une nouvelle Direction a décidé d'organiser la campagne de mesures de saison des pluies sur les trois bassins en activité et de traiter et synthétiser les données accumulées sur chaque bassin, afin de juger, mi-89, de l'intérêt de la poursuite de ces études.

L'étude de la qualité des eaux des açudes doit faire l'objet de la thèse de LARAQUE dont la soutenance est prévue début 90. Des résultats intéressants ont déjà été obtenus:

-Suivi sur le terrain de la qualité de l'eau de près de 30 açudes avec, en général, des prélèvements mensuels.

-Conception d'une base de données, SISEAU, permettant de gérer des analyses d'eau, de critiquer les données, d'effectuer des bilans et de sortir des graphiques aidant à suivre et à comprendre les évolutions des concentrations chimiques et des faciès géochimiques.

-Réalisation et calage sur plusieurs cas concrets d'un modèle hydrochimique, SIMSAL, qui permet de reconstituer l'évolution de la qualité de l'eau d'un açude soumis à l'évaporation. La mise au point de ce modèle a nécessité un gros travail pour adapter, réunir et rendre compatibles des modèles thermodynamiques conçus pour d'autres finalités (ACTIVE et SIMUL de RIEU). La maîtrise des évolutions des équilibres carbonatés a longtemps constitué un obstacle à la bonne reconstitution des évolutions hydrochimiques des açudes. La mise en évidence des facteurs régissant ces évolutions permet d'ores et déjà d'obtenir des simulations satisfaisantes. Ce modèle devrait être, au moins partiellement intégré dans le modèle POMAC.

-Etude des facteurs conditionnels de la salinité de l'eau: caractéristiques des bassins d'alimentation, forme de l'açude et taux d'évaporation, sur ou sous dimensionnement des réservoirs.

-Mise au point de normes simplifiées de dimensionnement et de gestion de projets d'irrigation permettant de prévoir la salinité maximale d'un açude à partir de la mesure sur le terrain de la profondeur et de la conductivité électrique.

#### PERSPECTIVES.

La suite du travail de LARAQUE n'est, pour l'instant, pas assurée. Elle dépendra de la volonté de nos partenaires Brésiliens de poursuivre ou non cette étude. Au minimum, l'équipe ORSTOM/SUDENE/TAPI (équipe du Ministère des Affaires Etrangères), devrait assurer la continuité du suivi sur le terrain et du calage du modèle SIMSAL sur les açudes étudiés les plus intéressants et sur certains BVR.

Pour ce qui est de l'étude des BVR, les moyens importants accordés pour les années à venir devraient permettre de rattraper le retard au niveau des synthèses. Il est prévu:

-Le traitement de base des données hydrométriques et pluviométriques accumulées depuis plusieurs années.

-Le calage de modèles pluie-débit sur près de 40 bassins.

-L'actualisation des critères de classification hydrologique des bassins versants avec un essai de cartographie d'unités hydro-pédologiques homogènes et la réalisation d'une typologie des toposéquences (BARRETO et LEPRUN).

-L'utilisation des données hydrologiques du réseau général pour valider ou corriger les règles de classification hydrologique des petits bassins.

## BIBLIOGRAPHIE.

- LARAQUE A.-1987- SIMSAL, um modelo de simulacao da evolucao da qualidade da agua. Nota tecnica, SUDENE, Recife.
- LARAQUE A., SINHUE R.S.-1987- SISEAU, um logiciél de gerenciamento de resultados de analise fisico-quimico de agua. Nota tecnica, SUDENE, Recife.
- LARAQUE A.-1988- Evolution hydrochimique de retenues collinaires dans le Nordeste semi-aride du Brésil. Journées Hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Col. Colloques et Séminaires, à paraître.

**PROGRAMME 2B B3****ETUDE INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU, SOL ET VEGETATION EN ZONE ARIDE DU NORD MEXIQUE.****EQUIPE.**

ASSELINE, BESNARD, DELHOUME, Thésards mexicains

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Depuis 1982, l'Institut d'Ecologie du Mexique et l'ORSTOM réalisent dans la zone aride du nord du Mexique, un programme de recherches orienté essentiellement, d'une part, sur l'étude des modalités de production des principales espèces végétales à intérêt fourrager, en fonction des conditions hydriques et en relation avec les caractéristiques des couvertures pédologiques et leur variabilité spatiale, et d'autre part, sur l'étude du cycle de l'eau dans le paysage.

Le but principal de ces travaux est de parvenir à une meilleure connaissance des mécanismes de fonctionnement d'un écosystème aride, afin de proposer des scénarios d'aménagement et d'utilisation rationnels de la zone au niveau régional.

Les recherches sont effectuées à trois niveaux, par emboîtement progressif d'échelle:

1-Niveau stationnel: Les travaux sont réalisés pour chacune des différentes unités écologiques de base de l'écosystème, dans des parcelles, selon deux thèmes principaux:

A- l'eau et le sol

.Bilan hydrique du sol.

.Hydrodynamique des différentes unités de sols.

.Caractérisation morphologique et analytique des sols.

.Etude de la variabilité spatiale de la couverture pédologique.

B- La végétation

.Production primaire des principales espèces végétales à intérêt fourrager.

.Ecophysiologie de ces espèces.

2-Niveau du paysage: Il s'agit d'étudier la répartition et la distribution spatiale de l'eau dans le paysage, avec quantification du ruissellement et de l'érosion, à différentes échelles: parcelles d'érosion (500 à 1000 m<sup>2</sup>) et bassins versants (quelques ha à plusieurs Km<sup>2</sup>).

3- Niveau régional: L'objectif est d'extrapoler les résultats acquis par utilisation de la télédétection (SPOT).

#### ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

Une description détaillée du milieu a été réalisée ce qui se traduit, au niveau du bassin versant, par des cartes thématiques: états de surface, couverture végétale et structure de la végétation, topographie...

On a montré grâce aux mesures sous pluies simulées que c'est uniquement dans les 50 à 60 cm superficiels du sol que l'eau se redistribue et s'emmagasine. Du fait de ce stockage peu profond, la majeure partie de l'eau infiltrée est reprise par évaporation. On a également mis en évidence une hiérarchisation de l'infiltration en fonction de la position topographique. Les quantités d'eau infiltrées augmentent lorsqu'on passe de l'amont vers l'aval. Inversement, perpendiculairement à la pente, il n'existe pas de variations ordonnées du stock hydrique. En plus de la variabilité du stock hydrique selon la pente, il existe une autre variabilité en fonction de la microtopographie et de la couverture végétale. Pour la station à "Hilaria mutica", le stockage de l'eau dans le sol obéit à deux paramètres. D'une part, il existe une distribution spatiale de ce stock qui est ordonnée selon la pente, et cela indépendamment de la végétation et d'autre part, la microtopographie de surface et la distance par rapport à une touffe végétale déterminent une accumulation différentielle de l'eau dans la couverture pédologique.

Le sol de la station à "Hilaria mutica" contenant une forte proportion de smectites est sujet à des variations de volume en fonction de l'humidité. Il en résulte que la masse volumique apparente du sol varie avec son état d'humectation. L'utilisation de la seule masse volumique sèche conduit à une surestimation du stock hydrique du sol qui peut atteindre 20 à 25 %. Des mesures ont déjà été faites pour étudier cette variabilité de la masse volumique en fonction de l'humidité. Ces mesures doivent être poursuivies.

Les mesures tensiométriques ont montré que ce type d'étude, dans un tel milieu aride, n'est possible que dans les quelques jours qui suivent un événement pluvieux. Par la suite, l'évaporation redevient intense et les potentiels de pression de l'eau dans le sol sont nettement supérieurs aux possibilités de la méthode.

Pour les deux espèces "Hilaria mutica" et "Sporobolus airoïdes", une caractérisation du comportement écophysiologique a été entreprise. Les résultats obtenus permettent de mieux comprendre leur adaptation face aux contraintes d'aridité. Ces deux espèces ont une grande capacité à extraire l'eau du sol, même lors de sécheresses importantes. Par contre l'économie de l'eau paraît différente pour les deux espèces. "Sporobolus airoïdes" épuise l'eau du sol très vite. Ses potentiels atteignent rapidement des valeurs très basses, car

sa croissance est rapide : utilisation de l'eau pour avoir une forte production de biomasse en quelques jours. Pour "Hilaria mutica", il ne s'observe pas de croissance aussi rapide. Les potentiels restent élevés plusieurs semaines, car Hilaria peut mieux conserver l'eau dans ses cellules, du fait de leur grande rigidité. Cette évolution des potentiels a pu être modélisée en fonction du stock en eau du sol.

#### PERSPECTIVES.

Pour l'étude de la variabilité spatiale du stock hydrique, d'autres échantillonnages sont en cours pour, d'une part, vérifier que la distribution spatiale se fait toujours de la même manière et, d'autre part, pour étudier les relations d'interdépendance spatiale et les distances d'autocorrélation entre les prélèvements.

De même les mesures de la masse volumique du sol en fonction de l'humidité se poursuivent.

Une étude de la production primaire des principales espèces d'intérêt fourrager a été entreprise en 89. Les résultats obtenus lors de la réalisation des courbes pression-volume demandent à être précisés par un échantillonnage plus consistant, pour confirmer la tendance de "Sporobolus airoides" à avoir des potentiels osmotiques différents selon sa localisation. Un certain nombre de mesures seraient utiles à réaliser pour compléter ce travail, telle que la détermination du stock d'eau nécessaire pour initier la croissance en début de saison pour le comparer, ensuite, avec celui nécessaire à une reprise de croissance après une période sèche, durant une phase pluvieuse. De même il faudrait déterminer les valeurs limites du potentiel hydrique de la plante permettant sa croissance.

En plus de la partie descriptive des unités étudiées (parcelles, bassins versants), on dispose actuellement de deux années de mesures du ruissellement et de l'érosion. Une troisième année est en cours, mais pour un tel milieu aride, à pluviométrie réduite et irrégulière, un minimum de 5 à 6 années est indispensable pour obtenir des résultats significatifs.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- ASSELIN J.-1988- El simulador de lluvia : una herramienta para la caracterización hidrodinámica de los suelos. Communication au XXI<sup>e</sup> Congrès National de la Société Nationale de Science du Sol du Mexique, Ciudad Juarez, Chih., Mex., 8 au 11 nov. 1988, 22 p.
- BESNARD G.-1988- Physiologie de deux graminées pérennes de la zone aride du nord du Mexique. 1 vol., 66p., Instituto de Ecología de Mexico, ORSTOM, Mexico.

- CORNET A., DELHOUME J.P., MONTANA C.-1987- Vegetation Patterns and Soils in the Mapimi Bolson. Part I : Vegetation arcs. Contributed Papers of the Second Symposium on Resources of the Chihuahuan Desert Region, United States and Mexico. Chihuahuan Desert Research Institute, Alpine, Texas, USA, publication n° 13, nov. 1987, 18p.
- CORNET A., DELHOUME J.P.-1988- Waters flows and the dynamics of desert vegetation stripes. Communication au séminaire "SCOPE-ICSU (Scientific Committee on Problems of the Environment, International Council of Scientific Unions)", Paris, 12-16 déc., 1988, 10p.
- CORNET A., DELHOUME J.P., MONTANA C.-1988- Dynamics of striped vegetation patterns and water balance in the Chihuahuan desert. In "Diversity and Pattern in plant Communities", edited by H.J. During, M.J.A. Werger and H.J. Willens, SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands.
- CORNET A., POUGET M., DELHOUME J.P., MONTANA C.-1988- Ordination and Classification of Plant Communities in the Chihuahuan Desert : the use of Spot Data. Communication au "Third International Rangeland Congress, New-Delhi, India, nov. 7-11, 1988". Abstracts, vol.I, p.30-35.
- DELHOUME J.P.-1987- Potencialidades de producción de los suelos áridos en zona de temporal en el Bolson de Mapimi (México). Communication au XX<sup>e</sup> Congrès de la Société Méicaine de la Science du Sol, Zacatecas, Mex., 11 au 14 novembre 1987. En cours d'impression dans la revue "TERRA", Chapingo, Mexique.
- DELHOUME J.P.-1987- Premier et deuxième rapport scientifique (1986-1987) du projet Communauté Economique Européenne - Instituto de Ecologia de Mexico "Contribution à l'étude des relations eau du sol - production végétale - érosion en zone aride du nord du Mexique". Instituto de Ecologia de Mexico, 14 p.
- DELHOUME J.P.-1987- Ruissellement et érosion en bioclimat méditerranéen semi-aride de Tunisie centrale. In "Processus et mesure de l'érosion, sous la direction d'A. Godard et A. Rapp", Editions du CNRS, Paris, 1 vol., p.487-507.
- DELHOUME J.P.-1987- ATP CNRS-PIREN-ORSTOM-INRA-CIRAD "Influence à l'échelle régionale des couvertures pédologiques et végétales sur les bilans hydriques et minéraux du sol. Rapport scientifique 1986-1987 du projet "Contribution à l'étude des relations eau - sol - végétation en zone aride du nord du Mexique". Instituto de Ecologia de Mexico, 8p.

- DELHOUME J.P.-1987- Programme du Projet Mapimi (zone aride du nord du Mexique). Collaboration Instituto de Ecologia de Mexico - ORSTOM France. Instituto de Ecologia de Mexico, ORSTOM Mexico, 14 p.
- DELHOUME J.P.-1987- Convention Instituto de Ecologia de Mexico - ORSTOM : rapport d'activités pour 1987. Instituto de Ecologia, ORSTOM, 12 p.
- DELHOUME J.P.-1988- Troisième rapport scientifique (1987-1988) du projet Communauté Economique Européenne - Instituto de Ecologia de Mexico "Contribution à l'étude des relations eau du sol - production végétale - érosion en zone aride du nord du Mexique". Instituto de Ecologia de Mexico, 11p.
- DELHOUME J.P.-1988- Distribution spatiale des sols le long d'une toposéquence représentative de la Réserve de Mapimi. In "Estudio integrado de los recursos vegetacion, suelo y agua en la Reserve de la Biosfera de Mapimi. I. Ambiente natural", Instituto de Ecologia, Mexico, D.F., 1 vol., p.135-165.
- DELHOUME J.P.-1988- ATP CNRS-PIREN-ORSTOM-INRA-CIRAD "Influence à l'échelle régionale des couvertures pédologiques et végétales sur les bilans hydriques et minéraux du sol. Rapport scientifique pour la période juin 1987 à août 1988 du projet "Contribution à l'étude des relations eau - sol - végétation en zone aride du nord du Mexique". Instituto de Ecologia de Mexico, 1 vol., 53p.
- DELHOUME J.P.-1988- Les contraintes au développement des zones arides et semi-arides au Mexique : bilan des recherches et perspectives à travers le projet Mapimi. Communication présentée lors des journées ORSTOM-Mexique, 18-19 octobre 1988, Mexico, 6p.
- DELHOUME J.P.-1988- Quatrième rapport scientifique (1988) du projet Communauté Economique Européenne - Instituto de Ecologia de Mexico "Contribution à l'étude des relations eau du sol - production végétale - érosion en zone aride du nord du Mexique". Instituto de Ecologia de Mexico, 1 vol., 75p.
- DELHOUME J.P.-1988- El Norte Arido de Mexico : un desierto productivo. "Interface, Ciencia y Tecnologia de Francia, Revue du Centre Scientifique et Technique de l'Ambassade de France au Mexique, n° 27, p.18-19.
- DELHOUME J.P.-1988- Dynamique de l'eau du sol dans un écosystème aride du nord du Mexique. In "L'Aridité : une contrainte au développement. Caractérisation. Réponses biologiques. Stratégies des sociétés". Ouvrage collectif à paraître (ORSTOM, réseau zones arides, éditeurs Grouzis M., Le Floch E., Bille J.C., Cornet A.).

- DELHOUME J.P.-1988- Dinamica y disponibilidad del agua del suelo en zona de temporal del norte arido de Mexico. Communication au XXIè Congrès de la Société Mexicaine de la Science du Sol, Ciudad Juarez, Chih., 8 au 11 novembre 1988, 20p., Memorias, p.129.
- DELHOUME J.P.-1988- Convention Instituto de Ecologia de Mexico - ORSTOM : rapport d'activités pour 1988. Instituto de Ecologia, ORSTOM, 19p.
- DELHOUME J.P.,MONTANA C.,CORNET A.-1988- Vegetation Patterns and Soils in the Mapimi Bolson. Part II : Polygonal patterns. Contributed Papers of the Second Symposium on Resources of the Chihuahuan Desert Region, United States and Mexico. Chihuahuan Desert Research Institute, Alpine, Texas, USA, publication n' 14, febr. 1988, 14p.
- MONTANA C.,EZCURRA E.,CARRILLO A.,DELHOUME J.P.-1988- The decomposition of litter in grasslands of northern Mexico : a comparison between arid and non-arid environments. Journal of Arid Environments, 14, p.55-60.
- DELHOUME J.P.,ASSELIN J.,RUIZ VALDEZ J.,VIRAMONTES D.-1989- Ruissellement et érosion en zone aride du nord du Mexique (Réserve de la Biosphère de Mapimi). Résultats 1987 et 1988. Instituto de Ecologia de Mexico, ORSTOM, Mexico. A paraître.
- DELHOUME J.P.,ASSELIN J.,RUIZ VALDEZ J.,VIRAMONTES D.-1989- Caractérisation hydrodynamique au moyen d'un infiltromètre à aspersion de sols représentatifs du nord aride du Mexique (Réserve de la Biosphère de Mapimi). Instituto de Ecologia de Mexico, ORSTOM, Mexico. A paraître.
- VIRAMONTES D.,RUIZ-VALDEZ J.-1988- Esgurrimiento y erosion hidrica en el desierto chihuahuense (Reserva de la Biosfera de Mapimi). Communication au XXIè Congrès National de la Science du Sol du Mexique, Ciudad Juarez, Chih., Mex., 8 au 11 novembre 1988, 15p.
- VIRAMONTES D.,RUIZ-VALDEZ J.-1988- Dinamica superficial y erosion hydrica en la Reserva de la Biosfera de Mapimi. Communication à la Vè semaine Zones arides, Université de Chapingo, Unité zones arides, Bermejillo, Dur.

**PROGRAMME 2B B5****ETUDE DU RUISSELLEMENT ET DE L'EROSION SUR  
BASSIN VERSANT DE LA REGION DE BIDI  
(BURKINA FASO).****EQUIPE.**

DELFIEU, LAMACHERE, MAHIEUX(pp)+équipe UR 3G.

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Le programme pluridisciplinaire d'étude d'un milieu sahélien ("mare d'Oursi") a révélé la fragilité d'un écosystème sahélien soumis à un excès d'exploitation agropastorale en contexte climatique défavorable.

Par ailleurs, les programmes de géographie menés plus au sud, sous climat pourtant moins contraignant, montraient qu'une profonde dégradation affectait le milieu soudano-sahélien et remettait en cause certaines pratiques ainsi que la place occupée par certains groupes sociaux. Pour comprendre cette évolution, il était fait appel aux multiples interrelations qui existent entre la société et l'environnement, principalement à l'accroissement de l'emprise agropastorale dans un contexte d'aridification. Ces recherches révélaient un début d'évolution de l'organisation de la production et des pratiques en réponse à l'aridification.

Ces premiers résultats et la persistance de la sécheresse justifiaient un programme de recherche sur la dynamique des systèmes agropastoraux dans cette région.

L'interdisciplinarité se justifiait. Les études anthropologiques ou géographiques ne rendent pas compte des mécanismes et processus dans les domaines de la production agropastorale, de l'évolution des ressources en eau ou des écosystèmes. L'agronomie, l'économie, le pastoralisme et l'hydrologie ne parviennent pas non plus à saisir les enjeux, règles et représentations de la société qui expliquent en grande partie les comportements. L'approche de cette réalité multiforme sous plusieurs points de vue constitue donc une bonne base d'information pour les intervenants. Au départ, deux de ces points de vue ont été privilégiés:

-L'un porte sur la gestion des ressources. Sont analysés, à plusieurs niveaux d'organisation, ressources, contraintes, finalités, stratégies et résultats à travers une investigation privilégiant dans un premier temps l'enquête, puis dans un second temps l'expérimentation afin de mieux repérer les causalités.

-L'autre porte sur les relations société/espace: enjeux sociaux, repérage des espaces d'activité, approche historique de la dynamique de la société, de ses règles, de ses stratégies et de son rapport avec le milieu.

Après une année, il s'avérait important de consolider le premier point de vue tant la dégradation des ressources apparaissait comme le problème déterminant. Des prolongements thématiques sont donc apparus dans les domaines pastoral, pédologique et hydrologique. C'est alors qu'une demande de collaboration avec l'UR 2B a été formulée.

Commencé en 1985, le programme hydrologique a visé, dans un premier temps, à connaître les ressources en eaux superficielles et à étudier les conditions de leur utilisation optimale sur champs de brousse en conditions paysannes. Les produits attendus de cette première phase sont:

- une connaissance des ruissellements, de l'infiltration et de l'érosion, à différentes échelles, sur sols sableux cultivés en mil, sous différentes façons culturales,
- une évaluation de l'efficacité des cordons pierreux pour améliorer l'alimentation hydrique des cultures et lutter contre l'érosion.

Dans une seconde phase des travaux (1989-1991), le programme Bidi va s'orienter vers deux directions:

- L'étude des bas-fonds de Bidi et du Yatenga (étude intégrée au projet CEE bas-fonds CIEH/ORSTOM/CIRAD),
- l'étude du ruissellement, de l'infiltration et de l'érosion en relation avec les états de surface et leur évolution (cartographie satellitaire)

Les produits attendus sont une connaissance des ressources en eaux superficielles et souterraines des bas-fonds de la région, et une analyse des conditions d'exploitation agricole de ce type de bas-fonds.

#### ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

On dispose à l'heure actuelle de trois années de mesures sur les parcelles agronomiques, quatre sur le bas-fond (8 limnigraphes et 4 stations hydrométriques) et les grands bassins (150 et 50 Km<sup>2</sup>) et deux sur les petits bassins (10 et 3 Km<sup>2</sup>). Un réseau de 25 piézomètres a été installé dans le bas-fond depuis 1987 et a été complété par le fonçage de 3 puits en 88. Deux campagnes de géophysique électrique exécutées par l'EIER devraient permettre de bien définir la topographie du substratum. Un petit barrage avec digue submersible et une digue filtrante ont été construits. Deux campagnes de simulation de pluie ont été effectuées après qu'une esquisse cartographique des états de surface ait été établie par VALENTIN. Une première étude morphostructurale du bas-fond a été faite par FRITSCH.

A l'heure actuelle, les résultats les plus intéressants ont été obtenus sur les parcelles agronomiques dont les données de base sont entièrement dépouillées et en grande partie interprétées, alors qu'au niveau des bassins versants on en est encore à la phase d'acquisition des données sur le terrain.

Trois parcelles contiguës, orientées dans le sens de la plus grande pente (2,5 %), longues de 150 m. et larges de 20 à 32 m., ont été implantées de telle sorte qu'elles recouvrent dans leur tiers supérieur un impluvium inculte. L'une des parcelles est utilisée comme témoin. Elle est cultivée en mil mais n'a subi aucun aménagement. La seconde est aménagée avec des cordons pierreux isohypses, espacés d'environ 20 m. sauf sur l'impluvium qui est laissé nu. La troisième parcelle est identique à la précédente mais elle est labourée selon les courbes de niveau avec une charrue attelée.

L'analyse agronomique met en évidence l'effet globalement bénéfique des cordons pierreux qui favorisent l'infiltration et la production végétale. En année normale, l'accroissement en grain sec par rapport au témoin est de l'ordre de 20 % en haut de parcelle et de 40 % en bas; le labour permet d'accroître de 55 % la production de matière sèche et de doubler la production en grains.

L'analyse hydrologique met en relief l'effet prépondérant de l'état de surface des sols et de leur état d'humectation sur les volumes ruisselés et infiltrés. L'effet des cordons pierreux est surtout significatif à l'occasion des fortes pluies où ils provoquent un accroissement de 20 % des volumes infiltrés, un écrêtage et un allongement du temps de base des crues. Cet effet des cordons pierreux sur la taille et la forme des crues laisse penser que ce type d'aménagement contribue significativement à la protection des sols contre l'érosion.

Les essais de modélisation du ruissellement montrent, qu'à l'échelle des parcelles, l'organisation du ruissellement a des effets importants sur le volume ruisselé à l'aval. L'exploitation des mesures sous pluies simulées devrait permettre de mieux conceptualiser le modèle en précisant le comportement des surfaces élémentaires.

#### PERSPECTIVES.

Parcelles agronomiques: en 1988 les impluviums ont été supprimés. Pour les années 89 et 90 les parcelles seront laissées en jachère. Une modélisation du comportement de ces parcelles avec ou sans impluvium, avec et sans cordons pierreux, labourées ou non est prévu en 1990.

Petits bassins versants: GUILLET (Thèsard CIRAD/IRAT) doit modéliser le fonctionnement hydrologique du petit bassin de 3 Km<sup>2</sup> dans le cadre de sa thèse (soutenance début 90). Le CIRAD a formulé une demande d'aide au MRT pour poursuivre les mesures sur ce bassin afin d'y modéliser les transferts hydriques.

L'étude du bassin de Gourga (10 Km<sup>2</sup>) sera poursuivie en 89.

Pour compléter l'étude du comportement des unités paysagiques, il est prévu en 90 et 91, de remplacer les deux petits bassins du domaine sableux par deux autres situés sur une savane arbustive dense et sur une savane arbustive dégradée.

Grands bassins: un travail de cartographie des états de surface à partir des images SPOT, similaire à celui mené dans le cadre du programme SPOT-Oursi a débuté en 89 et doit se terminer en 90. Une ou deux campagnes de simulation de pluies sont encore nécessaires pour compléter les informations déjà disponibles. La première est prévue fin 89 dans le cadre des recherches entreprises par BARRO (chercheur du BUNASOL, encadrement VALENTIN) sur l'évolution des états de surface des sols sableux cultivés.

Bas-fonds: un gros travail de terrain doit être fait en 90 pour l'étalonnage des stations et l'établissement de la carte topographique. Les observations piézométriques doivent se poursuivre en 90 et 91. L'interprétation de ces mesures sera faite par l'ORSTOM, l'EIER et le BRGM. Les travaux de caractérisation morphopédologiques des bas-fonds commencés par FRITSCH devraient être poursuivis et étendus régionalement par le BUNASOL. Enfin les expérimentations agronomiques qui ont débutées en 87 sur le bas-fond de Bidi devraient être étendues à deux autres bas-fonds du Yatenga, sous la responsabilité de SERPANTIE.

#### BIBLIOGRAPHIE.

La bibliographie du programme hydrologique est encore pauvre mais devrait s'étoffer en 89 et 90.

- Anonyme-1986- Avant projet d'aménagement du bas-fond de Gourga-Tilli. ORSTOM Ouagadougou, multigr., 19 p.
- Anonyme-1987- Projet d'aménagement du bas-fond de Gourga-Tilli. ORSTOM Ouagadougou, multigr., 24 p.
- GUILLET F.-1988- Rapport provisoire de la mission pédologique Bidi-Samniwéogo, 23 p.
- LAMACHERE J.M., SERPANTIE G.-1988- Aridification du climat sub-sahélien: conséquences de trois méthodes d'amélioration des bilans hydriques aux champs pour une culture pluviale. 39 p. in: L'aridité: une contrainte au développement. Ouvrage RZA-CNRS sous presse.
- LAMACHERE J.M., SERPANTIE G.-1989- Valorisation agricole des eaux de ruissellement en zone soudano-sahélienne-Burkina Faso-province du Yatenga-région de Bidi. Coll. intern. sur l'état de l'art en hydrologie et hydrogéologie dans les zones arides et semi-arides d'Afrique. Ouagadougou, 13-17 février.
- SERPANTIE G.-1988- Aménagements de conditionnement du ruissellement pour les pentes cultivées soudano-sahéliennes. 14 p., 6 fig., à paraître dans "Recueil des expérimentations de techniques de gestion du ruissellement" ouvrage du CILSS.

- SERPANTIE G.-1988- Aménagements des petits bas-fonds soudano-sahéliens. Elements pour des choix de priorité et de techniques. Exemple de la digue filtrante partiellement colmatée de Bidi-Gourga. Séminaire sur les techniques d'aménagement des bas-fonds. Ouagadougou, 25-27 avril.
- SERPANTIE G., VALENTIN C.-1985- Dynamique du milieu physique de la zone agro-pastorale de Bidi-Yatenga-Burkina Faso. ORSTOM Ouagadougou, multigr., 12 p.
- SERPANTIE G., TEZENAS du MONTCEL L., VALENTIN C.-1988- La dynamique des états de surface d'un territoire agropastoral subsahélien sous aridification, conséquences pour les systèmes de production. 29 p. in: L'aridité: une contrainte au développement. Ouvrage RZA-CNRS sous presse.
- VALENTIN C.-1988- Esquisse cartographique des états de surface du bassin versant de Bidi, Yatenga, Burkina Faso. ORSTOM, Abidjan, multigr., 12 p., 2 fig.
- VISSERS M.-1987- Rôle des bas-fonds et de la riziculture dans les systèmes de production soudano-sahéliens. Cas du Yatenga, Burkina Faso. Mémoire de stage, Univers. de Wageningen, 68 p.

**PROGRAMME 2B B6****ETUDE DES SOLS DU DOMAINE FLUVIO-MARIN DE BASSE CASAMANCE ET DE LEUR EVOLUTION EN CONDITION DE SECHERESSE: SURSALURE ET ACIDIFICATION.**

Il est malheureusement difficile de présenter de façon cohérente les résultats de cette "équipe" qui n'en était pas une, chaque chercheur travaillant seul dans des lieux différents. Ce manque de direction et de coordination n'a pas été sans nuire à la qualité des résultats; si certains sont brillants, l'ensemble manque d'homogénéité. De plus la dispersion des efforts aboutit à des résultats partiels sur chacune des vallées étudiées, aucune ne l'ayant été complètement. L'exemple le plus flagrant nous paraît être l'étude des nappes, d'une importance pourtant capitale dans cette région. Alors qu'environ 145 piézomètres au total ont été implantés, on était incapable, début 89, de tracer la carte piézométrique complète de la nappe d'une des vallées, ce dispositif ayant été installé dans 3 vallées différentes. C'est pourquoi nous avons choisis de présenter séparément les résultats des trois chercheurs concernés, en reprenant textuellement les rapports qu'ils nous ont envoyés.

**ETUDE DE L'EVOLUTION DES ETATS DE SURFACE DES SOLS DU DOMAINE FLUVIO-MARIN DE BASSE CASAMANCE PAR TELEDETECTION, EN RELATION AVEC LES PROCESSUS DE SURSALURE ET D'ACIDIFICATION.****1. RESPONSABLE DU PROGRAMME:**

Bernard MOUGENOT.

**2. PRESENTATION DU PROGRAMME:****2.1. JUSTIFICATIONS:**

Les sols de mangrove de basse Casamance ont été soumis depuis 1970, à de longues périodes de sécheresse comme le reste de la région, avec pour conséquence une sursalure des sols et des nappes (concentration des eaux d'origine marine) et une acidification des sols consécutive à la baisse des nappes en dehors de la zone de fluctuation des marées (oxydation des sulfures). Ceci a entraîné une forte diminution des zones basses rizicultivables et de la végétation de mangrove.

L'équipe de l'UR 2B de Dakar a entrepris le suivi hydro-pédologique de 3 vallées depuis 1984, sans réellement aborder l'évolution régionale actuelle du milieu. La carte pédologique à petite échelle, date d'une quinzaine d'années et les cartes récentes ne concernent que quelques vallées.

L'étude de l'évolution des états de surface permet d'acquérir de façon indirecte, une meilleure connaissance des sols et des nappes et de leur fonctionnement, en particulier des facteurs salure et acidité, principales contraintes en milieu aménagé ou non. Les marqueurs sont à la fois les états de surface (végétation, sol nu, sol inondé...), leurs organisations locales et dans le paysage, et leurs évolutions saisonnières et pluri-annuelles.

L'imagerie satellitaire est un moyen idéal de suivi d'états de surface évoluant rapidement dans le temps.

Les données du satellite SPOT (multi-spectral ou XS, pixel à 20m.; panchromatique, pixel à 10m.), sont adaptées aux dimensions de la région de basse Casamance, couverte en grande partie par deux scènes de 60x60 kms, et à la taille des unités de surface et de leurs organisations autour d'un réseau hydrographique finement digité

## 2.2. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE:

Le but principal de ce programme est d'étudier les relations radiométrie / états de surface / sols et nappes, en milieu de mangrove salé et acidifié, ou pouvant présenter des risques d'acidification, pour permettre la réalisation de cartes thématiques.

Trois niveaux d'études emboîtés sont réalisés:

### 1 Sols et nappes / états de surface,

Les sols et les nappes, et les états de surfaces associés, sont organisés dans le paysage parallèlement à l'axe des vallées, des zones basses vers les terrasses accolées aux plateaux. Les sites tests ont été implantés sous forme de "séquences tests" suivies au moment des prises d'images et au cours de la saison sèche et de la saison des pluies (descriptions hiérarchisées des états de surfaces: fiches, photographies verticales au sol et aériennes; descriptions des profils pédologiques; mesures in situ: hauteur de nappe, pH, Eh; prélèvements pour analyses physico-chimiques).

### 2 Etats de surface / radiométrie (terrain et satellitaire),

Un radiomètre de terrain simulant les trois canaux de SPOT a été acquis pour étudier les facteurs influençant la réflectance en comparaison aux mesures satellitaires, et établir des courbes de réflectance saisonnières.

3 Acquisition des données satellitaires et classifications thématiques en relation avec la radiométrie et les états de surface,

Les données SPOT ont été acquises en mode multi-spectral (XS), en fin de saison des pluies au maximum du dessalement potentiel des nappes, des eaux libres et des sols, et du développement de la végétation; et en fin de saison sèche au maximum de la baisse des nappes, de la salinité des eaux et du dessèchement des sols et de la végétation

Les travaux sur le terrain réalisés de façon simultanée ou dans les mêmes conditions, valident les classifications radiométriques établies par traitements numériques multi-dates.

### 2.3. PRODUITS ATTENDUS:

-méthodologies concernant:

\*L'acquisition des données de terrain dans ce milieu.

\*Le traitement numérique des images SPOT (multi-temporel, insertion dans un système d'information géographique).

-Etude des facteurs de la surface du sol influençant les signatures spectrales.

-Typologie des états de surface en relation avec les sols et les nappes et leurs signatures spectrales; et réalisation d'un catalogue avec des clés d'interprétation de terrain.

-Cartes d'états de surface et cartes thématiques dérivées, cartes de dynamique (inventaire 1/200.000 à 1/100.000, ou fine 1/50.000 à 1/10.000).

Remarque: ces travaux font l'objet d'un travail de thèse à PARIS 6, chez G. PEDRO, et sont suivis pour l'instant par J. KILIAN mon directeur scientifique, M.C. GIRARD et C. MARIUS.

### 3. DEROULEMENT DES OPERATIONS:

#### 3.1. ETAT D'AVANCEMENT EN JUIN 1989:

-Programmations SPOT:

Les scènes ont été acquises en multi-spectral, sur la basse et la moyenne Casamance en commun avec des programmes hydro-biologiques et hydro-géologiques, les 12 et 18 octobre 1986 en fin de saison des pluies (5 scènes), avec une répétition en fin de saison sèche les 08 mai et 03 juin 1987 (4 scènes). Elles sont de bonnes qualités sur la basse Casamance. Il est apparu intéressant après les premiers traitements de tenter d'améliorer la précision des limites des thèmes radiométriques et de l'information géographique (marigots, pistes, villages); une scène panchromatique a été prise sur la zone d'étude principale le 05 mars 1988.

L'ampleur des informations a entraîné une concentration des travaux sur la scène 23-325 couvrant les 2/3 de la basse Casamance, de l'embouchure à l'amont de la ville de Ziguinchor. Des suivis légers ont été réalisés sur les scènes voisines au nord et à l'est.

-Les travaux de terrain, (appui de P. ZANTE) :

Les séquences suivies par J. VIEILLEFON et C. MARIUS ont été reprises.

Au cours de l'acquisition des scènes, les suivis complets (descriptions, prélèvements, radiométrie) ont été restreints, pour des raisons pratiques, à une dizaine de séquences tests, et concentrés sur les domaines les plus dégradés. Les observations et mesures saisonnières ont été poursuivies dans des conditions similaires aux prises d'images et étendues à une trentaine de séquences jusqu'en février 1988, avec de nombreux contrôles limités à des descriptions de surface.

Des fiches de description d'états de surface et de mesures radiométriques ont été adaptées au milieu.

Il s'est avéré suffisant, comme l'indique C. MARIUS, de limiter la plupart du temps les suivis saisonniers à des mesures de pH, Eh in situ et après séchage pour les sols, de conductivité électrique et de hauteur de nappe.

La caractérisation du milieu de mangrove non dégradé, à forte densité de végétation, a nécessité la prise de photographies aériennes verticales à faible altitude, étendues à l'ensemble des séquences tests (juin 1988, échelle 1/3000e).

-Les traitements d'images:

Les données SPOT sur films ont été traitées au LIA de Bondy et à Dakar. Elles sont très utiles pour la mise en place de séquences tests à posteriori dans notre cas, afin de couvrir le maximum de situations rendues sur l'image, mais pas toutes identifiées sur le terrain.

Les traitements numériques, réalisés à l'UTIS (Unité de Traitement d'images au Sénégal, ISRA / ORSTOM Dakar), sont restés limités à de petites fenêtres autour des séquences tests, faute de logiciels performants et d'informaticien.

### 3.2. LES PREMIERS RESULTATS:

La plupart des informations de terrain sont acquises. Deux zones, en milieu très dégradé (Koubalan) et peu dégradé (Katakalousse), ont fait l'objet de traitements numériques. La classification de l'image est obtenue après analyse statistique des signatures spectrales de parcelles d'entraînements le long des séquences tests. La légende met en correspondance, les thèmes radiométriques, la ou les unités de surface et leurs composantes, et des données exogènes: unités de paysages, sols et nappes. Il a été vérifié que les contrôles à posteriori ne posent pas trop de problèmes sauf sur les états de surface en fin de saison des pluies.

En milieu sulfaté acide et salé, la topographie, le rythme de submersion par les marées, et la pluviométrie sont les principaux éléments de différenciation des nappes, des sols et de leurs états de surface. Salure et acidité n'ont pas de signatures spécifiques sauf sur sols nus à croûte saline. La végétation de mangrove est un bon marqueur de la salure des eaux de nappes et de la durée de submersion.

Les mesures radiométriques de terrain, dépouillées mais incomplètement analysées montrent l'influence dans ce milieu de la végétation, de l'humidité, de la couleur et de la rugosité.

La combinaison des deux dates (XS) sera nécessaire pour lever des confusions radiométriques saisonnières: par exemple, en saison sèche, meilleure distinction des terrasses et des types de mangroves, des rizières et de la végétation aquatique, des limites du fluvio-marin avec la palmeraie...

L'organisation du paysage, remarquablement visible sur l'image, représentera un moyen supplémentaire de classification en fonction de la forme et de la proximité en cas de confusions radiométriques.

Ces travaux ont fait pour l'instant l'objet de rapports internes, de communications à des colloques et de présentation de posters (annexe 1: 1986a, 1987b, 1988b,c).

Au centre ORSTOM de Bondy, le second semestre 1989 sera consacré à l'analyse des données de terrain et de laboratoire, à l'analyse numérique de chacune des séquences tests aux trois dates (XS et P), et à la bibliographie.

### 3.3. OPERATIONS PREVUES EN 1990 (L.I.A, ORSTOM Bondy):

- Poursuite des opérations menées depuis mi-89 et en particulier analyse des propriétés spectrales des sols et traitements multi-dates avec amélioration de la définition grâce au panchromatique.

- Analyses complémentaires d'échantillons déjà prélevés et suite à la mission en début d'année (sols: RX, MEB en particulier, et eaux).

- Numérisation de photographies verticales (au sol et à faible altitude), et de cartes (topographie et pédologie).

- Intégration des données numérisées dans les images classées (analyse et production de documents réellement utilisables).

- Début de rédaction de thèse (soutenance en 1991) et de publications concernant l'étude des signatures spectrales et la cartographie; participation à un congrès de télédétection.

- Une mission de contrôles est prévue début 1990 au Sénégal et en cours d'année à Montpellier (J. KILIAN et sols salés ORSTOM) et Strasbourg (C.MARIUS).

#### 4 AUTRES OPERATIONS ET COLLABORATIONS:

##### 4.1. EN VOIE D'ACHEVEMENT, 1986-1988:

##### 41.1. CASAMANCE, (Collaborations UR 2B):

-Suivi de trois séquences (1986-88) et des eaux de la vallée de Bignona fermée par un barrage anti-sel en 1987. (colloque Dakar, 1988e)

-Suivis de la salinité des eaux libres en basse Casamance, exploitation en cours des résultats depuis 1970.

-Comparaisons sur les vallées de Djiguinoum et Katouré entre les cartes d'états de surface établies avec les données SPOT et les cartes krigées de conductivité électro-magnétique et du toit de la nappe, réalisées par P. BOIVIN.

##### 41.2. DELTA DU FLEUVE SENEGAL:

Poursuite d'un ancien programme PEPS, intitulé:

"ETUDE DES ETATS DE SURFACE DES SOLS PAR TELEDETECTION - DELTA DU FLEUVE SENEGAL"

Collaborations:

\*A.T.DIAW (faculté de géographie, Université de Dakar/ Ecole Pratique des Hautes Etudes de Montrouge)

\*P. ZANTE (UR 2B, pédologue ORSTOM)

Cette opération "PEPS" inachevée faute d'image disponible à temps, a été poursuivie dans le but d'utiliser les données de terrain (états de surface, sols et nappes) acquises entre 1981 et 1987.

La démarche et les objectifs sont similaires à ceux de la Casamance dans un milieu que l'on peut considérer comme un terme évolué et dégradé en climat sahélien, avec une dominance de l'influence de la salure .

Une image SPOT (XS) a été prise le 29 janvier 1987.

Les traitements numériques seront achevés à Bondy sur deux fenêtres (1024x1024) en domaine semi-aménagé et aménagé (1987a, 1988a).

##### 4.2. AUTRES OPERATIONS ET COLLABORATIONS, 1989-1990:

##### 42.1. ATP TELEDETECTION SPATIALE (LIA, Bondy):

Responsable: R. ESCADAFAL,

Titre: "PROPRIETES SPECTRALES DES SOLS EN REGIONS ARIDES ET INTER-TROPICALES (DOMAINE VISIBLE, PROCHE ET MOYEN INFRA-ROUGE)".

Les nombreuses descriptions, mesures radiométriques et les données SPOT acquises au Sénégal (Casamance et delta du Sénégal), seront analysées en détail et associées à des données d'Afrique du nord et du Mexique, pour la recherche d'un modèle de comportement spectral de la surface du sol. Les travaux seront orientés vers les sols nus ou peu couverts.

## Principales collaborations extérieures:

-Université PARIS 6: Laboratoire de minéralogie et de cristallographie (B. CERVELLE), avec lequel une convention est signée pour la réalisation de mesures de spectrométrie sur échantillons de sols.

-Université de Purdue et de l'Arizona (USA).

## 42.2. PROGRAMME CASAMANCE DU RESEAU R3S (UR2B Dakar):

Responsables: J.P. MONTOROI et J. ALBERGEL:

Carte des états de surface de la vallée test de Djigui-noum et extension à l'ensemble du bassin versant. Appui au cours de la mission prévue début 1990.

## BIBLIOGRAPHIE.

1986:

MOUGENOT B. (1986a). Study of factors acting on spectral reflectances of salt affected an acid soils surfaces in Casamance (Sénégal): first results. in: Remote sensing for ressources development and environmental management. Symposium ISPRS Com.VII. Poster session. ENSCHEDE, THE NETHERLAND. idem ORSTOM DAKAR, multigr. 8p.

1987:

MOUGENOT B., DIAW A.T. (1987a). Etude des états de surface des sols de la région de Nthiagar/Ronq par télédétection. Pseudo-delta du fleuve Sénégal. Note sur les premiers résultats du PEPS N°39 (image 4), accompagnant un poster. ORSTOM DAKAR multigr. 2p., 1 carte. (Colloque SPOT PARIS, 1987 - Journées informatiques de DAKAR, oct. 1988.

MOUGENOT B., ZANTE P. (1987b). Etude de l'évolution des états de surface des sols du domaine fluvio-marin de basse Casamance par télédétection, en relation avec les processus de sursalure et d'acidification. Premier bilan de la campagne 1987. ORSTOM DAKAR, multigr. 5p.

1988:

MOUGENOT B. (1988a). Etude par télédétection d'un périmètre à canne à sucre irrigué, en domaine salé - delta du fleuve Sénégal. Poster, foire internationale de DAKAR nov.1988.

MOUGENOT B. (1988b). Note sur l'étalonnage et l'utilisation du radiomètre de simulation de SPOT CIMEL CE 310. ORSTOM DAKAR, multigr. 6p.

MOUGENOT B. (1988c). Etude des états de surface des sols de mangrove par télédétection en basse Casamance (Sénégal), site de Katakalousse. ORSTOM DAKAR, multigr. 21p., 1 carte.

PARTICIPATIONS A DES PUBLICATIONS:

1986:

BOIVIN P., LEBRUSQ J.Y., LOYER J.Y., MOUGENOT B., PERAUDEAU M., ZANTE P. (1986b). Livret guide de l'excursion sur la vallée de Koubalan en basse Casamance. 3eme symposium international sur les sols sulfatés acides, DAKAR, SENEGAL. 15p.

LOYER J.Y., MOUGENOT B., ZANTE P. (1986c). Changements récents induits par l'intervention humaine sur les sols de la basse vallée du fleuve Sénégal. in: Changements globaux durant le quaternaire, Passé, Présent, Futur. Symposium INQUA ASEQUA, DAKAR, SENEGAL. Coll. Travaux et Documents, ORSTOM PARIS (Ed.), 197, 273-277.

BOIVIN P. LOYER J.Y., MOUGENOT B., ZANTE P. (1986d). Sécheresse et évolution des sédiments fluvio-marin au Sénégal. cas de la basse Casamance. in: Changements globaux durant le quaternaire, Passé, Présent, Futur. Symposium INQUA ASEQUA, DAKAR, SENEGAL. Coll. Travaux et Documents, ORSTOM PARIS (Ed.), 197, 43-48.

1987:

LEBRUSQ J.Y. LOYER J.Y., MOUGENOT B. CARN M. (1987c). Nouvelles paragenèses à sulfate d'aluminium, de fer et de magnésium et leur distribution dans les sols sulfatés acides du Sénégal. Science du sol, 25 (3), 173-184.

DIAW A.T., MOUGENOT B., THIAM M.D., THOMAS Y.F. (1987d). Apports de l'imagerie SPOT à la connaissance des milieux littoraux du Saloum (Sénégal). in: SPOT 1 Utilisation des images, Bilan, résultats. Colloque CNES, CEPADUES 1988 (Ed). 1131-1139.

1988:

BARRY B., BOIVIN P., BRUNET D., MONTOROI J.P., MOUGENOT B., TOUMA J., ZANTE P. (1988d). Evolution des stratégies d'aménagements hydro-agricoles des sols salés en basse Casamance 2eme Journées de l'eau au Sénégal, Eau et Développement, 8-10 déc. 1988, DAKAR, 15p.

BARRY B., BOIVIN P., BRUNET D., MONTOROI J.P., MOUGENOT B., SAOS J.L., TOUMA J., ZANTE P. (1988e). Sécheresse et modification des ressources hydriques en basse Casamance, conséquences pour le milieu naturel et son aménagement. 2eme Journées de l'eau au Sénégal, Eau et Développement, 8-10 déc. 1988, DAKAR, 22p.

BARRY B., BOIVIN P., BRUNET D., MONTOROI J.P., MOUGENOT B., TOUMA J., ZANTE P. (1988f). Tentative d'évaluation des transferts hydriques et salins dans un bas-fond aménagé. 2eme Journées de l'eau au Sénégal, Eau et Développement, 8-10 déc. 1988, DAKAR, 11p.

**ETUDE DES SOLS DU DOMAINE FLUVIO-MARIN DE BASSE CASAMANCE ET  
DE LEUR EVOLUTION EN CONDITION DE SECHERESSE: SURSALURE ET  
ACIDIFICATION.**

**RESPONSABLE**

P. BOIVIN

Ce rapport concerne ma participation aux programmes de l'UR 2B, ainsi que celle des personnes que j'ai pu encadrer durant la période 1987-88. J.P. MONTOROI rédigeant la partie qu'il a réalisée ou encadrée.

Les actions de recherche concernent toutes le domaine fluvio-marin de basse Casamance, et sont au nombre de trois:

-le programme "Casamance" que j'ai encadré jusqu'à mai 1987 à la suite de J.Y. LOYER, puis suivi au cours de missions où j'ai eu à définir, faute d'encadrement local, des programmes pour D. BRUNET et P. ZANTE.

-Le programme conjoint ORSTOM-ISRA(Institut Sénégalais de la Recherche Agricole), inscrit à l'ATP "Bilans hydriques": "transferts d'eau et de solutés dans les sols du domaine fluvio-marin de basse Casamance: salure et acidité". Ce programme se déroule sous ma responsabilité depuis juin 1986, sur le site de Katouré.

-mon projet de thèse "Contribution à l'étude des sols du domaine fluvio-marin de basse Casamance: variabilité spatiale des caractéristiques des sols de la vallée de Katouré".

**1. PROGRAMME "CASAMANCE".**

a) Rappel des objectifs et résultats obtenus avant 1987.

L'étude des sols du domaine fluvio-marin de basse Casamance a commencé en 1984, lorsque l'on a constaté:

- la désertification du paysage de mangrove,
- la disparition de la riziculture traditionnelle.

Un programme a alors été défini: compréhension de la transformation du milieu et possibilités de réhabilitation des sols en étaient les objectifs.

Une première phase de cartographie a permis de montrer que les dégradations subies par le milieu étaient d'origine chimique: stérilisation des sols par sursalure et très forte acidification.

Dans un second temps, l'aspect dynamique de la dégradation du milieu a été examiné:

- mise en évidence de transferts de salure mettant en danger l'ensemble de l'écosystème casamançais, identification des mécanismes,

- étude et identification d'une nouvelle pédogenèse sulfatée acide à sulfates d'aluminium, définition de ses conditions de développement (Boivin et al., 1986, 1988e; Boivin, 1988c, Le Brusq et al., 1987)

Dans un troisième temps, l'aspect réhabilitation des sols dégradés a été abordé sur cases lysimétriques: amendement des sols et mise en culture. Des formules d'amendement peu coûteuses et efficaces ont été définies (Boivin et Zante, 1986).

b) Actions de recherches menées depuis 1987

### B-1) OBJECTIFS.

A la suite de ces travaux, le programme Casamance a été réorienté, début 1987, vers deux aspects :

- étude détaillée des processus de transfert (acidité et salure) : projet ATP détaillé en paragraphe 2 ;

- expérimentation de réhabilitation des sols dégradés, en milieu paysan, sur une vallée test : vallée de Djiguinoum. Cette vallée est équipée d'une digue anti-sel depuis 1985. Etudiée depuis 1984, elle est représentative des problèmes de salure et de pédogenèse sulfato-aluminique rencontrés dans la région.

Sur cette vallée, des essais de dessalement et de riziculture ont été pratiqués.

- au niveau de la parcelle : réalisation de billons et de drains;

- au niveau de la vallée : réalisation d'un système de vannes au niveau de la digue, optimisant l'évacuation des sels.

Dans le même temps, une méthode de cartographie de la salure a été étudiée, pour permettre de suivre de façon précise et à moindre coût la dynamique interannuelle des sels dans la vallée.

### B-2) PRINCIPAUX RESULTATS.

La méthode de cartographie de la salure mise au point, à partir de l'utilisation d'un conductivimètre électromagnétique et de techniques d'interpolation par krigeage, s'est avérée performante (Boivin et al, 1988a,b), nettement supérieure aux méthodes classiques dans ce milieu.

Elle a permis de montrer que la salure globale des sols de la vallée n'a pas évolué avant la mise en service des vannes que nous avons conçues. En 1988, une diminution de 50% des surfaces salées, consécutive au bon fonctionnement des vannes, a de la même manière été montrée.

La cartographie de la salure a enfin permis de montrer la corrélation entre dessalement et pédogenèse sulfato-alumineuse dans ce milieu, confirmant les hypothèses de J.Y. Le Brusq et al (1987). Ce sujet de recherche fondamentale a cependant été abandonné et n'est illustré que par la cartographie des sols réalisée en 1988 (Brunet D., 1988), contrairement aux objectifs que nous avons fixés.

Les vannes, mises en service en 1987, n'ont été gérées qu'au cours de la saison des pluies 1988. Des dizaines de tonnes de sels marins ont alors été évacuées, tandis que l'ancien dispositif n'évacuait que de l'eau douce (Brunet D., 1989).

Le dessalement s'est concrétisé par un développement spectaculaire de la végétation en amont de la digue : cette zone de 150 hectares était déserte depuis plus de dix ans.

Les essais de repiquage du riz sur parcelles ont échoué, faute de surveillance. Néanmoins, les paysans ont décidé la mise en valeur des sols, abandonnés depuis une quinzaine d'années, au vu des résultats que nous venons de citer. Ces derniers doivent être confirmés cette année. La récolte de riz, cultivé de façon traditionnelle, dans cette vallée, signifiera que les objectifs fixés à cette action de recherche auront été atteints.

## II - PROJET "ATP".

Ce projet, entièrement focalisé sur la vallée-test de Katouré, est divisé en trois actions de recherches correspondant à trois échelles d'observations différentes et confiées dans leur réalisation à trois chercheurs :

- transferts de nappe superficielle : au cours du temps et dans l'espace, suivi du toit de la nappe, de la qualité des eaux, détermination de la perméabilité au niveau de l'aquifère;

- mesure de l'infiltrabilité des sols sous charge, détermination de la conductivité hydraulique à saturation, et de sa variabilité spatiale. Recherche du déterminisme de la variabilité;

- étude de profils de sols représentatifs : en phase de drainage interne et d'évaporation, détermination des courbes caractéristiques.

L'objectif général de ce projet est de définir, depuis le profil de sol jusqu'à la centaine d'hectares, les conditions et les conséquences des transferts d'eau, de sel et d'acidité dans les sols de bas-fonds.

## RESULTATS OBTENUS JUSQU'A FIN 1988 :

### a) Transferts de nappe

Cet aspect a été confié Boubacar Barry, hydraulicien à l'ISRA.

Sur une centaine d'hectares, cent piézomètres ont été disposés sur un maillage aléatoire.

Depuis février 1987, les cotes des nappes sont relevées avec une fréquence variant de 15 à 30 jours et les eaux de nappe sont analysées : conductivité électrique, pH et aluminium en solution. Bien que des pentes de nappe importantes existent, notamment en bordure de vallée, la composante principale de l'abaissement des nappes en saison sèche semble être l'évaporation.

La salure se propage en saison sèche, sous forme de petites poches, tandis que l'acidité semble stable.

Une campagne de mesure de la perméabilité au niveau de l'aquifère a été réalisée : par essais d'absorption sur chaque piézomètre. Une carte de la perméabilité a été dressée. Elle met en évidence des perméabilités contrastées (histogramme de fréquence bi-modal), sans corrélation spatiale à l'échelle d'observation.

Un résultat indirect de ce travail est d'avoir permis l'établissement d'une excellente coopération entre l'ISRA et l'ORSTOM. L'ISRA a fourni à l'ORSTOM des moyens de travail sur place (local de travail, logement, accès au laboratoire d'analyse), tandis que l'ORSTOM assurait les moyens de travail de terrain et l'encadrement. Cette expérience très positive sera reprise par la suite.

### b) Etude de l'infiltrabilité des sols

Cet aspect est confié à P. Boivin

Les résultats obtenus jusqu'en 1988 ont été consignés dans trois publications (Boivin et al, 1988, b, c, d).

La détermination de l'infiltrabilité des sols à partir d'un dispositif double-anneau a supposé une mise au point méthodologique : élargissement des conditions d'applications des modèles d'infiltration de Philip et de Green et Ampt à des sols stratifiés et à des profils non uniformes de l'humidité initiale.

Il a été montré que la présence aléatoire d'une couche d'argile superficielle n'avait pas d'influence sur la perméabilité des sols.

c) Etude de profil de sols représentatifs

Ce travail a été confié à J.P. Montoroi.

Aucun résultat ne nous a été communiqué ce jour.

### III - PROJET DE THESE DE P. BOIVIN.

Il regroupe les travaux réalisés sur l'infiltrabilité des sols dans le cadre de l'ATP. Le volet détermination de l'infiltrabilité et étude de sa variabilité est achevé. Une étude du fonctionnement des macropores est venue compléter les trois publications précitées.

L'étude des relations entre infiltrabilité, caractéristiques pédologiques et pédo-hydriques d'échantillons non perturbés (paramètres de la courbe de retrait) est en cours.

### IV - DIVERS.

Un programme et un protocole d'étude de l'influence des chlorures sur la sonde à neutrons a été défini pour P. Zante. Les expérimentations réalisées en 1988 établissent la validité des mesures sonde à neutrons réalisées sur tanne herbacé depuis 1984 et doivent faire l'objet d'une publication.

Le logiciel GEOSTAT-PC (Boivin, 1988a et b) est publié et utilisé en de nombreux sites : Angleterre, Suisse, France (INRA, CNRS, DEA de la faculté de Grenoble etc.), Tunisie (service des sols), Afrique francophone, Brésil, Mexique, Guyane etc...

### BIBLIOGRAPHIE (1987-1988).

- BOIVIN P., LOYER J.Y., MOUGENOT B., ZANTE P.- 1986- Sécheresse et évolution des sédiments fluvio-marins au Sénégal, INQUA, Symposium Dakar 1986, pp 49-53.
- BOIVIN P.-1988a- GEOSTAT-PC, logiciel interactif pour calcul géostatistique, notice d'utilisation, Multig. ORSTOM Bondy, 70 p.
- BOIVIN P.-1988b- Programmes conversationnels de calcul géostatistique pour micro-ordinateur, GEOSTAT-PC, Bull. GFHN, Juin 1988.
- BOIVIN P.-1988c- Mise en valeur des mangroves au Sénégal : projet CEE, rapport final sommaire., Multig. Orstom Dakar
- BOIVIN P., LOYER J.Y.-1988e- Mise en valeur des mangroves au Sénégal, Commission des Communautés Européennes, contrat TSD-A-104 MR, rapport final, Multig. Orstom Montpellier, 64 pp.
- BOIVIN P., ZANTE P.-1986- Essai de récupération d'un sol sulfaté acide en cases lysimétriques, Multig. ORSTOM Dakar.

- BOIVIN P.,BRUNET D.,JOB J.O.-1988a- Conductivimétrie électromagnétique et cartographie automatique des sols salés : une méthode rapide et fiable, Cah. Pédol. Orstom, 88, I.
- BOIVIN P.,TOUMA J.,ZANTE P.-1988b- Mesure de l'infiltrabilité des sols par la méthode du double anneau. I Résultats expérimentaux, à paraître dans Cahiers de Pédologie Orstom, 88-I.
- BOIVIN P.,TOUMA J.-1988d- Mesure de l'infiltrabilité des sols par la méthode du double anneau. III Variabilité spatiale, à paraître dans Cahiers de Pédologie Orstom, 88-III.
- BOIVIN P.,HACHICHA M.,JOB J.O.,LOYER J.Y.-1989a- Une méthode de cartographie de la salinité des sols : conductivité électromagnétique et interpolation par krigeage, à paraître dans Science du sol.
- BOIVIN P.,BRUNET D.-1989b- Bilan de quatre années de suivi de la salure d'une vallée aménagée anti-sel par Conductivimétrie Electromagnétique et Krigeage, rapport de campagnes, multig. Orstom Dakar, 15 p.
- BRUNET D.-1987- Carte pédologique de la vallée de Badoli, Multig. ORSTOM Dakar.
- BRUNET D.-1988- Carte pédologique de la vallée de Djiguinoum, Multig. ORSTOM Dakar.
- LE BRUSQ J.Y.,LOYER J.Y.,MOUGENOT B.,CARN M.-1987- Nouvelles paragenèses à sulfates d'aluminium, de magnésium et de fer, et leur distribution dans les sols sulfatés acides du Sénégal, Science du sol, 1987, 3, Vol.5, pp 173-184.
- TOUMA J.,BOIVIN P.-1988c- Mesure de l'infiltrabilité des sols par la méthode du double anneau II Simulation numérique, à paraître dans Cahiers de Pédologie Orstom, 88-I.
- ZANTE P.-1987- Comportement hydrique des sols de la séquence de Koubalan au cours de la saison 1984-1985, Multig. Orstom Dakar.

ETUDE DES SOLS DU DOMAINE FLUVIO-MARIN DE BASSE CASAMANCE ET  
DE LEUR EVOLUTION EN CONDITION DE SECHERESSE: SURSALURE ET  
ACIDIFICATION.

1 RESPONSABLE.

MONTOROI

2. RESULTATS.

Les résultats porteront sur plusieurs campagnes de mesures sur le terrain, relatives à la caractérisation hydrodynamique des sols de la vallée de Katouré, à l'étalonnage neutronique "in situ" en milieu salé et à la circulation de la nappe phréatique.

2.1. Comportement hydrodynamique des sols :

Une première campagne de mesures, en 1987, a permis la réalisation de deux essais de caractérisation hydrodynamique, l'un sur un site sableux texturalement homogène, l'autre sur un site comportant une couche d'argile en surface.

Le premier site a mis en évidence plusieurs niveaux ayant un comportement hydrodynamique différencié. Cependant, les résultats sont sujets à caution dans la mesure où il n'est pas certain que la condition d'un écoulement vertical, lors de la phase de redistribution, soit satisfaite. En effet, la lame d'eau infiltrée s'est avérée être trop importante, une grosse partie servant à alimenter la nappe.

Les données du second site n'ont pu être dépouillées de façon satisfaisante, l'étalonnage neutronique étant impossible à réaliser. En effet, la couche d'argile, d'environ 30 cm d'épaisseur, crée un fort gradient de texture avec la couche sableuse sous-jacente, les capacités de stockage hydrique étant très différentes. Il s'ensuit qu'entre la surface et cette limite, les comptages en sec et en humide n'ont pas la même signification, eu égard aux variations concomitantes de la sphère d'influence de la sonde neutronique. D'autre part, la localisation de l'essai s'est avérée ultérieurement peu représentative, car l'épaisseur de la couche argileuse présente, dans cette zone, un gradient assez prononcé.

Pour toutes ces raisons, une seconde campagne de mesures a été envisagée au cours de la saison sèche 1989. Deux sites ont, de nouveau, été caractérisés.

Le premier a repris celui sur sol sableux, le dispositif ayant été conservé. L'apport en eau a, cette fois, permis la saturation du profil sur une profondeur de 80 cm, évitant ainsi l'alimentation de la nappe. Les résultats confirment ceux déjà obtenus quant aux différents niveaux hydrodynamiques, les courbes caractéristiques  $h(\theta)$  et  $K(\theta)$  différant quelque peu. Par extrapolation des droites  $k(\theta)$ , la conductivité hydraulique à saturation est estimée à environ  $100 \text{ mm.h}^{-1}$  dans la couche de sol 0-50 cm.

Le second site a été choisi dans une zone où la couche d'argile présente une épaisseur de 60-70 cm. Le traitement des données est en cours.

## 2.2. Etalonnage neutronique :

La réalisation d'un étalonnage sur le terrain reste une question délicate, surtout qu'il n'existe pas de protocole normalisé en la matière. Nous avons procédé à deux types d'approche selon la problématique recherchée.

### \* sur les sites de caractérisation hydrodynamique :

Pour obtenir un étalonnage gravitaire satisfaisant, il s'agit de recueillir un nombre suffisant de couples (comptage neutronique, teneur en eau pondérale), en conditions sèches et humides, afin de couvrir l'ensemble du domaine de variation de l'humidité du sol. En principe, les prélèvements de sol, destinés à la détermination de la teneur en eau, sont effectués à proximité et autour du tube de sonde. Cependant, cette méthode présente quelques inconvénients : la densité de l'instrumentation est un frein à la multiplication des prélèvements en sec et en humide; les comptages sonde ne sont pas directement mesurés à l'emplacement des profils d'humidité; l'étalonnage doit se faire en fin d'essai de caractérisation hydrodynamique. Le site est, d'autre part, définitivement perturbé.

Pour tenter de pallier ces difficultés, nous avons procédé différemment en nous plaçant à l'extérieur des anneaux d'infiltration sur un cercle d'environ 3 m de rayon, afin de conserver une distance identique par rapport au site expérimental. A chaque prélèvement en sec ou en humide (par infiltration préalable dans un anneau de Müntz), nous réalisons simultanément les mesures de comptage en implantant un tube de sonde que nous déplaçons de proche en proche. Le site de l'essai peut ainsi être conservé pour d'autres interventions et l'étalonnage est réalisé rapidement. Cette méthode permet également de contrôler la représentativité spatiale du site choisi et de multiplier à volonté les points de prélèvements. Les mesures de densité ont été obtenues par la méthode du cylindre et par gamma-densimétrie.

### \* sur un transect présentant un gradient de salure et d'humidité :

Il s'agit de vérifier si la salinisation des sols affecte la réponse de l'humidimètre neutronique. Un protocole original a été mis en oeuvre sur un transect présentant une gamme de salure et d'humidité suffisante pour établir les courbes d'étalonnage. Les mesures et prélèvements sont réalisés sur 20 sites espacés de 5 mètres. Nous effectuons des prélèvements de sol pour la détermination de l'humidité pondérale et de la salinité aux mêmes niveaux que les comptages neutroniques et gamma-densimétriques (30, 50, 70, 90 cm). Deux tubes d'accès de nature différente sont testés (aluminium et PVC, ce dernier plutôt utilisé en milieu acide).

Les résultats indiquent que les comptages neutroniques commencent à être influencés par la présence de sels dans le sol lorsque la conductivité électrique de l'extrait 1/5 dépasse  $1.5 \text{ mS.cm}^{-1}$ . La gamme de salure rencontrée correspond assez aux conditions traditionnelles de mise en culture.

### 2.3. Perméabilité de la zone saturée :

De part et d'autre de la digue anti-sel, la vallée de Katouré est équipée d'un réseau piézométrique comprenant une centaine de tubes PVC, crépinés sur le dernier mètre. Sur ce réseau des techniques hydrogéologiques, notamment la méthode de l'essai d'absorption, ont été mises en oeuvre pour déterminer la perméabilité du matériau à la base de chaque piézomètre.

Les valeurs de la perméabilité sont comprises entre  $10^{-4}$  et  $10^{-6} \text{ cm.s}^{-1}$  et sont réparties spatialement de manière aléatoire. Cette hétérogénéité est probablement à mettre en relation avec la variabilité texturale des dépôts alluviaux de la vallée.

Les cartes piézométriques, dressées au cours de la même période, montrent que, durant la saison sèche, la digue anti sel n'empêche nullement l'intrusion souterraine des eaux salées vers l'amont. Cependant, cette salinisation par la nappe et par évaporation reste localisée aux zones dépressionnaires proches du barrage.

### 3. ORIENTATION DES FUTURES RECHERCHES.

En tenant compte des apports de l'ATP, mes travaux porteront sur les points suivants :

- utilisation des données de caractérisation hydrodynamique pour simuler numériquement le dessalement sous divers apports.

- comparaison des méthodes d'étalonnage "in situ" avec la méthode d'analyse neutronique des sols réalisée au CEN de Cadarache.

- signification des différents paramètres hydrodynamiques en tenant compte de l'organisation structurale du matériau.

## 4. BIBLIOGRAPHIE.

## \* Communications :

- BARRY B.,BOIVIN P.,BRUNET D.,MONTOROI J.P.,MOUGENOT B.,SAOS J.L.,TOUMA J.,ZANTE P.-1988- Sécheresse et modification des ressources hydriques en basse Casamance. Conséquences pour le milieu naturel et son aménagement. Deuxième journée de l'eau au Sénégal, UCAD, Dakar.
- BARRY B.,BOIVIN P.,BRUNET D.,MONTOROI J.P.,MOUGENOT B.,TOUMA J.,ZANTE P.-1988- Tentative d'évaluation des transferts hydriques et salins dans un bas-fond aménagé. Deuxième journée de l'eau au Sénégal, UCAD, Dakar.
- DIAWARA B.,BARRY B.,BOIVIN P.,MONTOROI J.P.,TOUMA J.,ZANTE P.-1988- Impact d'un barrage anti-sel sur la dynamique de la nappe superficielle d'un bas-fond. Deuxième journée de l'eau au Sénégal, UCAD, Dakar.

## \* Rapports :

- DIAWARA B.-1988- Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe des formations fluvio-marines du bolong de Katouré. D.E.A. Géol. Appliquée, Univ. Cheick Anta Diop, Dakar.
- LAMAGAT J.P.,MONTOROI J.P.,PERAUDEAU M.-1988- Traitement informatique des données limnimétriques et conductivimétriques d'une centrale "CHLOE" (ORSTOM-ELSYDE) à deux sondes SPI. Programme CHLODAK pour micro-ordinateur. Notice d'utilisation. ORSTOM Dakar, multigr.
- MONTOROI J.P.,PERAUDEAU M.,ZANTE P.-1986- Essai de mesure de la perméabilité des sols de la séquence de Koubalan par la méthode PORCHET. ORSTOM Dakar, multigr., 10 p.
- MONTOROI J.P.,TOUMA J.,ZANTE P.,-1989- Caractérisation hydrodynamique "in situ" d'un sol sableux de la vallée de Katouré (Casamance). Multigr., ORSTOM, Dakar.
- MONTOROI J.P.,ZANTE P.-1988- Etalonnage d'une sonde neutronique en milieu chloruré. ORSTOM, Dakar, 18 p.
- PERAUDEAU M.-1986- Mise en valeur des mangroves du Sénégal. Vallée des Kalounayes. Site d'étude de Koubalan. Rapport de campagne hydrologique. Hivernage 1985. ORSTOM, Dakar, multigr., 26 p.
- ZANTE P.-1988- Un dispositif de Müntz adapté à la détermination des caractéristiques hydrodynamiques du sol. ORSTOM, Dakar.
- ZANTE P.,LE BRUSQ J.Y.,MONTOROI J.P.-1987- Mise en valeur des mangroves du Sénégal. Vallée des Kalounayes. Sites d'étude de Koubalan et de Djiguinoum. Rapport de campagne 1986, multigr., ORSTOM Dakar, 38 p. + annexes.

## \* Posters :

- BOIVIN P.,MONTOROI J.P.,ZANTE P.-1988- Transferts d'eau et de soluté dans les sols du domaine fluvio-marin de basse Casamance. Salure et acidité. Présentation au séminaire ATP (19-21/9/88).

**PROGRAMME 2B B7****MISE EN VALEUR DES BAS-FONDS AU SAHEL:  
TYPOLOGIE, FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE,  
POTENTIALITES AGRICOLES.**

Cet intitulé regroupe en réalité deux programmes différents. Le premier concerne la direction des recherches hydrologiques et la coordination de l'ensemble des projets bas-fonds au Burkina Faso, Mali et Sénégal, dans le cadre du contrat CEE/CIEH/ORSTOM/CIRAD. Le second a trait à un de ces projets (Siné Saloum). Ces deux programmes sont dirigés par le même chercheur à partir de Dakar, raison pour laquelle ils ont été rassemblés.

**COORDINATION DES PROGRAMMES BAS-FONDS****EQUIPE.**

ALBERGEL

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Depuis la fin des années 60, on note pour l'ensemble de la région soudano-sahélienne, un fort accroissement des surfaces cultivées qui suit celui de la démographie. Ces nouvelles terres cultivées s'étendent aux dépens des jachères ou de terroirs délaissés, naguère, pour des raisons soit de salubrité, soit de nature des sols, trop lourds à travailler ou trop souvent inondés.

La sécheresse qui sévit en Afrique sahélienne a mené les agriculteurs et les pasteurs de ces zones défavorisées à modifier et à adapter leur système de production: introduction de céréales à cycle court, nouvelles pratiques culturales, recherche dans la toposéquence des zones les plus favorables, notamment du point de vue de l'alimentation hydrique des plantes. Le développement et l'intensification des ressources agricoles des bas-fonds sont devenus une priorité pour l'économie rurale intertropicale. Tant par la qualité chimique des sols que par la disponibilité de l'eau, la mise en valeur agricole des bas-fonds devient une alternative intéressante pour les paysans.

Ce développement des ressources des bas-fonds, pour être rationnel, nécessite l'adoption de nouvelles pratiques et la conception d'ouvrages hydrauliques permettant d'assurer la protection contre les crues, le stockage et la distribution d'eau d'irrigation.

Ce programme s'appuie sur cinq projets (Bidi et Comoe au Burkina, Siné Saloum et Casamance au Sénégal, programme CMDT au Mali) qui existaient déjà mais dont les actions ont été renforcées ou éventuellement réorientées. Ces cinq projets permettent déjà de couvrir un nombre important de situations agroclimatologiques. Ils ont en commun quatre grands axes de recherche:

- .Caractérisation morphopédologique des bas-fonds,
- .caractérisation du régime hydrologique,
- .étude des conditions techniques et socio-économiques du changement dans la gestion de l'espace et des ressources,
- .recherches variétales et mise au point de systèmes de culture.

Le produit attendu de ces recherches est une typologie des bas-fonds de l'Afrique soudano-sahélienne à laquelle seront liées des propositions de stratégies d'aménagement.

#### ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

Une synthèse préliminaire sur les connaissances en matière d'hydrologie dans les bas-fonds a été réalisée.

Trois réunions de coordination, réunissant des représentants de l'ensemble des projets se sont tenues à Ouagadougou (siège du CIEH).

Les projets Bidi et Casamance ont été présentés et acceptés au deuxième appel d'offre de la CEE.

Le démarrage, très difficile du projet Mali sud a enfin eu lieu début 89.

#### PERSPECTIVES.

L'ensemble doit se terminer en 1991 et donner lieu en 1992 à l'élaboration d'un document de synthèse, édité par le CIEH, sur tout le référentiel technique depuis la caractérisation des bas-fonds, leur fonctionnement hydrologique, jusqu'aux types d'aménagements et de mise en valeur en fonction des contraintes du milieu.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- ALBERGEL J.-1987- Proposition d'une action de recherche en vue de la mise en valeur des bas-fonds au Sahel: typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles. ORSTOM, Montpellier multigr., 31 p.
- ALBERGEL J.-1988- Etat d'avancement du projet bas-fonds. Contrat CEE-CIRAD TS2A-0017-F-CD. ORSTOM, Dakar, multigr., 12 p.
- ALBERGEL J.-1988- Fonctionnement hydrologique des bas-fonds. Synthèse préliminaire. Contrat CEE-CIRAD TS2A-0017-F-CD. ORSTOM, Dakar, multigr., 29 p.
- ALBERGEL J.-1989- Etat d'avancement du projet bas-fonds. Contrat CEE-CIRAD TS2A-0017-F-CD. ORSTOM, Dakar, multigr., 12 p.

- ALBERGEL J., CLAUDE J.-1989- Fonctionnement hydrologique des bas fonds en Afrique de l'ouest: état des connaissances, recherches en cours. Coll. intern. sur l'état de l'art en hydrologie et hydrogéologie dans les zones arides et semi-arides d'Afrique. Ouagadougou, 13-17 février.
- ALBERGEL J., MONTOROI J.P.-1988- Proposition d'une action de recherche en vue de la mise en valeur des bas-fonds au Sahel (programme Casamance): typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles. ORSTOM, Dakar, multigr., 13 p.

### PROGRAMME SINE SALOUM.

#### EQUIPE.

ALBERGEL, BERNARD, + équipe CIRAD/ISRA

#### JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.

Ce sont ceux de l'ensemble du programme bas-fonds avec une attention particulière portée aux aménagements anti-érosifs sur les versants.

#### ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

Le dispositif de mesure sur le terrain comprend, à l'heure actuelle, 1 grand bassin versant (16,2 Km<sup>2</sup>), 2 petits bassins (70 et 90 ha) et 2 micro-bassins (2,4 ha chacun). Ces cinq bassins ont été cartographiés avec précision. Une carte topographique au 1/1000 du bas fond de Keur Samba ainsi qu'une carte au 1/4000 du bassin de Keur Dianko et de ses aménagements ont été réalisées.

Une première synthèse des observations hydro-pluviométriques portant sur cinq années a été rédigée.

Une campagne de mesures sous pluie simulée sur un des micro-bassins a permis de mettre en évidence:

- . l'indépendance des courbes  $H(\theta)$  vis à vis du mode d'apport de l'eau en surface (comparaison Müntz, pluie simulée),

- . la concordance des résultats obtenus à partir des mesures sous pluies simulées en saison sèche et ceux donnés par la carte krigée des humidités mesurées en saison des pluies.

L'intérêt des aménagements anti-érosifs a été montré sur les micro-bassins.

L'installation d'une station pluviométrique, les mesures hebdomadaires du niveau piézométrique et les observations ponctuelles des écoulements sur le bas-fond de Keur Samba ont permis de préparer un nouveau terrain expérimental sur lequel sera privilégié une recherche d'accompagnement d'un aménagement hydro-agricole. Cet aménagement a été pensé et défini. Deux missions pour l'installation de digues déversantes en gabions et d'une unité de biogaz ont eu lieu (AGRI-FORCE). Une étude sociologique est menée pour préparer la communauté rurale à prendre en charge cet aménagement.

#### PERSPECTIVES.

L'accent sera mis à partir de 1990 sur l'étude de l'aménagement du bas-fond de Keur Samba.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- ALBERGEL J., RUELLE P.-1988- Programme bas-fonds Siné Saloum ISRA/ORSTOM. Présentation du programme à la réunion de Ouagadougou, 28-29 avril. ORSTOM, Dakar, multigr., 11 p.
- ALBERGEL J., BERNARD A., RUELLE P., TOUMA J.-1989- Hydrodynamique des sols. Bassins versants expérimentaux de Thyse Kaymor. Rapport de la campagne de mesures fev.-Avr. 1988. ORSTOM, Dakar, multigr., 29 p.
- BERNARD A.-1987- Le simulateur de pluie 2ème génération. Notes techniques du laboratoire d'hydrologie. ORSTOM, Montpellier, multigr., 94 p.
- BERNARD A.-1988- Remise en état du réseau hydro-pluviométrique des bassins de Thyse-Kaymor. ORSTOM, Dakar, multigr., 15 p.
- DIATTA M.-1989- Caractérisation des faciès forestiers de la communauté rurale de Kaymor. Mémoire de titularisation, ISRA Kaolack.
- RUELLE P., SENE M., VAUCLIN M.-1988- Bilan hydrique d'un micro-bassin versant cultivé, aspects stationnels. ISRA Kaolack, multigr.

**PROGRAMME 2B B8****PROCESSUS PEDOGENETIQUES PARTICULIERS AUX SOLS  
EVOLUANT SOUS L'EFFET D'UN EXCES D'EAU.  
CARACTERISATION ET FONCTIONNEMENT DES MILIEUX  
SATURES D'EAU.**

**EQUIPE.**

VIZIER.

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Le programme actuel a pour origine les travaux qui ont été réalisés de 1968 à 1974 au Tchad et à Madagascar. Ces travaux ont abouti à une meilleure connaissance de l'organisation et du fonctionnement actuel de sols évoluant, naturellement ou par suite d'une action anthropique, sous l'effet d'un excès d'eau. Une synthèse en a été présentée en 1982. Elle met l'accent sur l'importance et la rapidité des transformations de l'organisation et de la nature des constituants du sol induites par un excès d'eau. Des processus de nature mécanique, physico-chimique, biologique interviennent simultanément. Les transformations qui en résultent - variations de l'espace poral, de la composition de la fraction organique, redistribution particulière d'éléments due à une mobilité relative des constituants du sol, différente de celle des milieux non saturés d'eau - apparaissent liées entre elles. En outre, ces transformations interdépendantes dues au fonctionnement du système, réagissent aussi sur le système lui-même. L'évolution de tels milieux est rapide et complexe et doit être impérativement étudiée avant tout aménagement de type hydroagricole (étude prévisionnelle d'évolution des sols).

La redistribution particulière du fer, observée dans les sols subissant un excès d'eau, est due au déficit en oxygène résultant de la saturation du sol par l'eau, au développement de processus d'oxydo-réduction et de mobilisation ou d'immobilisation de différentes formes de fer ferreux. Cette redistribution particulière est une des transformations enregistrées dans ces sols et constitue, tout au moins dans les milieux acides étudiés, la manifestation la plus visible de l'hydromorphie. Le rôle d'indicateur de l'hydromorphie attribué à cette redistribution, nécessite d'approfondir la connaissance des mécanismes qui interviennent sur la transformation de la nature et de la répartition des composés du fer

dans les sols. C'est ce qui a orienté le programme de l'étude des processus pédogénétiques particuliers aux sols évoluant sous l'effet d'un excès d'eau vers l'étude plus fine de la dynamique du fer dans les milieux saturés. Cette dernière a été entreprise à partir de 1984 à l'Antenne ORSTOM de Cada-rache.

L'étude de la dynamique du fer réalisée en laboratoire sur des modèles expérimentaux s'est focalisée sur les mécanismes modulant la mobilité du fer réduit dans les sols et les interactions existant à l'interface sol-solution. Cette étude, assez fondamentale, était menée conjointement à une recherche de valorisation des résultats déjà acquis, sur la connaissance de la caractérisation et du fonctionnement des milieux saturés d'eau. Cette valorisation des résultats acquis est réalisée sous forme de collaborations qui se sont développées au cours des deux dernières années et surtout depuis 1988. Les travaux menés en collaboration ont, depuis cette date, pris le pas sur les études plus fondamentales des processus pédogénétiques, ce qui a entraîné un changement de l'intitulé du programme, qui est désormais : "Caractérisation et fonctionnement des milieux saturés d'eau".

#### ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

L'étude de la caractérisation et du fonctionnement des milieux saturés d'eau a fait l'objet d'une réflexion générale (1). Après un rappel des particularités de fonctionnement de ces milieux, cette réflexion qui montre l'intérêt que présente l'étude de l'objet sol pour des recherches menées dans différents domaines (agronomie, génie rural et génie civil, hydrodynamique), peut servir au lancement d'études pluridisciplinaires.

##### - Caractérisation des milieux saturés d'eau.

Sur ce point, une nouvelle présentation des résultats a été faite aux 12<sup>e</sup> journées du GFHN à Bordeaux en novembre 1987; elle est publiée dans le bulletin de ce Groupe (2).

Par ailleurs, dans le cadre de l'établissement du Référentiel Pédologique Français (RPF), une collaboration s'est instaurée avec J.C. Favrot (INRA, Montpellier), pour la partie concernant les sols hydromorphes. Après une série de remarques faites sur le premier projet diffusé en juillet 1987 (3) et la participation au 4<sup>e</sup> séminaire sur le RPF (en juin 1988 à Grignon), deux documents ont été rédigés et publiés dans le deuxième projet diffusé en novembre 1988 (4 et 5).

##### - Fonctionnement des milieux saturés d'eau.

Sur ce point il convient de distinguer deux ensembles de résultats. Les premiers se rapportent à l'étude de la dynamique du fer, les seconds à la valorisation des acquis réalisée dans le cadre de travaux menés en collaboration avec des partenaires appartenant à d'autres organismes, d'autres disciplines.

En ce qui concerne la dynamique du fer, les résultats obtenus dans le domaine des interactions existant à l'interface sol-solution, apportent des précisions sur les mécanismes d'adsorption et de désorption du fer ferreux. L'adsorption du fer ferreux apparaît partiellement réversible, lors d'une phase dite de "stabilisation de l'adsorption" et qui a été interprétée comme correspondant à la mise en équilibre du fer adsorbé avec les surfaces. Cette stabilisation est plus ou moins rapide suivant la nature des minéraux argileux des sols (6). Ces résultats permettent de compléter un schéma général des mécanismes modulant la mobilité du fer ferreux dans les milieux saturés d'eau et leur répercussion sur les possibilités de migration du fer dans les sols, par gravité en liaison avec les mouvements de l'eau, ou par diffusion en relation avec l'existence de gradients chimiques.

En ce qui concerne les actions menées en collaboration, il s'agit surtout de recherches sur le fonctionnement actuel des milieux saturés d'eau et plus particulièrement sur les variations saisonnières de l'ambiance physico-chimique, susceptibles d'avoir une influence sur la nutrition minérale des plantes cultivées.

Après une série de remarques faites sur les premiers résultats obtenus par l'ATP-Bas fond, coordonnée par le CIRAD, sur les Hautes Terres à Madagascar (7), la participation à cette ATP a été effective à partir de juin 1988 où, lors d'une mission sur le terrain, il a été proposé une réorientation des études de la physico-chimie des sols de rizières (8). L'observation d'une productivité limitée due à une mauvaise utilisation des engrais dans les milieux les plus réducteurs, permet d'envisager deux causes possibles à cette limitation des rendements : déséquilibre nutritionnel, lié à la présence de fortes teneurs en fer ferreux dans la solution du sol, ou toxicité ferreuse (9). Les études envisagées pour les prochaines années devraient permettre de résoudre ce problème et de préconiser des mesures visant à prévenir les risques de déséquilibre nutritionnel ou de toxicité pour le riz.

Outre cette action réalisée dans le cadre de l'ATP-Bas fond, une autre recherche a été effectuée en collaboration avec le CIRAD au Service de Radio Agronomie de Cadarache. S'appuyant sur des données obtenues par l'IRAT et la Recherche Agronomique malgache dans la Région du Lac Alaotra, une étude a été réalisée en phytotron en vue de rechercher les causes et les manifestations de la plus ou moins bonne résistance de variétés de riz pluvial à un excès d'eau. Cette étude a permis de mettre en évidence l'existence d'interactions à l'interface sol-plante avec, suivant les variétés de riz testées, le maintien plus ou moins assuré d'une rhizosphère oxydée pendant la période de saturation du sol par l'eau. Dans les conditions les plus réductrices, le fort déséquilibre nutritionnel observé s'accompagne d'une forte absorption de fer par les racines. Ces résultats débouchent sur une proposition de test de sélection de variétés de riz pluvial susceptibles de résister à un excès d'eau (10).

## PERSPECTIVES.

Le but des recherches à venir reste :

- une meilleure connaissance du fonctionnement des milieux saturés d'eau avec pour application non seulement l'aspect prévisionnel de l'évolution des sols de périmètres aménagés (irrigués, inondés, drainés), mais aussi les conséquences de ce fonctionnement sur la croissance des plantes cultivées (biodisponibilité des éléments minéraux, déséquilibres nutritionnels, phénomènes de toxicité);

- un meilleur choix de critères ayant des bases morphogénétiques, améliorant la caractérisation de ces milieux (évaluation de l'hydromorphie, classification).

### Caractérisation des milieux saturés d'eau.

La dernière version du Référentiel Pédologique doit encore être discutée et sera peut être modifiée en 1989 ou 1990.

### Fonctionnement des milieux saturés d'eau.

L'étude de la dynamique du fer doit se poursuivre sur deux points :

- connaissance de certaines propriétés des formes de fer réduit, présentes dans la solution du sol (taille, charge, par électrodialyse-ultrafiltration), susceptibles de privilégier un des modes de migration de cet élément dans les sols saturés (migration liée aux mouvements d'eau ou à l'existence de gradients chimiques);

- étude de la réversibilité de l'immobilisation du fer, en essayant de distinguer précipitation et adsorption (cinétique d'échange isotopique).

Les études de fonctionnement des milieux saturés d'eau réalisées en collaboration avec des chercheurs d'autres disciplines et d'autres organismes, devraient se développer au cours des prochaines années avec le projet de création d'un Groupement d'Intérêt Scientifique associant des laboratoires métropolitains (CEA, CIRAD, CNRS, INRA, ORSTOM) et des équipes implantées dans les régions tropicales (Madagascar, dans un premier temps), avec pour premier objectif de rechercher les facteurs limitants de la nutrition minérale du riz de bas-fond sur les Hautes Terres à Madagascar. Ce travail peut être considéré comme étant une suite au programme pluridisciplinaire réalisé dans le cadre de l'ATP Bas-fond et qui s'achève en juin 1989 à Madagascar. La participation de l'ORSTOM à ce travail concerne l'étude des variations des conditions physico-chimiques du sol et de la solution du sol en conditions contrôlées, en fonction d'apports en éléments minéraux au sol (engrais) et du développement de la plante. Constituant un des maillons de l'étude des interactions et des transferts aux interfaces, sol-solution du sol-plante, cette étude physico-chimique (qui sera associée à des études microbiologiques, microscopiques sur le sol et les racines de la plante et de

physiologie végétale), s'intègre de façon plus générale à celle du fonctionnement des écosystèmes transformés (fonctionnement et aménagement des bas-fond) qui est un des objectifs de l'Unité de Recherches.

#### BIBLIOGRAPHIE.

##### Revue extérieures.

- (2) VIZIER J.F.-1988- Le fer indicateur de l'hydromorphie. Etude de sa dynamique dans les sols subissant un excès d'eau. Bulletin du GFHN, n° 23, : 25-38.
- (10) VIZIER J.F.,PUARD M.- Influence de la fertilisation sur le comportement du riz pluvial face à un excès d'eau. Proposé pour publication dans la revue L'Agronomie Tropicale.

##### Revue ORSTOM

- (6) VIZIER J.F.-1987- Analyse des mécanismes d'adsorption et de désorption du fer ferreux dans les milieux saturés. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol XXIII : 157-167.

##### Littérature grise.

- (1) VIZIER J.F.-1988- Réflexion concernant les études de fonctionnement et de caractérisation des milieux saturés. Dossier de quatre documents, 10 p.
- (3) VIZIER J.F.-1987- Remarques sur le Référentiel Pédologique Français. A propos des sols hydromorphes, 8 p.
- (4) FAVROT J.C.,VIZIER J.F.-1988- Les sols à caractère hydromorphe. RPF, 2° proposition : 105-112.
- (5) VIZIER J.F.-1988- Eléments pour l'établissement d'un Référentiel pour les sols hydromorphes. RPF, 2° proposition : 233-251.
- (7) VIZIER J.F.-1987- Remarques sur les premiers résultats et les perspectives de l'étude : Bilan hydrique et minéral d'un bas-fond sur les Hautes Terres de Madagascar, 4 p.
- (8) VIZIER J.F.-1988- Etude de la physico-chimie des sols de rizières. In : Rapport d'avancement de l'étude du bilan hydrique et minéral d'un bas-fond des Hautes Terres de Madagascar : 131-138.
- (9) VIZIER J.F.-1988- La toxicité ferreuse dans les sols de rizières. Importance du problème, cause et mécanismes mis en jeu, conséquences pour l'utilisation des sols. in : Rapport d'avancement de l'étude du bilan hydrique et minéral d'un bas-fond des Hautes Terres de Madagascar : 77-89.

**PROGRAMME 2B B10****REEVALUATION DE LA POTENTIALITE DES SOLS A  
CROUTES (CALCAIRES, GYPSEUSES ET SALINES)  
DE TUNISIE.****EQUIPE.**

BLANCANEUX + étudiants Tunisiens.

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Les accumulations de produits solubles ont une importance considérable dans les couvertures pédologiques de Tunisie où elles se manifestent surtout par la grande extension des "sols à croûtes" carbonatées, sulfatées ou salines.

La conquête de nouvelles terres cultivables est devenue une nécessité en Tunisie; elle ne peut plus se faire que sur des sols considérés, jusqu'ici, comme marginaux, principalement sur les croûtes calcaires. Elle passe par l'évaluation des possibilités de décroûtage et des conséquences sur la dynamique des eaux et des matières dissoutes et transportables. Les relations actuelles des croûtes avec les cultures ou la végétation naturelle, tout particulièrement leur alimentation en eau, doivent être précisées.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

1 - Rédaction et/ou remodelage d'articles soumis aux comités de lecture pour publications dans des revues internationales

Les résultats analytiques obtenus aux ateliers scientifiques centraux de Bondy nous ont permis courant 1988 :

- De compléter les premières observations faites (1987) dans les échantillons de sols non remaniés de la péninsule du Cap-Bond, et qui ont fait l'objet d'une publication dans les cah. ORSTOM, sér. Pédol.. Ces nouveaux résultats ont par ailleurs contribué à une tentative de synthèse sur la dynamique des solutions carbonatées (et leur géochimie) - phases de dissolution/précipitation, formes, natures et tailles des cristaux de calcite etc - en relation avec les caractéristiques physiques des matériaux d'accueil et donc de leur comportement hydrodynamique.

- De préciser avec B. HOUMANE les données micromorphologiques sur les accumulations calcaires observées dans les sables fossilifères de l'Astien, dans un article proposé pour publication dans GEODERMA.

## 2 - Activités de terrain

- Campagne d'observations pour précision de la carte au 1/500.000 de répartition des sols à accumulations calcaires de la Tunisie centrale et septentrionale.

Un certain nombre de vérifications ont été rendues nécessaires courant 1988, en Tunisie centrale et septentrionale, afin de préciser certaines associations d'unités de sols dans notre carte de synthèse.

- Campagne de simulation de pluie avec R. PONTANIER, R. SAYOL et A. BECIM sur différentes couvertures de sols affectés par des individualisations de carbonates.

Elles avaient pour but de vérifier l'adaptabilité de cette méthodologie à l'étude du fonctionnement hydrodynamique (envisagé) de couvertures pédologiques caractérisées par différentes formes d'accumulations de carbonates (estimation du stock hydrique, conséquences sur l'infiltration, l'érosion, l'érodibilité des terres en fonction des pratiques culturales..etc.). Ces expérimentations ont été réalisées sur des couvertures de sols rouges secondairement recarbonatées (région de Béja) d'une part, et d'autre part sur des sols bruns calcaires à individualisation de carbonates dans la région de Ras Jebel (E de Bizerte).

3. - Stage aux ateliers scientifiques centraux de l'ORSTOM à Bondy (du 19 au 24/12/88).

- Remodelage de l'article sur les Profils collés avec G. BELLIER, après critiques du document soumis au comité de lecture des cah. Pédol.ORSTOM. Cet article paraîtra sous la forme d'une note technique dans le prochain cahier Pédo.

- Fabrication de lames "mammoth" d'échantillons non remaniés avec G. BELLIER.

- Obtention, discussion et interprétation des résultats d'analyses minéralogiques (argiles : R.X).

## PERSPECTIVES.

La convention actuelle entre l'ORSTOM et le Laboratoire de Pédologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Tunis arrive à échéance fin août 1989. Il a été décidé de mettre momentanément un terme à notre action de collaboration avec le Ministère Tunisien de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique.

L'année 1989 sera consacrée essentiellement aux tâches suivantes :

- Fin de la rédaction du document de synthèse.
- Publications dans des revues à caractère international. Remodelage des articles soumis aux comités de lecture de ces dernières au fur et à mesure que nous parviendront ces critiques.

- Activités de terrain.

Poursuite des campagnes de simulation de pluie et dépouillement des données avec R. PONTANIER, R. SAYOL et A.BECIM sur différentes couvertures pédologiques marquées par des individualisations de carbonates.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- Articles dans des revues internationales, nationales et documents de synthèse.

BAHRI A, BLANCANEUX Ph., PONTANIER R., ZAIER M.-1987- Caractérisation morphologique d'une séquence de sols à accumulations calcaires dans la région de Béja. Rép. Tunis., Min. Agr.Dir.Sols et ORSTOM, Tunis., 21 p., 7 fig., 5 tabl. anal. ES 246.

BLANCANEUX Ph.-1988- Encroûtement calcaire dans les altérations de matériaux marno-gréseux aptien de la dorsale tunisienne (jebel Bargou). Mise en évidence des phénomènes d'épigénie. ORSTOM, Tunis., 28 p., 3 fig., 3 pl.Phot., 2 pl. graph. Ronéo. Article soumis aux critiques du comité de lecture des cah. Pédol.ORSTOM pour publication.

BLANCANEUX Ph.-1989- Les sols à accumulations calcaires de la Tunisie centrale et septentrionale. Notice et carte au 1/500.000. Rép. Tunis., Univ.Tunis., Fac.Sc. Dépt.Sc. Terre., Labo.Pédol. et ORSTOM, Tunis. 114 p., 1 fig., 8 pl.Phot.Coul., 1 tabl., 1 carte H.T. sous presse.

BLANCANEUX Ph., HOUMANE B., GALLALI T.-1987- Les différents faciès d'accumulations calcaires dans la région orientale de la péninsule du Cap Bon (Tunisie septentrionale). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIII, n° 4, 1987 : 253-273.

BLANCANEUX Ph., HOUMANE B., GALLALI T., TOUMI M.-1988- Les sols à accumulations calcaires de la Tunisie centrale et septentrionale. Notice et carte au 1/500.000. Rép. Tunis. Univ.Tunis., Fac.Sc. Dept. Sc.Terre., Labo. Pédol.et ORSTOM, Tunis. Multigr.

BLANCANEUX Ph., BELLIER G., MONJI H.-1988- Note sur la réalisation de profils collés dans quelques sols de Tunisie. Rép.Tunis., Univ.Tunis., Fac.Sc., Dépt.Sc. Terre., Labo.Pédol. et ORSTOM, Tunis. Ronéo. 20 p., 5 fig., 3 pl.Phot.Coul., légendes., annexe.

HOUMANE B., BLANCANEUX Ph., GALLALI T.-1988.- Micromorphology of complex nodules in a sand sediment in the NE of Tunisia. Univ. Tunis. Fac. Sc., Dept. Sc Terre., Labo Pédol. 7 p., 2 fig., 1 pl. Phot., ronéo. Article soumis à critique pour publication dans GEODERMA.

- Publications faites au laboratoire de Pédologie (encadrement de chercheurs nationaux)

- BEN AISSA N.-1986- Initiation à l'analyse microstructurale "Micromorphologie, Microanalyse" dans l'étude des sols. Rapport de stage effectué aux SSC de L'ORSTOM à Bondy. 20 p., ronéo. Labo. Pédo., Fac.Sc., Univ.Tunis.
- BEN AISSA N.-1987- Formes et répartition du carbone et de l'azote dans deux séquences de sols développés sur matériaux calcaires et sur matériaux gréseux en Tunisie Nord-Orientale. D.E.A. Sc. de la Terre., Opt. Eau et Environnement, Labo-Pédo., Fac.Sc., Univ.Tunis.
- HOUMANE B.-1988- Rapport de stage sur l'analyse microscopique des échantillons de sols. MEERS., Univ.Tunis., Fac.Sc., Labo. Pédo., 11 p., 17 pl. Phot., Ronéo.
- KADRI A.-1987- Pédologie des milieux gypseux. Contribution à l'étude hydro-pédologique et géochimique des accumulations gypso-salines dans le Nefzaoua. D.E.A. Sc. de la terre., Opt. Eau et Environnement., Labo. Pédo., Fac.Sc., Univ. Tunis.
- NEJI H.-1987- Contribution à l'étude du comportement hydrodynamique des accumulations gypseuses en Tunisie présaharienne. D.E.A. Sc. de la Terre, Opt. Eau et Environnement, Labo.Pédo., Fac. Sc., Univ.Tunis.
- OUERFELLI K.-1987- Micromorphologie-Microanalyse dans l'étude des sols. Rapport de stage effectué aux SSC de l'ORSTOM à Bondy., 24 p., annexe : 12 pl. Phot., ronéo. Labo.Pédo., Fac.Sc., Univ.Tunis.
- OUERFELLI K.-1988- La fersiallisation dans la région du jebel Bargou (Tunisie Nord-Orientale). D.E.A. Sc. de la Terre., Opt.Eau et Environnement, Labo. Pédo. Fac.Sc., Univ.Tunis., 88 p., Ronéo.
- TOUMI M.-1988- Organisation des accumulations calcaires dans la région du jebel Bargou (Atlas Tunisien Nord-Orientale). D.E.A. Sc. de la Terre., Opt. Eau et Environnement, Labo.Pédo., Fac.Sc., Univ.Tunis., 78 p., annexe : 13 p.

**PROGRAMME 2B B11****LABORATOIRE DES SOLS SALES DE MONTPELLIER.****EQUIPE.**

JOB, LOYER

**ACTIVITES.****Rappels.**

Sur le thème sols salés les opérations de recherche auxquelles se consacre le laboratoire de Montpellier sont de deux types :

L'une de caractérisation et de typologie des milieux salés arides et semi-arides, concerne l'étude de la nature et de l'origine des sels, de leur organisation et de leur variabilité spatiale dans les sols et les paysages, de leur fonctionnement et de leur dynamique saisonnière, et de l'évaluation des potentialités agronomiques des sols affectés.

L'autre se rapporte à l'étude de leur évolution lorsque ces milieux sont soumis à des contraintes anthropiques et concerne : le transfert et le bilan des sels sous irrigation, les prévisions d'évolution, la conservation, la dégradation et la régénération des sols mis en valeur.

\* Finalité agronomique nettement affichée dans un contexte géographique très affecté et où s'exprime une demande de plus en plus forte.

\* Méthodologie plus globale pour maîtriser la forte variabilité spatiale des sels.

**Recherche et expérimentation.**

- Sur le terrain, des opérations ponctuelles ont été lancées sur différentes situations salées depuis 1986. Elles étaient destinées à tester la réponse de la "conductivimétrie électromagnétique" sur différents milieux, à cerner l'influence des principaux paramètres du sol sur la réponse de l'appareil de façon à mettre au point une méthodologie fiable de caractérisation spatio-temporelle de la salinité des sols.

Sénégal : milieux chloruro-sulfatés très acides.  
 Syrie : milieux chloruro-sulfatés neutres.  
 Tunisie : milieux très calcaires et milieux sulfatés calciques.  
 Espagne : milieux chloruro-sulfatés très argileux et alcalisés.  
 Mexique : milieux sulfatés sodiques.

- Au laboratoire : étude cinétique de la dissolution-désorption du sodium en milieu salé par Electro-Ultra-Filtration (EUF). Une stagiaire D. KOLBE, février - juin 1989, collaboration ENSAM - Laboratoire de chimie de Bondy.

#### Enseignement.

1986/87 LOYER : 12 h cours ENSAR Rennes.  
 1986/87 LOYER : INAPG, U.V. milieux intertropicaux.  
 1986/87 JOB : ENGREF Montpellier (DEA USTL-ENSAM).  
 1987/88 LOYER : DEA Paris  
 1987/88 LOYER : INAPG U.V. milieux intertropicaux.  
 1987/88 LOYER, JOB : ENGREF Montpellier (DEA USTL-ENSAM).  
 1987/88 JOB : Enita Bordeaux.  
 1988/89 LOYER, JOB : ENGREF Montpellier.  
 1988/89 LOYER : CNEARC Montpellier.  
 1988/89 LOYER : ENITA Bordeaux.

#### Classifications des sols.

- J.Y. LOYER : Rédaction de plusieurs propositions au Référentiel Pédologique Français pour les sols salsodiques.

- "Major contributor" pour les sols Halic de l'International Reference Base for soil classification (IRB) de l'ISSS (travaux en cours).

#### Accueil et formation stagiaires.

- H. BEN HASSINE et M. HACHICHA, ingénieurs de la Direction des sols de Tunisie "conductivimétrie électromagnétique", du 3 au 24 juillet 1988.

- Pascale DURAND, IUT Montpellier-Nîmes, du 25 avril au 25 Juin 1988 : mise en forme des logiciels géochimiques et géostatistiques (Bilion, Geostat, BAC).

- Achard PONT, informaticien BTS : gestion des données de conductivimétrie électromagnétique. Transfert et organisation des données pour calcul géostatistique.

## Encadrements de thèses d'état.

- Syaka SADIO : Wageningen - ORSTOM. Sols sulfatés acides du Siné Saloum (Sénégal). Evolution et mise en valeur agro-forestière, phase de rédaction.

- José Luis GONZALES BARRIOS : ORSTOM, ENSAM Montpellier, INRA versailles. Etude de la salinité des sols de la Lagunera de Torreon (Mexique), phase de terrain. Expérimentation laboratoire ORSTOM Montpellier fin 1989.

- J.L. JOB : ENSAM. Dynamique des sels dans quelques sols tunisiens.

## ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

Les différents essais effectués ont abouti à la mise au point d'une méthodologie fiable de suivi de la salinité dans les périmètres irrigués. La répétition de la mesure aux mêmes moments du cycle de culture permet de faire, la plupart du temps, abstraction du facteur humidité. Lorsque ce n'est pas le cas, un étalonnage s'avère nécessaire à chaque répétition. Le dépouillement des nombreux étalonnages effectués devrait permettre d'affiner l'influence du couple humidité-salinité sur la réponse du CEM. La méthodologie de mesure avec maillage régulier en mode vertical et horizontal permet de mettre en évidence l'allure des profils salins verticaux, (ascendants, descendants), de suivre la variabilité globale de la salinité d'une parcelle, et de cerner l'influence de certains éléments (drains, planage) sur la mobilité des sels. Le traitement géostatistique des données par Krigeage aboutit à des cartes saisonnières d'isosalinité.

## PERSPECTIVES.

Encadrement du programme "périmètres irrigués de Tunisie" et de ses éventuels prolongements.

Parallèlement les expérimentations seront poursuivies à trois niveaux :

CEM : Essais pour cerner l'influence respective des différents horizons du sol (cf. projet MRES) essais de diverses fréquences d'excitation et d'écartement des spires.

EUF : (Electro-Ultra-Filtration). Poursuite des cinétiques de dissolution-désorption des ions solubles et échangeables; coll. Labo chimie Bondy (M. SONDAG), ENSAM, Dorothee KOLBE.

Essais de lessivage des sols salés avec des amendements naturels, des polycations, et des eaux rééquilibrées; expérimentations labo, thèse BARRIOS jusqu'à fin 1991. Coll. ENSAM (SERVAT), INRA Versailles (ROBERT).

-situation structurelle.

. Au niveau de DEC, le rattachement des "sols salés" au département n'est pas remis en question, ce dernier entendant même conforter sa position dans ce domaine.

. Vis à vis de Bondy, le DEC conçoit l'existence d'une différence entre une tendance fondamentaliste et une autre plus agronomique, avec un rattachement à deux centres différents.

. Au plan fonctionnel à Montpellier, la nécessité d'un rapprochement de l'Unité Fonctionnelle Sols Salés à celle du Laboratoire de Comportement des Sols Cultivés paraît actuellement indispensable, tout en préservant une autonomie de programme et de gestion financière des UR respectives. Un partage raisonnable des moyens humains et matériels serait souhaitable.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- BOIVIN P., HACHICHA M., JOB J.O., LOYER J.Y.-1989- Une méthode de cartographie de la salinité des sols : conductivimétrie électromagnétique et krigeage. A paraître Sc. du sol, France.
- BOIVIN P., JOB J.O.-1989- Conductivité électromagnétique et cartographie des sols salés. A paraître dans Cah. ORSTOM, sér. Pédol.
- BOUTEYRE G., LOYER J.Y.. Sols salés eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes, principaux faciès et problèmes de mise en valeur. A paraître ouvrage Réseau Zones Arides. Dépt. MAA.
- CALVET V., JOB J.O.-1987- Conductivité électromagnétique des sols. Différenciation d'horizon salins. MIAGR, rapp. de stage 1ère année, 14 p. multigr.
- CHEVALLIER N., JOB J.O.-1987- Bilans ioniques des solutions du sol. IUT de Montpellier, Dépt. Informatique, rapp., multigr. 20 p.
- DURAND P., JOB J.O.-1988- Création d'un nouvel environnement informatique. IUT de Montpellier, rapp., multigr. 42 p.
- JOB J.O.-1986- Variabilité spatiale des sols. Journées RZA. Octobre 1988, ORSTOM Montpellier.
- JOB J.O.-1987- Bilion : vérification et interprétation des bilans ioniques des eaux et des solutions du sol. Comm.: journées sur la valorisation informatique des données physico-chimiques, 20-26 octobre 1987, ORSTOM.
- JOB J.O.-1987- Variabilité des mesures en laboratoire et sur le terrain. Utilisation de l'informatique. Comm : journées informatiques sur la valorisation des données physico-chimiques, 20-26 octobre 1987, ORSTOM.
- JOB J.O.-1989- Les origines de l'agriculture et le problème des sels en Mésopotamie. A paraître ouvrage RZA.
- JOB J.O., BOIVIN P., LOYER J.Y.-1988- Conductivimétrie électromagnétique et représentation spatiale des sols salés. Séminaire sols salés, DS Tunis, juin 1988.
- JOB J.O., LOYER J.Y.-1988- Variations spatiale de la salinité globale dans la parcelle 2049 des Marismas du Guadalquivir, 10 p. dactyl., ORSTOM Montpellier.

- JOB J.O., LOYER J.Y., AILLOUL M.-1988- Utilisation de la conductivité électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. Vol. XXIII n° 1, pp. 123-131.
- LOYER J.Y.-1986- La mise en valeur hydro-agricole des sols de la basse vallée du fleuve Sénégal en relation avec les problèmes de salure et d'alcalisation. Journées AFEID, Montpellier, septembre 1986. "Drainage et salinité".
- LOYER J.Y.-1986- La mise en valeur agricole des sols de mangroves tropicales en relation avec les contraintes de salinité et d'acidité. Journées AFEID, "Drainage et Salinité. Montpellier 1986.
- LOYER J.Y.-1986- Pédologie et aménagements agricoles dans le Delta du fleuve Sénégal. Symposium International INQUA - Dakar. Livret guide excursion Nord.
- LOYER J.Y.-1987- Les sols salsodiques. In "Référentiel Pédologique Français". AFES Paris. 1ère et 2ème versions.
- LOYER J.Y.-1989- Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. Caractérisation, distribution et évolution sous culture. Ed. ORSTOM Etudes et thèses, 137 p.
- LOYER J.Y., MOUGENOT B., ZANTE P.-1986- Changements récents induits par l'intervention humaine, sur les sols de la basse vallée du fleuve Sénégal. Symposium INQUA - Dakar, avril 1986.
- VASSIL P., JOB J.O.-1987- Exploitation d'un fichier bibliographique. Rapport de stage IUT informatique, année spéciale, Montpellier, 15 p. multigr.



**4ème PARTIE**  
**NOUVEAUX PROGRAMMES OU**  
**PROGRAMMES PREVUS.**

**PROGRAMME 2B A3**

**DYNAMIQUE DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES SUR  
DEUX TYPES DE SOLS DU TOGO.  
INFLUENCE SUR L'INFILTRATION ET CONSEQUENCES  
AGRONOMIQUES.**

**EQUIPE.**

PLEUVRET (encadrement POSS, VALENTIN)

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Dans toute l'Afrique tropicale sèche, des pellicules apparaissent à la surface des sols cultivés. Ces croûtes sont responsables de la plus grande partie du ruissellement, donc de l'érosion, et perturbent gravement la levée des semences. Les réorganisations superficielles et leur effets néfastes sont accentués par la culture mécanisée et sur certains périmètres du centre-sud Togo, les phénomènes d'érosion sont alarmants.

Ce programme se situe dans la continuité du D.E.A effectué en 1988 "Infiltration et réorganisations superficielles sous pluies simulées. Cas de sols ferrallitiques du sud Togo.". Il a pour objectif de conduire à une meilleure connaissance de la dynamique des états de surface et de leurs propriétés hydrodynamiques. Sur un plan plus agronomique il vise à préconiser des techniques culturales réduisant les phénomènes d'érosion.

L'étude porte sur deux types de sols à minéralogie très différente : les sols ferrallitiques développés sur continental terminal et les sols ferrugineux sur schistes métamorphiques.

1<sup>er</sup> site sur terres de Barre (sols ferrallitiques) du sud Togo.

Le togo méridional est une région soumise à un climat tropical à deux saisons des pluies, avec un total moyen annuel de l'ordre de 1000 mm. Le modelé est principalement constitué de plateaux incisés de cours d'eau. Le site retenu (station IRAT de Davié) est localisé au centre de l'un de ces plateaux, à 35 km au nord de Lomé. Ces plateaux portent des sols à altération ferrallitique profonde très homogènes latéralement. les phénomènes de ruissellement et d'érosion sur les terres de Barre prennent une ampleur catastrophique dès que les sols sont cultivés sans temps de jachère, ni restitution, des résidus de récolte.

2<sup>ème</sup> site en pays Tamberma (sols ferrugineux) au nord Togo.

En pays Tamberma, le relief aux formes convexes (collines, glacis) avec des pentes de 3 à 4% est lié à une reprise d'érosion importante. Le climat est de type tropical de transition à une saison des pluies avec une moyenne annuelle de 1080 mm. Le site retenu se trouve sur le bassin versant du Kouenisso affluent de la Kéran, à 20 km à l'est de Kanté (600 km au nord de Lomé) sur la piste qui mène à Boukombé au Bénin.

## PRESENTATION DU PROGRAMME

### Programme sur terres de Barre.

1<sup>er</sup> volet : effet de la technique des cultures associées (maïs-manioc) sur la protection du sol et la lutte contre l'érosion. Suivi au cours d'un cycle cultural du ruissellement et de tous les facteurs pouvant influencer sur la pénétration de l'eau dans le sol.

Ce suivi se fait sous pluies réelles et pluies simulées afin de savoir s'il y a concordance entre les résultats obtenus avec la simulation de pluie et ceux obtenus sous pluies naturelles.

2<sup>ème</sup> volet : compréhension des problèmes de levées sur les terres de Barre.

Etude de la compaction de l'horizon de surface à l'aide de l'aiguille proctor en liaison avec l'état hydrique du sol .

3<sup>ème</sup> volet : étude de deux facteurs qui ont une influence sur la dynamique des organisations superficielles : l'intensité de la pluie et le taux de matière organique.

### Programme en pays Tamberma.

1<sup>er</sup> volet : étude de la distribution spatiale des états de surface en relation avec celle des sols à l'échelle d'une unité de modelé (colline).

Extrapolation au bassin versant du Kouenisso.

Mise en évidence des relations sol - réorganisations superficielles.

Suivi du ruissellement sur chaque unité cartographique, sur une année, afin de connaître l'adéquation des coefficients de ruissellement obtenus sous simulation de pluie avec ceux obtenus sous pluies réelles.

Etablissement de la fonction de production du ruissellement pour chaque unité cartographique.

Caractérisation des états de surface à différentes périodes de l'années en liaison avec le ruissellement.

2<sup>ème</sup> volet : étude du ruissellement et de l'érosion sur parcelles à billons cloisonnés et billons non cloisonnés.

## METHODOLOGIES ET TECHNIQUES :

Sur les deux sites mise en place d'un pluviomètre et d'un pluviographe à augets basculeurs afin connaître les caractéristiques des pluies naturelles.

### 1er site sur terres de Barre.

Quatres parcelles ont été choisies sur la station de Davié : une parcelle nue de 50 m<sup>2</sup>, une parcelle maïs seul de 300 m<sup>2</sup> dont 250 m<sup>2</sup> sont réservés aux coefficients de rendements, une parcelle manioc seul (300 m<sup>2</sup>) et une parcelle maïs - manioc (300 m<sup>2</sup>). Sur chaque parcelle un cadre de simulation de pluie de 1 m<sup>2</sup> a été implanté.

Pour le suivi du ruissellement et de la terre entraînée sous pluies naturelles un fût de 200 litres avec échelle de crue a été placé à l'aval du cadre de 1 m<sup>2</sup>.

Tous les mois deux pluies de contrôle (simulation de pluie) sont effectuées sur chaque parcelle : une première pluie pour humecter le sol afin de se placer dans des conditions hydriques identiques, quelle que soit la saison, suivie 24 heures plus tard d'une seconde pluie.

L'état hydrique des parcelles est donné par des tensiomètres et un tube de sonde à neutrons.

Caractérisation des états de surface par points quadrats (grille de maille régulière de 10 cm de coté).

Prises de vues nadirales pour l'estimation du recouvrement végétal au cours du cycle végétal.

Estimation de la surface foliaire du maïs par la méthode non destructive de l'IRAT.

Les indices de contrôle pour les cultures sont effectués sur 50 plans tout au long du cycle.

### 2ème site en pays Tamberma.

Cinq parcelles de 1 m<sup>2</sup> ont été implantées sur la topographie choisie. Elles correspondent aux unités cartographiques des états de surface, définies lors d'une première campagne d'approche sur le terrain. La surface élémentaire des surfaces cultivées billonnées étant supérieure au mètre carré, deux parcelles de 4 m<sup>2</sup> ont été installées pour l'étude des billons cloisonnés et des billons non cloisonnés. Comme au sud Togo l'adéquation ruissellement sous pluies naturelles et pluies simulées se fait à l'aide de cuves placées à l'aval de la parcelle et de simulation de pluies.

La caractérisation des états de surface est effectuée par la méthode des points quadrats. La maille de mesure est adaptée à l'échelle de détermination.

Dans les sols hydromorphes de bas fond deux piézomètres ont été installés afin de connaître la hauteur de la nappe au cours de la saison des pluies.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

Début Février 89 : arrivée au Togo.

Février - Mars 89 : choix des sites et définition du programme.

Avril 89 : début du programme avec la mise en place des parcelles sur Davié.

Mai 89 : 1<sup>ère</sup> simulation de pluie.

Début Juin 89 : mise en place des dernières parcelles en pays Tamberma.

**PERSPECTIVES.**

La période de récolte de données sur le terrain doit se terminer au courant du mois de juin 1990.

Juillet 1990, retour en France au centre de Bondy pour dépouillement des données et étude expérimentale en laboratoire.

Courant 1991 mission de un ou deux mois au Togo pour recueil de données complémentaires.

Soutenance de thèse prévue en 1992.

**BIBLIOGRAPHIE.**

PLEUVRET C.-1988- Infiltration et réorganisations superficielles sous pluies simulées. Cas de sols ferrallitiques du sud Togo. Mémoire DEA ,ORSTOM, Paris, multigr., 79 p.

**PROGRAMME 2B B4****GESTION INTEGREE DES RESSOURCES NATURELLES.****EQUIPE.**

COLLINET.

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Ce programme vise, à travers une collaboration ORSTOM/CATIE, à mener une recherche interdisciplinaire regroupant tous les spécialistes travaillant sur le cycle naturel de l'eau et des matières qu'elle mobilise, transporte et dépose.

Cette recherche, s'appuyant essentiellement sur l'observation et l'expérimentation de terrain, s'efforcera de dépasser le stade des comportements dynamiques globaux pour analyser les processus générant ruissellements et érosions ainsi que les effets évolutifs que ces processus ont sur les milieux étudiés.

La phase expérimentale sera précédée d'une identification des composantes et des organisations des milieux naturels et/ou des milieux exploités pour les productions agro-alimentaires, agro-industrielles, pastorales ou sylvicoles.

Les lieux de réalisation de ces recherches coïncideront avec des bassins versants représentatifs des milieux en leur état naturel ou modifiés par l'utilisation des terres, situation expérimentale fournissant les meilleures chances de repérer l'origine des flux et de suivre leurs transferts.

Les critères de représentativité climatique, morphologique, pédologique, floristique, anthropique seront ensuite recherchés à l'échelle régionale centre-américaine, ce qui aboutira, probablement, à retenir 3 ou 4 situations expérimentales suffisamment tranchées.

Le produit de cette recherche permettra de fournir aux Instances Gouvernementales responsables de l'utilisation des ressources naturelles:

-Des règles de gestion pour conserver aux milieux exploités un maximum de potentialité permettant une production soutenue,

-des avertissements concernant les risques encourus au niveau des milieux naturels actuellement en équilibre et dont l'exploitation est envisagée,

-des recommandations permettant de restaurer, si possible, les milieux dégradés par une surexploitation, ou une exploitation mal conduite, leur ayant imposé des contraintes excessives.

Cette recherche aura, d'emblée, une dimension régionale tant en ce qui concerne l'implantation des sites expérimentaux que pour ce qui est de la formation des étudiants-chercheurs, jusqu'à un niveau leur permettant de constituer ultérieurement des équipes capables de poursuivre cette recherche régionale.

La situation des programmes "Casamance" ne paraissant pas satisfaisante, une réorientation des travaux a été imposée par le responsable de l'UR début 88. Il a été décidé de focaliser la totalité des moyens humains et matériels sur l'étude de la vallée de Djiguinoum qui a été englobée dans le programme bas-fonds.

#### **ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

Phase de démarrage. Affectation de COLLINET au CATIE en avril 89.

**PROGRAMME 2B B6****ETUDE DE LA VALLEE DE DJIGUINOUM  
(BASSE CASAMANCE).****EQUIPE.**

ALBERGEL, BERNARD, BRUNET, MONTOROI, ZANTE, +équipe ISRA.

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Les années sèches du début de la décennie ont provoqué de graves bouleversements du milieu naturel de Casamance. La sursalure et l'acidification des sols entraînent une disparition progressive de la riziculture qui était la principale ressource de la région. La politique initiale de grands barrages anti-sel ayant échoué (faible dessalement des sols mais très forte acidification), les populations locales ont réagit devant cette situation et ont favorisé l'édification de petits barrages anti-sel avec l'appui de financements extérieurs.

L'ISRA et l'ORSTOM travaillent en basse Casamance depuis plusieurs années sur des projets conjoints. Ceux-ci ont permis de faire le point sur les conséquences de la sécheresse dans la région et d'élaborer les premières recommandations sur une stratégie d'aménagement. Les études précédentes ont montré que la vallée de Djiguinoum était représentative des problèmes posés en Casamance. Un petit barrage anti-sel y a été construit par la population locale avec l'aide du PIDAC (Projet Intégré de Développement Agricole de la Casamance), mais constitué de batardeaux peu maniables son efficacité était faible.

Dans le cadre du programme d'étude des bas-fonds de l'Afrique de l'ouest, financé par la CEE, il a été décidé de retenir cette vallée de Djiguinoum comme un des sites de recherche. Cette recherche, qui se veut très appliquée, nécessite cependant en amont des études fondamentales.

La mise au point des aménagements anti-sel, l'optimisation de leur gestion et le contrôle de leur influence sur la chimie des sols qui sont les produits attendus de cette recherche nécessitent de connaître les phénomènes physico-chimiques qui régissent les transformations du milieu.

## ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.

La caractérisation pédologique du bas-fond de Djigui-noum a été effectuée en 1988. Elle met en évidence les points suivants

.Les sols et les eaux de nappe sont très acides et très salés,

.deux types de sols sont représentés: les sols hydromorphes et les sols sulfatés acides.

Le nouveau système de vanne du barrage anti-sel (remplacement des batardeaux par une porte pleine actionnée par une crémaillère), s'est révélé plus efficace pour l'évacuation des eaux salées en début d'hivernage. Le dispositif étant néanmoins insuffisant pour évacuer la totalité du volume nécessaire au maintien d'un niveau d'eau correct à l'amont du barrage, 2 nouvelles portes seront ajoutées en 89.

Un réseau de 40 piézomètres, mis en place en 87, s'est révélé insuffisant pour caractériser la forme de la nappe sur l'ensemble de la vallée. Ce réseau doit être densifié, avec notamment plusieurs transversales remontant jusqu'aux plateaux.

## PERSPECTIVES.

En plus de l'amélioration du système de vannes et du réseau piézométrique, deux nouvelles stations hydrométriques, un réseau pluviométrique et deux parcelles de ruissellement (50 m<sup>2</sup>) destinées à quantifier les apports d'eau douce venant des plateaux et de la mi-versant seront implantés en 89.

L'année 89-90 doit voir une intensification des mesures sur les casiers rizicoles expérimentaux (où les essais faits en 88 ont partiellement échoués, faute de suivi). On y suivra non seulement l'aspect agronomique: essais variétaux, aménagements différents pour le drainage; mais aussi l'aspect géochimique: mesure de la salure et de l'acidité sur chacun des casiers en fonction de la gestion du barrage. Chaque casier sera équipé d'un piézomètre permettant le suivi de la profondeur et de la chimie de la nappe. Une expérimentation de desalement sous pluie simulée est prévue fin 89-début 90, sur les casiers billonnés, afin de déterminer la quantité de pluie nécessaire pour descendre la salure de la frange supérieure du billon au dessous du seuil de toxicité pour le riz.

La carte pédologique du bas-fond étant déjà faite, une caractérisation fine de quelques toposéquences sera entreprise en 89 et la carte pédologique complète de l'ensemble du bassin, sera dressée en 90.

**BIBLIOGRAPHIE.**

- BRUNET D.-1988- Etude pédologique de la vallée de Djiguinoum (basse Casamance). ORSTOM, Dakar, multigr., 28 p., 2 cartes, + annexes.
- BRUNET D.-1989- Dessalement des sols dans la vallée de Djiguinoum (basse Casamance). Estimation des débits hydrique et salin de l'hivernage 88. ORSTOM, Dakar, multigr., 7 p. + annexes.
- BRUNET D.-1989- Evaluation des surfaces dégradées de la vallée de Djiguinoum (basse Casamance) en mars 88 à l'aide de cartes monoparamétriques. ORSTOM, Dakar, multigr., 6 p., 9 cartes, + annexes.
- MONTOROI J.P., ALBERGEL J.-1989- Programme CEE DG XII. Réunion de Ouagadougou, 10-12 mai 1989. Présentation du programme Casamance. ORSTOM, Dakar, multigr., 11 p.

**PROGRAMME 2B B9****DIMENSIONNEMENT ET GESTION DE PETITS  
AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES DU SUD BRESIL.****EQUIPE.**

CHEVALLIER + équipe IPH (Porto Alegre)

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Les régions basaltiques du sud Brésil présentent des conditions de sol, de topographie et de pluviométrie favorables au développement d'activités rurales. L'agriculture s'y est rapidement développée. Cela s'est malheureusement fait de façon anarchique.

Le déboisement à outrance, la mécanisation systématique, l'utilisation incontrôlée de produits chimiques et la quasi monoculture du soja pendant les vingt dernières années, ont conduit à une situation critique caractérisée par:

- .l'exacerbation des crues et des étiages, déjà très marqués naturellement,
- .une accélération notoire de l'érosion des sols,
- .la détérioration de la qualité des eaux.

Des efforts sont en cours pour enrayer cette tendance (conservation des sols, développement de la petite hydraulique, diversification des cultures), mais ils sont encore timides, désordonnés et se heurtent, dans leur systématisation, au manque de méthodologies simples, capables de remédier à l'absence de données hydrologiques pour les petits bassins versants (< 1000 Km<sup>2</sup>).

Par ailleurs, des recherches menées, de 1978 à 1987, par l'UFRGS en association avec l'ORSTOM ont permis:

- .de réunir des informations sur la distribution des pluies, des sols et des caractéristiques topographiques de petits bassins,
- .d'identifier deux bassins représentatifs correspondant aux deux paysages caractéristiques de la région (plateau et flancs de vallée),
- .d'acquérir l'expérience de la mesure de sédiments et de l'opération de petits bassins versants à flancs de vallée.

A partir de ces acquis, il reste à mettre au point des instruments qui, à partir des pluies, permettront:

d'une part de connaître les débits et les apports de sédiments requis pour dimensionner de petits ouvrages hydrauliques

et d'autre part, de gérer l'utilisation des eaux et des sols.

#### METHODOLOGIE.

Recueil des données de base et validation des instruments, objets de la recherche, sur le bassin représentatif du Potiribu (550 Km<sup>2</sup>), puis généralisation à la région en menant les travaux sur trois fronts:

-Détermination des débits liquides et solides produits par les averses isolées interceptées par des surfaces élémentaires de deux types:

\*"spots" (spot+plot) couvrant de 1 à 100 m<sup>2</sup>, qui permettront de caractériser les réponses hydrosédimentologiques des sols, pour divers états de surface;

\*bassins versants de premier ordre (BV1). Couvrant en moyenne 2 Km<sup>2</sup>, ces bassins sont tels que la contribution de leur réseau de drainage à la production de sédiments est négligeable par rapport à celle des versants.

Les réponses de ces cellules élémentaires seront obtenues par mesure directe de la pluie et des débits liquides/solides. Dans le cas des spots, on fera usage du minisimulateur de pluie.

-Estimation des débits liquides et solides à l'exutoire de bassins couvrant 20, 100 et 500 Km<sup>2</sup> à l'aide de modèles mathématiques déterministes à discrimination spatiale utilisant pour cellules élémentaires les BV1. Diverses fonctions de transfert d'eau et de sédiment dans le réseau de drainage seront expérimentées. La validation sera obtenue à partir de la mesure des pluies sur le bassin représentatif, de celle des débits liquides en 4 stations et des débits solides à 2 stations.

-Evaluation de l'occupation des sols par télédétection en vue d'identifier les types de fonctions de production élémentaires à utiliser hors du bassin représentatif. On utilisera les données satellitaires LANDSAT TM, couvrant le bassin représentatif et ses abords, avec pour surface-pilote de référence le bassin versant de 20 Km<sup>2</sup>.

Le bassin représentatif sera équipé de 20/30 stations pluviométriques, 8/10 stations hydrométriques et 6/8 stations sédimentométriques, localisées de façon à pouvoir étudier l'effet d'échelle sur les fonctions de production.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

Ce programme jusqu'à présent à l'état de projet, se voit peu à peu précisé et rentre en phase opérationnelle. Il démarrera pleinement lors de l'affectation de CHEVALLIER à Porto Alegre fin 89. L'équipe brésilienne a commencé, fin 88, l'installation des bassins versants et leur reconnaissance topographique et pédologique, après que les sites aient été identifiés lors d'une mission de CHEVALLIER en octobre 88. De plus les discussions ouvertes, dans le cadre du programme Hyperbav, sur les outils de modélisation, seront probablement d'un grand intérêt pour ce nouveau programme.

**PERSPECTIVES.**

Ce programme est prévu sur trois années, mais un bilan de la collaboration avec l'IPH devrait être fait mi-91, pour évaluer l'opportunité de poursuivre ou non.

**BIBLIOGRAPHIE**

CHEVALLIER P.-1988- Rapport de mission au Brésil (15-31 octobre 1988). ORSTOM, Montpellier, 14 p.

**PROGRAMME 2B B12****EVOLUTION DE LA SALURE DES PERIMETRES IRRIGUES  
EN TUNISIE.****EQUIPE.**

JOB, LOYER (pp)

**JUSTIFICATIONS, OBJECTIFS, PRODUITS ATTENDUS.**

Le développement de l'irrigation en Tunisie se fait, dans la très grande majorité des cas, dans des zones déjà salées, avec des eaux chargées en sels (de 2 à 6 g/l). La culture n'est possible que si les pratiques agronomiques n'augmentent pas la salinité initiale des sols.

Les résultats obtenus, dans le cadre du laboratoire sols salés de Montpellier, sur la mise au point de la technique de mesure par conductivimétrie électromagnétique, permettent aujourd'hui, d'envisager la mise en place en Tunisie d'un réseau de surveillance de la salinité des sols des principaux périmètres irrigués du territoire avec:

- Formation des brigades de mesure sur le terrain dans les différents laboratoires d'arrondissement.
- Installation d'une cellule centrale de traitement informatique des données.
- Edition des résultats.
- Interprétation.

Une vingtaine de sites représentatifs ont été choisis, en fonction du type de sol, de salinité et de l'environnement bioclimatique. L'évolution de la salinité y sera suivie par CEM et mesures classiques de laboratoire.

**ETAT D'AVANCEMENT ET RESULTATS OBTENUS.**

Ce programme vient de débiter avec l'affectation de JOB en Tunisie début 89.

**PERSPECTIVES.**

Cette opération de mise en place du réseau devrait prendre 2 à 3 ans en Tunisie. Si le support d'un financement CEE est obtenu il permettra d'élargir le programme selon le schéma suivant :

1ère phase : mise en place du réseau tunisien avec séminaires de formation sous l'égide de l'ACSAD, pour d'autres pays de la ligue arabe intéressés : Qatar, Maroc, Arabie Séoudite, Emirats.

2ème phase : transfert dans ce ou ces pays, des résultats acquis et constitution avec les supports logistiques et personnels locaux, de réseaux de surveillance nationaux.

Pays et organisations actuellement intéressés par le projet : ORSTOM, ACSAD, IRNA Séville, Direction des Sols de Tunisie, Agro Meknès, Ministry of Agricult and Industry du Qatar.

**BIBLIOGRAPHIE.**

- BEN HASSINE H., HACHICHA M., JOB J.O., LOYER J.Y.-1988- La conductivimétrie électromagnétique. Application au suivi de la salinité des périmètres irrigués de Tunisie. ORSTOM, Minist. de l'Agric. D.C. Tunis, 22 p. dactyl.
- JOB J.O.-1989- Suivi de la salure des périmètres irrigués en Tunisie. Compte rendu de mission préliminaire et propositions de programme. ORSTOM, Tunis, multigr., 14 p.

**PROJET DE RECHERCHE POUR UNE EQUIPE "MILIEUX  
SALES" AU SENEGAL**

**PROPOSITION DE PROGRAMME.**

**P. BOIVIN**

La constitution d'une équipe de recherche sur les milieux/sols salés au Sénégal doit être centrée sur des objectifs de développement concrets, et de portée nationale.

La mise en valeur de la vallée du fleuve Sénégal, placée sous la responsabilité de l'OMVS, est, de toute évidence, l'enjeu principal de cette recherche pour les années à venir.

La vallée du fleuve Sénégal doit être le cadre principal des activités, l'OMVS le partenaire privilégié. La définition d'un programme de recherche appliquée, financée par un contrat de recherche peut alors être la base constitutive d'une équipe, à partir de laquelle seraient développés certains thèmes de recherche plus fondamentaux, en collaboration avec d'autres laboratoires.

Enfin il faut préciser que la recherche nationale Sénégalaise est en mesure de jouer un rôle dans un projet de recherche appliquée, et que sa participation s'impose donc dans la mesure où les responsables concernés le souhaitent.

Dans cet esprit, le présent rapport est divisé en deux parties :

- une première partie tente de définir quels seraient les projets de recherche appliquée faisant l'objet d'un contrat de recherche, base des activités de l'équipe. Cette partie se limite à l'intervention d'une équipe "sols et eaux". L'intervention d'autres disciplines est évoquée (agronomes --> MAA, ISRA ??; Hydraulique et machinisme agricole --> ISRA ?, Socio-éco..?);

- une deuxième partie tente d'esquisser de façon plus générale les thèmes de recherche que nous serions en mesure de développer, avec quels moyens et quels partenaires.

## PREMIERE PARTIE :

Proposition de recherche pour la mise en valeur des sols de la vallée du fleuve Sénégal.

## Avant projet

L'OMVS a, en matière de mise en valeur des sols, deux préoccupations majeures nécessitant la mise en oeuvre d'un programme de recherche :

(1) Dans le cadre de la culture de décrue (haute et moyenne vallée), et avec le souci d'optimiser la gestion des ressources en eau, l'OMVS souhaiterait connaître les temps de submersion nécessaires à la reconstitution de la réserve en eau des sols, avant culture.

(2) Dans le cadre des périmètres irrigués (actuellement basse vallée), il est nécessaire d'acquérir une maîtrise des risques de dégradation physico-chimique des sols et des nappes exploités : salinisation, alcalinisation, autres risques (accumulation de pesticides notamment).

Le sujet (1) est perçu comme le plus urgent, à aborder dès 1990. Il fait appel à des aspects divers de la recherche pédologique :

- cartographie, connaissance de la variabilité spatiale à différentes échelles des paramètres pertinents;
- suivi de l'état hydrique des sols, à l'échelle de la parcelle et du profil de sol, en temps réel;
- modélisation éventuelle du fonctionnement hydrodynamique, en milieu fissuré.

L'ORSTOM possède actuellement la technologie et les compétences pour aborder ces divers aspects, nous en donnerons le détail ci-après.

Le sujet (2) est ressenti comme moins urgent. Son étude fait appel aux mêmes spécialistes que (1), dans un milieu mieux contrôlé. L'étude devient cependant plus complexe : les problèmes des transferts de solutés et de la relation sol/soluté s'ajoutant aux précédents.

Là encore, l'ORSTOM possède une expérience lui permettant d'engager une action.

Dans la suite du texte, nous présenterons successivement quelle pourrait être la teneur des programmes de recherche abordant les points (1) et (2), ainsi que des indications sur les durées de ces programmes et les moyens à mettre en oeuvre.

1-1 Cultures de décrue : maîtrise de la réserve en eau du sol.

1-a) Problème posé

L'une des utilités du barrage de Manantali sera de permettre la réalisation de crues artificielles contrôlées, en remplacement des crues naturelles. Cette fonction vient en concurrence, en termes de cubage d'eau consommée, avec les autres fonctions du barrage. Une gestion économique des crues artificielles est donc souhaitable.

De plus, les études concordent pour montrer que la qualité des cultures de décrue est fonction de la précocité du retrait des eaux.

Concrètement, pour le gestionnaire du barrage, il importe donc de connaître avec le plus de précision possible la durée de submersion nécessaire à la reconstitution de la réserve en eau des sols qui seront cultivés.

Les études disponibles à ce jour ne sont guère précises. Si une durée minimale de quinze jours est admise, la durée optimale fait en revanche l'objet des propositions les plus diverses. A ces données, deux résultats font défaut : la définition d'une relation, type de sol/durée optimale de submersion, et la définition d'une méthode de diagnostic de la réserve en eau des sols en temps réel.

1-b) Programme proposé

A terme, le programme de recherche que nous proposons doit permettre de résoudre ce problème, en rassemblant les éléments de réponse suivants :

(a) - caractérisation des paramètres pédo-hydriques déterminant la recharge en eau des sols inondables, caractérisation de la variabilité de ces paramètres à l'échelle de la parcelle (stratégie d'échantillonnage) et de la vallée (cartographie);

(b) - mise au point d'un dispositif ponctuel de mesure de la recharge en eau du sol, élaboration simultanée d'un dispositif d'échantillonnage permettant la spatialisation de la mesure ponctuelle, proposition d'un système de suivi automatisé;

(c) - élaboration d'un modèle prévisionnel de la recharge en eau des sols, prenant en compte l'état des sols avant submersion;

(d) - proposition de schémas d'aménagements facilitant la gestion de l'eau, par la délimitation d'unités de sols présentant une relative homogénéité par rapport à la reconstitution de leur réserve utile.

## 1-c) Calendrier des actions

L'ensemble du projet doit pouvoir se dérouler sur quatre à cinq ans, avec une échéance intermédiaire pour certains résultats. Géographiquement, les sites d'études pertinents seront à déterminer en accord avec l'OMVS, probablement dans la région de MATAM.

Les crues artificielles devant débiter en 1989, nous proposons une mission d'évaluation de quelques jours en mars 1989, accompagnée de quelques mesures sur échantillons non remaniés (laboratoire d'hydro-physique, ORSTOM Bondy), de façon à préciser les données de la bibliographie et fournir, pour la saison des pluies 1989, des indications pour la gestion de la crue.

Les recherches débuteraient ensuite au second semestre 1990.

La partie (a) doit pouvoir être fournie, sous forme de rapport d'avancement des travaux, en juin 1991.

Les points (b), (c) et (d) feront l'objet de rapports annuels, l'ensemble des résultats étant réuni dans un rapport final, fin 1994.

## 1-d) Moyens mis en oeuvre

Les points (a) à (d) supposent la mise en oeuvre de plusieurs spécialités :

- cartographie (a) : une synthèse des cartographies existantes sera réalisée, en examinant leur aptitude à décrire les paramètres déterminant la recharge en eau des sols. Une cartographie des paramètres pédo-hydriques pertinents sera produite;

- géostatistique (a et b) : les cartographies mono-paramétriques seront réalisées en faisant appel aux méthodes géostatistiques. La structure spatiale des variables étudiées sera déterminée de façon à optimiser la représentativité spatiale des mesures : élaboration de schémas d'échantillonnage, contrôle des variances d'estimation;

- simulation numérique des transferts d'eau (c). Cet aspect peut s'avérer très complexe en raison des fissurations et des croûtes superficielles qui affectent les sols avant submersion. Le résultat de ce travail, même approximatif, permettrait d'élaborer des prévisions pour la gestion du barrage, tandis que le point (b) ne fournit qu'un "feed-back";

- délimitations d'"unités de submersion" : cartographie en synthèse des résultats précédents (principalement (a) et (c)), délimitation d'unités de relative homogénéité des caractéristiques pédo-hydriques, pouvant faire l'objet d'une gestion unique de la crue artificielle.

En matière de personnel, la réalisation de ces programmes requiert la présence de trois chercheurs au minimum :

- un pédologue à profil pluridisciplinaire (cartographie, variabilité spatiale, suivi de sites) : points (a) et (d);

- un pédologue spécialisé dans l'étude des courbes de retrait, prenant en charge le point (b);

- un pédologue ou hydrologue spécialiste de la simulation numérique : point (c);

- deux techniciens seraient souhaitables, étant donné les nombreuses expérimentations de terrain et de laboratoire que cela suppose;

- personnel local : deux techniciens (1 terrain et 1 labo).

1-2 Cultures sous irrigation, contrôle de la qualité physico-chimique des sols et des eaux.

1-a) Problème posé

Le développement des cultures irriguées est un des objectifs, à terme, de l'exploitation des barrages de Diama et Manantali.

Sous ces latitudes, l'irrigation pose de sérieux problèmes de qualité des eaux : l'accumulation des sels doit être prévenue par une politique de drainage efficace.

A cet aspect viennent s'ajouter :

- un problème de remontée de nappes salées, ou un problème d'alcalinisation des sols salés, pour les sols de la partie aval;

- un éventuel problème d'accumulation de produits toxiques, notamment de pesticides, pour les secteurs ne disposant pas d'une évacuation naturelle des eaux de drainage.

Enfin, l'optimisation de l'irrigation s'impose également dans un souci d'économie de l'eau.

En résumé, il convient de déterminer les régimes d'irrigation et les modes de drainage assurant l'alimentation en eau de la plante, tout en garantissant une conservation de la qualité physico-chimique des sols et des eaux de nappe.

## 1-b) Programme proposé

Des sites test doivent être sélectionnés, à partir d'une étude cartographique. Les zones d'étude retenues seront à préciser en relation avec l'OMVS. Les sites test devront représenter les diverses situations déjà connues dans la région : sols à risque d'alcalinisation et sols à risque de salinisation d'une façon générale.

Une étude du fonctionnement hydrodynamique des sites test sera alors engagée. Elle doit aboutir au développement de modèles prévisionnels, prenant en compte l'évolution de l'état hydrique et chimique du sol. Ce type de modèle peut être développé à partir du programme "SIMUL".

Parallèlement à ce suivi de sites test, un programme de suivi cartographique de la salure sera développé sur de grandes superficies, à partir de l'expérience acquise à l'ORSTOM en matière de cartographie de la salure par conductimétrie électromagnétique et krigeage.

## 1-c) Calendrier proposé

Cette recherche pourrait débuter en 1990 ou 1991, selon les effectifs disponibles. Le programme pourrait se dérouler sur cinq ans.

## 1-d) Moyens à mettre en oeuvre

- un pédologue généraliste;
- un spécialiste de la simulation numérique des transferts d'eau et de solutés;
- un technicien expatrié;
- un technicien de laboratoire en personnel local.

Ces moyens peuvent être en partie communs à ceux décrits dans le programme "cultures de décrue".

Des collaborations seront certainement aussi le moyen d'aborder les aspects théoriques de l'étude. Citons notamment le laboratoire de G. VACHAUD à l'Institut de Mécanique de Grenoble, avec lequel l'ORSTOM collabore de diverses façons depuis quelques années.

## Conclusion partie I

La mise en oeuvre des deux programmes décrits ci-avant permettra de réaliser la synthèse d'un certain nombre de progrès récents en matière d'étude hydro-pédologique à l'ORSTOM (caractérisation physique des sols par rétractométrie, prise en compte de la variabilité spatiale, techniques d'évaluation et de cartographie de la salure, simulation numérique). Cette synthèse serait immédiatement valorisée dans le cadre de l'exploitation des barrages de DIAMA et MANANTALI.

## DEUXIEME PARTIE : ACTIVITE SCIENTIFIQUE ET STRUCTURE DE L'EQUIPE "MILIEUX SALES"

La première partie définit les activités qui seraient réalisées contractuellement par l'équipe, dans le cadre de la mise en valeur des sols de la vallée du fleuve Sénégal.

Ce contrat est l'occasion de développer ou d'animer une recherche portant sur quelques thèmes dont l'ORSTOM peut se faire une spécialité.

Ce sont :

(a) - la caractérisation physique des sols, particulièrement à partir de la courbe de rétraction telle qu'étudiée par E. Braudeau;

(b) - la prise en compte de la variabilité spatiale et de l'estimation des paramètres physico-chimiques des milieux salés : cartographie thématique des milieux salés;

(c) - la simulation numérique des transferts d'eau et de solutés, en milieu salé, incluant la présence de croûtes superficielles et/ou de macropores;

(d) - le suivi automatique des réserves en eau du sol pour l'optimisation des systèmes d'irrigation et la maîtrise de l'eau.

Le point (c) implique tout particulièrement une collaboration avec des laboratoires tels que l'Institut de Mécanique de Grenoble, travaillant sur les aspects théoriques et numériques du problème.

Le point (a) est actuellement une exclusivité de l'ORSTOM, depuis que E. Braudeau a développé une formalisation de la courbe de retrait, permettant de définir un ensemble de paramètres physiques indépendants (appelés paramètres pédohydriques) et décrivant l'ensemble des états hydriques du sol, microscopiques et macroscopiques, intéressant le pédologue, l'agronome ou le physicien.

Cette nouvelle façon d'étudier la physique du sol doit donc être abordée avec soin et rapidité pour rester une spécialité de la maison. Les applications de la rétractométrie sont à développer :

- en matière d'aménagement hydro-agricole, ou d'irrigation, comme une méthodologie permettant d'évaluer de façon directe l'état hydrique du sol. A terme, cette approche peut remplacer dans de nombreux cas l'utilisation de la sonde à neutrons ou s'avérer opérante dans des situations où l'humidimètre neutronique ne peut pas être employé;

- par rapport à la modélisation des flux hydriques dans les sols. D'une part, la rétractométrie permet de mesurer des paramètres - comme le point d'entrée d'air -, utilisés, à partir de valeurs estimées, dans certains modèles en physique du sol. D'autre part, le fait de définir un paramètre de structure et deux volumes fonctionnels distincts - appelés volumes microporeux et volumes macroporeux respectivement - ouvre de nouvelles perspectives au modélisateurs. Enfin, la mesure directe de paramètres physiques synthétiques : capacité de rétention, réserve facilement utilisable etc., permet d'envisager des cartographies thématiques peu coûteuses et à haute valeur documentaire pour l'aménagiste;

- le développement des points précédents doit être accompagné d'un certain nombre d'études fondamentales sur la méthodologie de mesure et le comportement spatial des paramètres déterminant la courbe de rétraction;

- enfin, les nouveaux paramètres pédo-hydriques ainsi définis doivent être pris en compte dans des essais agronomiques, sur lesquels ils sont susceptibles de jeter un nouvel éclairage.

Le personnel nécessaire à la réalisation de ce programme est décrit en première partie : deux pédologues, deux hydrodynamiciens et deux techniciens. Sur cette base, il serait envisageable d'accueillir des thésards ou des détachements. L'aspect cartographique du deuxième programme de recherche (périmètres irrigués) pourrait faire l'objet de la formation d'un jeune recruté, dont la spécialisation ultérieure pourrait être la géochimie.

Les principales collaborations externes sont à développer avec l'INRA et l'Institut de Mécanique de Grenoble. Cette collaboration peut être formalisée au niveau du contrat de recherche ou développée séparément.

Les collaborations avec l'Institut Sénégalais de la Recherche Agricole sont à rechercher systématiquement, mais cet institut connaît actuellement de sérieuses incertitudes quand à ses orientations et son existence.

L'ensemble des activités que nous avons décrites s'inscrit tout naturellement dans le cadre de la recherche sur les sols salés et l'irrigation à l'ORSTOM, en association avec le laboratoire de caractérisation hydro-physique des sols de Bondy.

Contrairement au précédent, le texte qui suit n'est pas, à proprement parler, la présentation d'un programme de recherche élaboré. Il ne s'agit que de réflexions préliminaires d'un chercheur qui, à l'occasion de son travail, dans le cadre du programme HYPERBAV, a été amené à utiliser les modèles "classiques" de l'hydrologie et qui a pu, ainsi, en apprécier les limites et les déficiences. Tel qu'il est, ce texte nous a cependant semblé être une bonne base de discussion pour une éventuelle définition ultérieure d'un programme de recherche sur ce sujet. C'est à ce titre que nous le présentons.

## **UTILISATION DES MNT POUR LA CONSTRUCTION DE MODELES DISTRIBUES SUR DES BASES PHYSIQUES**

### **APPLICATIONS A LA CES ET A L'HYDROLOGIE**

#### **REFLEXIONS PRELIMINAIRES**

##### **O. PLANCHON**

#### **LES MODELES HYDROLOGIQUES UTILISANT LE RELIEF : RAPIDE TOUR D'HORIZON**

Quelles caractéristiques du milieu faut-il intégrer aux modèles hydrologiques pour dépasser les limites atteintes par des modèles qui utilisent la pluie comme seule entrée ?

Cette question, déjà ancienne, est encore à la base de nombreux développements en matière de modélisation hydrologique. Différentes voies de recherches vont être explorées à l'ORSTOM. Citons en particulier :

-la physiographie : tentative de classification des hydrogrammes unitaires des Bassins Versants Représentatifs et Expérimentaux de l'ORSTOM (Roche 1963) selon divers paramètres physiographiques.

-Les états de surface : utilisation d'une carte d'états de surface

- . pour discrétiser la fonction de production dans un modèle distribué (Girard, Chevallier, 1985)

- . pour pondérer la fonction de production dans un modèle global (Casenave, 1982, en forêt ; Albergel, 1987, au Sahel ; Bouvier, en préparation, en milieu urbain intertropical).

Au cours de ces diverses tentatives, les échecs rencontrés ou les perspectives proposées, après des résultats encourageants, aboutissent très souvent à la prise en compte du relief dans les modèles hydrologiques. Les arguments invoqués se situent à plusieurs niveaux :

- le relief peut être un facteur explicatif déterminant pour les processus hydrologiques. C'est la démarche de Moussa, au LHM, pour la modélisation hydrologique des Gardons d'Anduze ;
- les grands traits morphologiques du milieu peuvent être utilisés comme "paramètres intégrateurs", faciles à mesurer, permettant la prise en compte de fonctionnements différents, autant superficiels qu'internes (Chevalier, 1988, à Booro-Borotou). Le relief n'est alors utilisé que pour la discrétisation du domaine et n'intervient pas forcément dans la description des processus.

La vulgarisation récente des Modèles Numériques de Terrain a permis l'élaboration de plusieurs modèles hydrologiques sur ce thème. Trois modèles hydrologiques ont retenu notre attention :

- Top Model (Beven, Université de Lancaster, UK) utilise un MNT pour calculer un indice de saturation potentielle du sol. Le modèle utilise la loi de distribution de cet indice pour appliquer la théorie des aires contributives variables. Ce modèle a fourni des résultats satisfaisants en zone tempérée (Angleterre, côte est des Etats-Unis, ...) sans calage des paramètres. Notons que la théorie des aires contributives variables est issue de l'étude hydrologique des milieux forestiers (Hewlett et Hibbert, 1967).
- Le Laboratoire d'Hydrologie Mathématique (USTL, Montpellier) utilise un MNT pour spatialiser la fonction obtenue globalement, par la méthode de la DPFT, sur le bassin versant des Gardons d'Anduze. Ce travail respecte la démarche, classique en hydrologie, qui consiste à séparer la fonction de production de la fonction de transfert. Elle est justifiée ici par l'échelle d'étude (500 km<sup>2</sup>) et par le fait que les Gardons sont réputés pour la violence de leurs crues, ce qui est interprété en formulant l'hypothèse que la modélisation des crues passe par une bonne connaissance des mécanismes de transfert.
- SWATC (Morel Seytoux) est un modèle hydrologique qui utilise un découpage des versants (fait sans l'aide de MNT), en facettes uniformes (pente et infiltrabilité en particulier). Le ruissellement est propagé sur les versants par une onde cinématique. La production est calculée sur des bases physiques et nécessite un grand nombre de paramètres hydrodynamiques, souvent inconnus, ou dont la précision peut être mise en doute, en particulier les lois  $K(\theta)$ . La mise en oeuvre du modèle nécessite alors une estimation de ces paramètres par tâtonnement.

## **PARTICULARITES DES ETUDES D'HYDROLOGIE ET DE CONSERVATION DES SOLS AUX ECHELLES FINES**

Aux échelles fines (bassin versant élémentaire ou peu hiérarchisé, versant, parcelle), les mécanismes de transfert de l'eau, le long du réseau hydrographique, sont généralement simples. Les débits mesurés dépendent donc plus des mécanismes de genèse des crues que de ceux de leur propagation. Il n'y a pas de séparation géographique entre les zones de production et les zones de transfert. On peut admettre que la séparation entre fonction de production et fonction de transfert correspond d'autant moins à une réalité physique que l'échelle d'étude est fine, que le réseau hydrographique est simple et que le pas de temps de la modélisation est petit. Des observations de terrain, concernant l'hydrologie de versants, permettent d'ailleurs d'évoquer le rôle de la rugosité du sol pour expliquer l'interdépendance étroite entre production et transfert à l'échelle du versant (Planchon, 1989).

A ces échelles d'étude, le travail de terrain consiste principalement à comprendre les processus, qu'il s'agisse d'hydrologie, pour la genèse des crues, ou d'hydrodynamique pour l'agronomie et la pédologie. A l'issue des travaux de terrains, les mécanismes sont donc souvent connus, ou au moins identifiés ; dans tous les cas, des hypothèses sont formulées à leur sujet. Ceci conduit à une certaine forme de connaissance qui devrait pouvoir être utilisée dans les modèles au même titre que les données numériques.

Ce type d'approche, mené à une échelle fine et aboutissant à une bonne connaissance du terrain d'étude, conduit à deux besoins principaux, pour lesquels la modélisation peut apporter une réponse :

### **- valider des hypothèses de fonctionnement**

L'utilisation de la modélisation, pour tester des hypothèses de fonctionnement, ou comparer diverses hypothèses entre elles, est une démarche suffisamment délicate pour qu'elle puisse être contestée. Il reste que toute hypothèse a besoin d'être validée, et que les expérimentations nécessaires à ces validations ne sont pas toujours réalisables, pour des raisons très variées. La plus commune est que les hypothèses les plus élaborées sont souvent formulées après la phase de terrain, sans possibilité d'y retourner pour mener des expérimentations complémentaires. Les expérimentations nécessaires peuvent, en outre, être trop coûteuses, ou en dehors du savoir faire des personnes susceptibles de l'entreprendre.

Le recours à la modélisation apparaît alors, comme un moyen d'éprouver ces hypothèses, à condition que des générateurs de modèles, performants et souples, soient mis à la disposition des chercheurs. A ma connaissance, il n'existe qu'un seul de ces outils dans le commerce, disponible sur Macintosh. Aucun de ces outils n'a pu être spécialement construit pour les hydrologues.

- prévoir l'effet d'une modification du milieu

Les chercheurs et les aménageurs, travaillant sur la conservation de l'eau et des sols, ont pour objectif de mettre en place des petits ouvrages (barrages souterrains, digues filtrantes ...). La possibilité de prévoir l'effet de ces ouvrages sur des périmètres déjà connus, mais non encore équipés, est un besoin constamment formulé par ces équipes. La question posée est donc : "Comment fonctionnera ce périmètre si je modifie les phénomènes qui en gouvernent le fonctionnement ?". La modélisation reposant sur des bases physiques est une technique susceptible de répondre à ce besoin. Les problèmes de transposition des modèles sont alors abordés, et qui plus est, sous un angle délicat, puisqu'il s'agit en réalité d'une extrapolation : on veut connaître le comportement d'un système, dans des conditions se situant en dehors de celles qui serviront au calage du modèle. Il semble donc en effet que les modèles construits sur des bases physiques sont susceptibles de fournir une réponse plus fiable que les modèles de type corrélatif.

#### PROPOSITION DE PROGRAMME

Ces divers besoins, et l'expérience de la modélisation hydrologique acquise par l'ORSTOM ces dernières années, nous amènent à proposer l'élaboration d'un générateur de modèles hydrologiques distribués prenant en compte le modelé.

L'outil devra permettre la génération de modèles hydrologiques mais aussi de modèles d'érosion. A ce titre, il devra être suffisamment convivial pour pouvoir être utilisé par des chercheurs, non hydrologues et non informaticiens ; en particulier les agronomes et les pédologues spécialistes de la Conservation de l'Eau et des Sols.

La discrétisation consistera à identifier des sous-systèmes dans le domaine à modéliser. Elle pourra se faire de manière interactive, soit sur une carte, soit sur une visualisation d'un Modèle Numérique de Terrain.

La modélisation de chacun des sous-systèmes identifiés pourra se faire de manière interactive par l'utilisation de boîtes à outils ou de macro-instructions.

La validation des paramètres pourra s'effectuer avec des données plus larges que celles actuellement couramment utilisées. En effet, les deux seules méthodes de validation, actuellement envisagées, pour les modèles hydrologiques sont :

-la transposition dans le temps : le modèle tourne sur le même bassin versant mais sur une période différente de celle qui a servi au calage ;

-la transposition dans l'espace : le modèle tourne sur un bassin versant analogue mais différent, et les paramètres sont transposés d'un bassin à l'autre selon diverses règles.

Or la construction d'un modèle distribué revient à simuler des processus physiques, à une échelle d'espace plus fine que celle du système. Ces modèles, une fois calés à l'exutoire, devraient donc obligatoirement être validés à l'échelle de temps et d'espace qui correspond aux processus simulés à l'intérieur du modèle.

Cette possibilité est offerte par exemple par le Modèle Couplé ORSTOM - Ecole des Mines, qui permet la visualisation du niveau piézométrique simulé.

En l'absence de ce type de validation, il est impossible d'affirmer que le modèle, réputé physique, en soit véritablement un, et les conclusions que l'on pourrait tirer sur cette base sont erronées (dire par exemple : "Mon modèle est construit sur des bases physiques et simule correctement les débits à l'exutoire, donc le bassin versant fonctionne comme mon modèle!").

Deux exemples permettent d'imaginer en quoi peut consister une telle validation, et d'évaluer la souplesse des outils qui lui seront nécessaires :

-à Bidi, les cordons pierreux créent des flaques qui ne disparaissent qu'un certain nombre d'heures après l'averse ;

-à Booro-Borotou, le ruissellement n'atteint jamais le bas-fond, sauf en des endroits particuliers et connus, ou en des circonstances exceptionnelles.

Ces faits sont rarement étayés par des mesures quantitatives ; la validation devra donc pouvoir être graphique. Pour cela, le modèle devra pouvoir conserver la trace de son fonctionnement sur des points ou sur des transects choisis à l'avance, et restituer graphiquement cette trace.

## DESCRIPTION DU COEUR DU MODELE

### Choix du type de discrétisation

La nécessité de ne pas dissocier production et transfert, évoquée plus haut comme une nécessité liée, en particulier, à la modélisation des fonctionnements hydriques aux échelles fines, impose des contraintes en termes de temps de calcul.

Les limites entre les mailles d'un modèle maillé n'ont pas de réalité physique, or, dans ce type de modèle, la fonction de transfert consiste justement à transférer de l'eau d'une maille à une autre. De plus, la nécessité d'avoir une discrétisation fine du milieu, impose généralement la création d'un grand nombre de mailles. Le modèle est ainsi amené à répéter un grand nombre de fois les mêmes opérations. Ainsi, les modèles maillés conduisent souvent à une explosion combinatoire, sans qu'il soit facilement possible de réfléchir au niveau de discrétisation nécessaire et suffisant.

Une solution élégante (déjà employée en hydraulique, C.T. Yang, 1980), consiste à réduire le modèle à une seule dimension, selon les lignes d'écoulement. Sur les versants, les lignes d'écoulement sont les lignes de pente. La discrétisation revient donc à choisir le nombre et l'emplacement des lignes de pente caractéristiques, qui séparent des sous-systèmes hydrologiques, ne communiquant pas latéralement les uns avec les autres (par définition, puisqu'ils sont limités par des lignes de pente).

Chacun de ces sous-systèmes peut être modélisé selon une seule dimension, qui est celle de la plus grande pente.

Le MNT est utilisé, dans un premier temps, pour effectuer le découpage en sous-systèmes de manière interactive. Une telle méthode permet de découper le domaine modélisé en un plus petit nombre d'éléments qu'un modèle maillé, pour un respect identique de la physiographie du domaine.

Dans un deuxième temps, la répartition statistique des divers paramètres orographiques de chaque sous-système peut être calculée, et être utilisée comme paramètre. C'est le cas en particulier de la largeur du sous-système, qui peut être exprimée comme une fonction de la distance hydrologique à l'exutoire.

#### Fonctionnement d'un sous-système.

Un sous-système peut être considéré comme une surface inclinée et poreuse. Dans le cas le plus simple, où seul le ruissellement est modélisé, la pluie peut, soit percoler à travers la surface poreuse (infiltration), soit se propager à la surface du système (écoulement superficiel). Il n'y a donc pas de séparation entre la production et le transfert, ni dans le temps, ni dans l'espace, mais deux processus (infiltration et écoulement), simulés simultanément.

Ceci permet d'utiliser la connaissance, acquise sur le terrain, de la réalité de la propagation d'une onde de ruissellement le long des versants (résultats des mini-pièges, par exemple), pour valider cette simulation à l'intérieur même du versant et non pas simplement à l'exutoire.

#### Relations entre les sous-systèmes.

Les sous-systèmes peuvent être juxtaposés (discrétisation de la surface du bassin), ou superposés (prise en compte de plusieurs niveaux à l'intérieur du sol).

Un sous système est alimenté par celui qui est éventuellement situé à l'amont, et alimente celui situé à l'aval. Verticalement, il alimente celui situé en dessous selon les lois de l'infiltration, et est alimenté soit par la pluie, soit par l'infiltration provenant du sous-système situé au dessus de lui.

Les limites latérales des sous-systèmes de chacune des couches peuvent ne pas être les mêmes. En particulier on peut envisager que le système de nappe, dont l'organisation est souvent mal connue, ne soit pas discrétisé aussi finement que les systèmes supérieurs.

#### APPLICATION AUX DONNEES DE BOORO-BOROTOU.

L'équipe HYPERBAV peut fournir à ce programme de recherche un jeu de données très intéressant, dans la mesure où :

-il couvre des échelles régulièrement emboîtées du mètre carré au kilomètre carré ;

-les différentes échelles d'étude ont fourni des données de types très différents : quantitatives, semi-quantitatives et extensives ;

-un MNT au pas de huit mètres a déjà été réalisé ;

-des tentatives de modélisation déjà nombreuses (Chevallier), jointes à une connaissance approfondie du terrain d'étude, ont permis de proposer des hypothèses précises concernant la genèse des crues, et de critiquer de façon constructive les modèles hydrologiques actuels.

Cette connaissance et la qualité de ces données font de Booro-Borotou un jeu d'essai intéressant, qui devra être utilisé en priorité pour tester et mettre au point l'outil de modélisation que nous proposons de construire.

Ce jeu de données est par ailleurs une "monnaie d'échange" précieuse qui va nous permettre d'enrichir notre expérience de modélisation, soit en acquérant de nouveaux modèles, soit en motivant des compétences extérieures à l'ORSTOM, pour le traitement de ce jeu de données sur différents modèles. Deux thèses auront pour objet principal le traitement des données hydrologiques de Booro-Borotou :

-un étudiant de l'Université de Lancaster, contacté à l'initiative de Pierre Chevallier, utilisera Top Model (Beven), cet été, au Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM, à Montpellier.

-une étudiante à l'INRIA, utilisera un autre type de modèle dans le cadre d'une thèse portant sur la valorisation des données SPOT.

La démarche qui peut, dès à présent, être envisagée pour la modélisation de Booro-Borotou est la suivante :

1° Construction des sous-systèmes de versant, en utilisant les données des 4 stations hydrologiques, situées sur les ravines, pour le calage du modèle, et les observations des mini-pièges pour la validation.

2° Construction du sous-système de bas-fond à partir des données de tarissement.

3° Calage des lois de transfert, sur le cours d'eau, en utilisant les données des stations principale et amont.

4° Construction du modèle général du bassin, en intégrant les sous-systèmes déjà construits, calés et validés.

## PERSPECTIVES

Une telle structure informatique peut être utilisée dans des objectifs très différents.

L'organisation en sous-systèmes peut être utilisée indépendamment de la topographie. Cela revient alors à construire un modèle global dont on choisit la structure. L'outil se propose d'être suffisamment convivial pour permettre facilement de construire des modèles de structures différentes. On pourra ainsi tester rapidement la pertinence de la structure choisie pour le modèle, par rapport aux données disponibles.

Cette démarche peut être un préalable utile pour réfléchir au niveau de discrétisation nécessaire et suffisant, adapté au domaine étudié, et aux données dont on dispose. Elle permet également de tester la sensibilité des paramètres choisis pour la discrétisation, en faisant varier, par exemple, la géométrie des différents sous-systèmes.

L'outil, tel qu'il est décrit, est tout à fait adapté à la modélisation des processus d'érosion, sur des parcelles ou sur des petits périmètres. Un de nos objectifs importants, est qu'il puisse devenir un outil privilégié pour la modélisation des ouvrages de Conservation de l'Eau et des Sols.

L'hydrologie des petits bassins versants de la zone soudano-guinéenne est difficile à modéliser, principalement en raison des fluctuations extrêmement rapides des nappes, aussi bien à l'échelle hebdomadaire, qu'à l'échelle de l'averse. Ceci rend par exemple critiquable l'utilisation des modèles hydrogéologiques, basés sur les équations différentielles de perturbation d'un régime permanent, résolues par la méthode des éléments finis (Modèle Couplé ORSTOM - Ecole des Mines). L'utilisation de Top Model, sur les données de Booro-Borotou, apportera, peut-être, une alternative satisfaisante ; dans tous les cas, nos hypothèses actuelles seront précisées et pourront être testées avec cet outil. On peut donc espérer aboutir à une méthode de modélisation satisfaisante de l'hydrologie des bassins versants possédant un système de nappe à fluctuation rapide. Ce résultat est fondamental dans le cadre des programmes de valorisation agricole des bas-fonds (programme PF3 du réseau R3S).

## PROGRAMME DES TRAVAUX

Les objectifs présentés ici ne pourront être atteints par un programme de recherche reposant sur une seule personne. Ils ne pourront pas être atteints en peu de temps. Avant de commencer à construire le générateur de modèles présenté ci-dessus, une réflexion préalable apparaît indispensable. Elle devra être centrée sur deux thèmes :

-éprouver le jeu de données de Booro-Borotou, et en particulier les données concernant les versants, avec des modèles hydrologiques déjà existants.

Deux tentatives apparaissent intéressantes dans cette démarche :

. SWATC, qui utilise une procédure de propagation du ruissellement sur les versants (par une onde cinématique),

. SOURCE, qui offre la possibilité de discrétiser relativement facilement un bassin versant, sans utiliser de grille régulière.

-tester, par des maquettes simples, l'intérêt et la faisabilité des nouvelles méthodes de validation que nous proposons.

Cette réflexion préalable devra se faire en collaboration étroite avec les futurs utilisateurs du générateur de modèle que nous proposons.

Cette première phase des travaux devrait durer environ une année, au terme de laquelle un cahier des charges détaillé pourra être fourni pour le générateur de modèles, si les perspectives restent favorables.

Une année supplémentaire pourra alors être envisagée, pour l'analyse informatique fine du produit, le développement d'une première version et la rédaction de la documentation.

Enfin, l'utilisation de l'outil pour la Conservation de l'eau et des sols pourra être envisagée. Un jeu de données, concernant l'érosion en milieu agricole, devra être trouvé pour mener à bien cette dernière phase, soit qu'il existe déjà, soit qu'il soit acquis à l'occasion de travaux de recherche ultérieurs.

## CONCLUSIONS.

Nous espérons avoir montré, dans ce rapport, la qualité des recherches menées par les équipes de l'UR, malgré le manque relatif de personnel et de moyens financiers, et que les résultats sont à la hauteur des investissements.

Un des principaux problèmes posés par cette UR est, au moins pour son responsable, celui de sa taille. La question que posait déjà, en 1984, P. AUDRY : " Etant donnée sa taille, cette UR est-elle gérable et animable ? " est toujours d'actualité. Ce problème résulte, à notre avis, de :

-l'absence des moyens matériels nécessaires au responsable pour assurer sa mission (secrétariat en particulier), moyens qu'il ne peut prendre sur le maigre budget de l'UR. De ce fait 70 à 80 % du temps qu'il lui consacre est absorbé par des tâches de gestion administrative ceci, bien sûr, au détriment de l'animation, qui devrait être pourtant, sa priorité.

-la dispersion géographique de l'UR qui, plus que sa taille, rend difficile son animation. Celle-ci avec les mêmes effectifs, concentrés en 3 ou 4 implantations, ne poserait pas de problèmes, mais les multiples obligations de l'Institut rendent cette concentration quasi-impossible.

Bien que la taille de l'UR ait, au moins provisoirement, diminuée, elle n'en reste pas moins trop importante pour que nous puissions, raisonnablement, réclamer les adhésions susceptibles de combler les carences disciplinaires constatées. De ce fait l'UR ne peut aller au bout de ses ambitions. Comment étudier les relations eau-plante ou sol-plante, alors que l'UR ne compte, comme botaniste, qu'une allocataire de recherche ? Peut-on prétendre étudier les conséquences de l'anthropisation sans un seul agronome ou un seul représentant des Sciences Sociales ?

Dans ces conditions, peut-être est-il préférable de faire deux UR, de taille plus réduite, mais pouvant se développer plutôt qu'une seule dont les problèmes pratiques limitent la nécessaire croissance. La question qui se pose alors est : sur quelles bases faire cette éventuelle séparation ?

- Milieux naturels-milieux cultivés,
- Zones arides et semi-arides-zones plus arrosées,
- Afrique-Amérique,
- Hydrodynamique-Géochimie.

Le responsable de l'UR souhaiterait obtenir l'avis de la Commission Scientifique sur ces questions : Doit-on, malgré sa cohérence scientifique, séparer en deux l'UR 2B, et si oui, sur quelles bases ?

**O R S T O M**

Direction Générale :  
213, Rue LAFAYETTE - 75010 - PARIS  
Centre ORSTOM de LOME  
B. P. 375 LOME  
République du Togo