



L T H E

Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement

Unité Mixte de Recherches, UMR 5564

CNRS, Département Sciences de l'Univers

Institut National Polytechnique de Grenoble, ENSHMG

Université Joseph Fourier-Grenoble 1, UFR-MECANIQUE

Institut français de recherches scientifiques pour le Développement en Coopération
(Orstom, Département Ressources Environnement Développement)

RAPPORT D'ACTIVITE SCIENTIFIQUE 1995- 1998

PROGRAMME DE RECHERCHE 1999 - 2002



Directeur : **M. VAUCLIN**
Directeur-Adjoint : **J.D. CREUTIN**

SOMMAIRE

ORGANIGRAMME ET COMPOSITION DU LABORATOIRE	1
AVANT-PROPOS	9
ORIENTATION GENERALE DES ACTIVITES DU LABORATOIRE	10
QUELQUES FAITS MARQUANTS	11
RELATIONS EXTERIEURES DU LABORATOIRE	21
RESSOURCES DU LABORATOIRE	30
CONCLUSION ET BILAN SUCCINCT	39
RAPPORT D'ACTIVITE DES EQUIPES DE RECHERCHES	41
1. Transferts en Matériaux Poreux	TMP /1-38
2. Hydrologie de la Zone non Saturée....	HZNS/1-42
3. Hydrométéorologie	HMET /1-38
4. Hydrologie de Surface.....	HSURF/1-42
QUELQUES REALISATIONS TECHNOLOGIQUES. QUELQUES MOYENS DE MESURE D'ANALYSE. QUELQUES RESULTATS	203
LES PERSPECTIVES DU LABORATOIRE	229
LES BESOINS DU LABORATOIRE	241
PUBLICATIONS ET PRODUCTIONS DU LABORATOIRE	

COMPOSITION DU LABORATOIRE

ET

PRESENTATION GENERALE DES ACTIVITES

LABORATOIRE D'ETUDE DES TRANSFERTS EN HYDROLOGIE ET ENVIRONNEMENT

SERVICES ADMINISTRATIFS
<i>Affaires générales :</i> H. RIVAUX (SARex CNRS)
<i>Affaires scientifiques :</i> S. FABRY (80 %) (ADJA UJF)
<i>Comptabilité :</i> O. ARCHINARD (80 %)(CDI/AjA)

DIRECTION
Directeur : M. VAUCLIN
Directeur Adjoint : J.D. CREUTIN

SERVICES TECHNIQUES
<i>Communs Equipes LTHE :</i> S. BOUBKRAOUI (ADJT UJF) F. CAZENAVE (AI Orstom) H. DENIS (AI CNRS) B. GALABERTIER (IE2 CNRS) R. LATY (IE1 INPG) J.M. TAUNIER (IE2 CNRS)
<i>Communs Labos/Ecole/UFR</i> G. JARRIL (ADJT UJF) B. FERROUX (TCS CNRS)

TRANSFERTS EN MATERIAUX POREUX <i>Responsable : J.P. GAUDET</i>	HYDROLOGIE DE LA ZONE NON SATUREE <i>Responsable : R. HAVERKAMP</i>	HYDROMETEOROLOGIE <i>Responsable : J.D. CREUTIN</i>	HYDROLOGIE DE SURFACE <i>Responsable : Ch. OBLED</i>
PERMANENTS			
R. ANGULO -JARAMILLO J.F. DAIAN J.P. GAUDET J.P. LAURENT Y. LEWANDOWSKA J.L. THONY M. VAUCLIN	R. ANGULO-JARAMILLO I. BRAUD S. GALLE J.P. GAUDET J.M. GRESILLON R. HAVERKAMP J.L. THONY G. VACHAUD J.P. VANDERVAERE M. VAUCLIN R. WOUmeni	Ph. BOIS I. BRAUD J.D. CREUTIN G. DELRIEU J.P. LAURENT T. LEBEL Ch. OBLED G.M. SAULNIER J.D. TAUPIN	Ph. BELLEUDY Ph. BOIS J.M. GRESILLON R. HAVERKAMP T. NGUYEN DONG Ch. OBLED G.M. SAULNIER J.P. VANDERVAERE
POST-DOC, VISITEURS LONGUE DUREE, AUTRES			
U. GABRIEL	T. CHEN S. TYLER	S. GUILBAUD (Ater) R. UJLENHOET R. S. SERRAR	F. MOATAR
DOCTORANTS			
P. GERARD MARCHANT A. NETTO C. PALLUD R. PIERITZ S. ROULIER	G. BOULET E. GONZALEZ-SOSA E. SAUBOUA	A. DJERBOUA G. GUILLOT Th. PELLARIN A. WEISSE (KIEFFER)	R. DATIN K. DUROT C. ZAMMIT
P. CRANCON (ext) A. MARTIN GARIN (ext)	J.L. CHOPART (ext) C. DUWIG (ext) S. FERRARIS (ext) F. GANDOLA (ext) B. NDIAYE (ext)	E. BERTHIER (ext) F. RODRIGUEZ (ext)	E. SAUQUET (ext)
STAGIAIRES DEA			
	O. AL SCHIHABI P. LUTZ	K. GUEDOUDOU F. MINISCLOUX J.F. SANCHEZ	N. VERGNOLLE P. VIENOT

CHARGES DE MISSION
<i>Réseau, micro-informatique : B. GALABERTIER, H. DENIS (30 %)</i>
<i>Communication : J.D. CREUTIN - Documentation : R. ANGULO-JARAMILLO</i>
<i>Infrastructure : J.P. LAURENT (Acmo) ; S. BOUBKRAOUI (50 %) - Technologie : J.L. THONY</i>
<i>Séminaire : Th. LEBEL ; Formation 3ème Cycle : G. DELRIEU</i>

LISTE DES PERSONNELS PRESENTS AU 30 AVRIL 1998

PERSONNELS PERMANENTS (présents au LTHE)

CHERCHEURS/ENSEIGNANTS - CHERCHEURS		
		<i>Rattachement</i>
ANGULO JARAMILLO Rafaël	CR CNRS	INPG
BELLEUDY Philippe	PAST	INPG
BOIS Philippe	PR INPG	INPG
BRAUD Isabelle	CR CNRS	INPG
CREUTIN Jean-Dominique	DR CNRS	INPG
DAIAN Jean-François	MC UJF	UJF
DELRIEU Guy	CR CNRS	UJF
GALLE Sylvie	CR Orstom (80 %)	INPG
GRESILLON Jean-Michel	PR Bordeaux 1 (en détachement INPG/Directeur ENSHMG)	Bordeaux 1
HAVERKAMP Randel	DR CNRS	UJF
LAURENT Jean-Paul	CR CNRS	INPG
LEBEL Thierry	DR Orstom	INPG
LEWANDOSWKA Jolanta	MC UJF	UJF
NGUYEN Trieu Dong	MC INPG	INPG
OBLED Charles	PR INPG	INPG
SAULNIER Georges-Marie	CR CNRS	INPG
TAUPIN Jean-Denis	CR Orstom	INPG
THONY Jean-Louis	MC UJF	UJF
VACHAUD Georges	DR CNRS	UJF
VANDERVAERE Jean-Pierre	MC UJF	UJF
VAUCLIN Michel	DR CNRS	UJF
WOUMENI Robert	MC INPG	INPG
PERSONNELS ITA EXERCANT LEURS ACTIVITES AU SEIN DU LTHE		
ARCHINARD Odette	CDI/AJA (ADR, 80 %)	
BOUBKRAOUI Stéphane	ADJT UJF	
CAZENAVE Frédéric	AI Orstom	
DENIS Hervé	AI CNRS	
FABRY Sylviane	ADJA UJF (80 %)	
GALABERTIER Bruno	IE2 CNRS	
GAUDET Jean-Paul	IR1 UJF	
LATY Robert	IE1 INPG	
RIVAUX Hélène	SARex CNRS	
TAUNIER Jean-Michel	IE2 CNRS	
PERSONNELS ITA EXERCANT LEURS ACTIVITES AU SEIN DES SERVICES COMMUNS LABO/ECOLE/UFR.		
JARRIL Georges	ADJT UJF (Atelier)	
PERROUX Bernard	TCS CNRS (Reprographie)	

PERSONNELS PERMANENTS (Scientifiquement rattachés au LTHE)

CHERCHEURS		
		<i>Localisation actuelle</i>
BARBIERO Laurent	CR Orstom	Sénégal
BOIVIN Pascal	CR Orstom	Montpellier
DESCROIX Luc	CR Orstom	Mexique (LTHE au 8/05/98)
ESTEVEs Michel	CR Orstom	Sénégal
HAMMECKER Claude	CR Orstom	Sénégal
LAURENT Henri	CR Orstom	Montpellier
PLANCHON Olivier	CR Orstom	Sénégal
RIBOLZI Olivier	CR Orstom	Burkina Faso
TOUMA Jaoudat	CR Orstom	Montpellier
PERSONNEL ITA		
LA PETITE Jean-Marc	T1 Orstom	Sénégal

PERSONNELS NON PERMANENTS

DOCTORANTS			
		<i>DEA d'origine</i>	<i>rattachement</i>
BOULET Gilles	AMN	MMGE	UJF
DATIN Rachel	Allocataire MENRT	MMGE	INPG
DJERBOUA Abdelatif	Blourse Gvt Franco-Algérien	MFT	INPG
DUROT Katia	Allocataire MENRT	MMGE	INPG
GERARD-MARCHANT	ADEME CEA	Génie des Procédés	UJF
GONZALES Enrique	Bourse Gvt Mexicain	MMGE	INPG
GUILLOT Gilles	Allocataire MENRT	Génie Civil et Minier (Ecole des Mines de Paris)	UJF
NETTO André	Bourse CNPQ/Brésil	Equivalence Master of Sciences	UJF
PALLUD Céline	Allocataire MENRT	Ecosystèmes Continentaux Arides Méditerranéens et Montagnards	UJF
PELLARIN Thierry	Allocataire MENRT	MMGE	UJF
PIERRITZ Romeu	Bourse CNPQ/Brésil	Equivalence Master of Science	UJF
ROULIER Stéphanie	Allocataire MENRT	MMGE	UJF
SAUBOUA Emmanuelle	Allocataire MENRT	MMGE	UJF
ZAMMIT Christian	Allocataire MENRT	MMGE	UJF
WEISSE (KIEFFER) Anne	BDI CNRS	MMGE	INPG

DOCTORANTS EXTERIEURS

		<i>DEA d'origine</i>	<i>rattachement</i>
BERTHIER Emmanuel	Fonctionnaire LCPC Nantes	MMGE	INPG
CHOPART Jean-Louis	Salarié CIRAD Montpellier	Equivalence	UJF
CRANCON Pierre	Allocataire CEA	Processus magmatique métamorphique et volcanologie/Clermont-Ferrand et Lyon	UJF
DUWIG Céline	Bourse Région (Nlle Calédonie)	MMGE	UJF
FERRARIS Stefano	Université Turin	Equivalence Master of Science	UJF
GANDOLA Franck	Allocataire Mines de Douai	Mécanique	UJF
MARTIN GARIN Arnaud	Allocataire CEA	Radioéléments, radionucléides, radiochimie/Univ. Paris XI	UJF
NDIAYE Babacar	Assistant/Université Dakar	Génie Géologique, minier/INPL Nancy - Ecole des Mines Paris.	UJF
RODRIGUEZ Fabrice	Fonctionnaire LCPC Nantes	MMGE	INPG
SAUQUET Eric	Bourse CEMAGREF	MMGE	INPG

STAGIAIRES DEA

		<i>DEA préparé</i>
AL-SCHIHABI Omran	Allocataire d'étude	MFT
GUEDOUDOU Karima	-	MMGE
LUTZ Pascale	Allocataire d'étude	MMGE
MINISCLOUX Fabien	Allocation d'étude	MMGE
SANCHEZ Jean-François	-	MMGE
VERGNOLLES Nicolas	Allocation d'étude	MMGE
VIENOT Philippe	Allocation d'étude	MMGE

POST-DOC - VISITEURS LONGUE DUREE - AUTRES

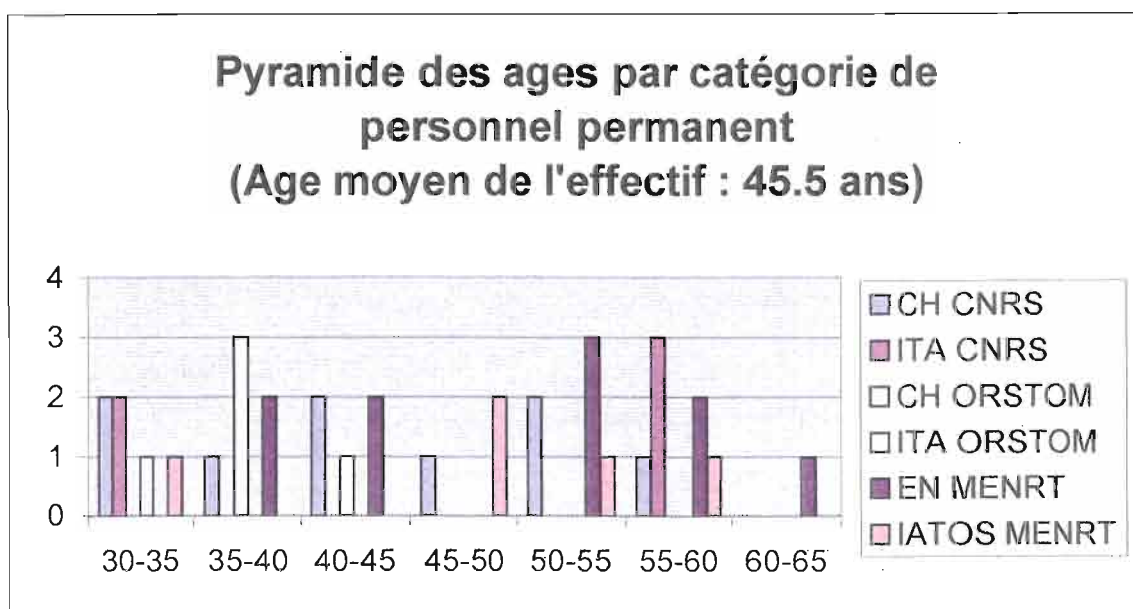
		<i>Statut</i>
CHEN Tao	1/10/95 au 30/06/98	Post-doc/LTHE
GABRIEL Uta	1/01/98 au 31/12/98	Post-doc/LTHE
GUILBAUD Sophie	1/09/97 au 31/08/98	ATER /INPG (50 %)
MOATAR Florentina	1/12/97 au 31/05/98	Post-doc/LTHE
SERRAR Soumia	1/09/97 au 31/12/98	Post-doc/LTHE
TYLER Scott	1/09/97 au 30/06/98	Séjour sabbatique/Prof. Univ. Nevada (Reno)
UIJLENHOET Remko	1/01/97 au 31/12/99	UE-Prog. CHM/Univ. Wageningen (Pays-Bas)

**LISTE DES VISITEURS (1) DE LONGUE DUREE (V)
ET LES CHERCHEURS POST-DOCTORAUX (P)
ayant quitté le laboratoire au 30 Avril 1998**

Nom, Prénom	Etablissement et pays d'origine	V/P	Dates de séjour	
			Début	Fin
AMANI Abou (AUPELF, ORSTOM)	Univ. Mac Gill/Canada	P	1/01/96	20/03/98
BENICHOU Hervé (FCPR)	Météo-France/France	V	1/06/94	31/07/96
BOURAOUI Fayçal	Virgina Tech. Univ./France	P	1/12/94	31/03/98
CAMARA Sekou (AUPELF)	CERES de Rgbané/Guinée	P	27/10/95	26/08/96
CONNELL Lucke	Univ. Monash/Australie	V	8/11/95	21/12/95
CUENCA Richard (CNRS/NSF)	Univ. Oregon/USA	V	23/6/97	31/07/97
ELRICK David	Univ. Guelph/Canada	V	1/06/95	31/7/95
GUPTA Vijay (DRA, CNRS)	Univ. Colorado/USA	V	15/09/96	15/12/96
LEWAN Elisabeth	Univ. d'Uppsala/Suède	V	1/10/96	30/4/97
LUCKE Andreas (UE/CHM)	Institut für Geogrpahie et Géologie/Allemagne	V	1/07/96	31/12/96
MUNOZ-PARDO José (CNRS/ECOS CONYCIT)	UPC-Santiago/Chili	V	13/11/95 27/08/96	28/11/95 23/09/96
SAADI Zakaria (CNRS/CNPRST)	Univ. Kénitra/Maroc	V	30/09/97	4/11/97
SIMMONDS Lester (MESR, Bourse Haut niveau)	Univ. Reading/GB	V	1/05/95	31/08/95
TAMOH Karim (CNRS/CNPRST)	Univ. Kénitra/Maroc	V	1/10/97	31/10/97
THIELEN Jutta (UE/CHM)	Univ. Lancaster/Allemagne	P	1/03/94	31/05/95
TYLER Scott	Univ. Nevada/USA	V	1/09/97	30/06/98
VANCLOOSTER Marnik (UE/CHM)	Univ. Leuven/Belgique	P	1/06/95	30/11/95
VARAS Eduardo (CNRS/ECOS-CONICYT)	UPC-Santiago/Chili	V	25/6/97	20/7/97
VERSIANI Bruno (CAPES/COFECUB)	Univ. Fed. Belo Horizonte/Brésil	V	1/12/96	31/12/97

(1) séjour d'au moins un mois

PYRAMIDE DES AGES PAR CATEGORIE DE PERSONNELS PERMANENTS



	CNRS		ORSTOM		MENRT		TOTAL	
	Nombre	Age	Nombre	Age	Nombre	Age	Nombre	Age
ITA/IATOS	5	46,4	1	32	5	47,2	11	45,4
CH.-ENS/CH	9	44,2	4	39	10	49,4	23	45,5

Avant-Propos

Suite à l'évolution de l'Institut de Mécanique de Grenoble (IMG, UMR 101) vers 4 Laboratoires autonomes, l'ex-groupe **Hydrologie** est devenu au 1er janvier 1992 le **Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE)**, unité bi-appartenante INPG (via l'Ecole d'Hydraulique et de Mécanique) et UJF-Grenoble 1 (via l'UFR de Mécanique), associée au CNRS : URA 1512 du Département SDU avec une évaluation par les sections 10 et 12 du Comité National.

A cette occasion, il a mené une politique de **maintien de services communs** Laboratoires/Ecole/UFR : réseau informatique, imprimerie/visualisation, atelier technologique, documentation scientifique, infrastructure/bâtiments, notamment par la **mise à disposition d'un agent** (ADJT/UJF) à l'atelier et d'un autre (T3/CNRS) à l'imprimerie. Cet engagement vis à vis de la collectivité perdure à ce jour.

La structuration de la recherche au sein des deux tutelles universitaires du Laboratoire l'a conduit à être rattaché au secteur **Mécanique** de l'INPG et au secteur **Sciences de la Terre et de l'Univers** de l'UJF.

Suite aux différentes évaluations et notamment celles des Sections 12 et 10 du Comité National, lors de la session d'automne 1995, le LTHE est devenu UMR 5564 tripartite (CNRS, INPG, UJF) avec prise d'effet rétroactif au 1/01/95 afin d'assurer, dans le cadre du renforcement du partenariat MESR/CNRS/UNIVERSITES le phasage entre le contrat quadriennal de l'INPG et de l'UJF et le contrat d'association au CNRS.

De plus, conformément aux perspectives du Laboratoire énoncées dans son programme de recherche 1996-99 et dans la logique des discussions tenues lors de la réunion de son Comité Scientifique du 6/06/95, la participation institutionnelle de l'Orstom à l'UMR-LTHE avait été envisagée comme un prolongement logique et nécessaire du protocole d'accord scientifique Orstom-LTHE signé le 29/01/91 et renouvelé le 23/02/95 par les partenaires concernés (CNRS, INPG, UJF, Orstom). Le projet, ayant été évalué positivement par les différentes parties prenantes, à l'occasion de la révision à mi-parcours du présent contrat quadriennal, **l'Orstom est devenu à compter du 1/01/97, le 4ème partenaire institutionnel** dans l'UMR-LTHE (avec apports en moyens consolidés) aux côtés du CNRS, de l'INPG et de l'UJF, même si, à ce jour la convention officielle quadripartite n'a pas été signée.

Le présent rapport couvre la **période 95-mi 98**. Il expose un **bilan des activités** du Laboratoire sur cette période de référence, complété par la **liste des productions scientifiques** correspondantes et par le résumé des thèses soutenues. Il présente également les **perspectives et les besoins** pour les 4 prochaines années.

Un rapport documentaire est annexé au présent rapport. Il comprend :

- un descriptif du mode de fonctionnement du Laboratoire et de son implantation géographique au sein de l'ENSHMG
- un point sur les règles « Hygiène et Sécurité » mises en oeuvre
- la liste des principaux équipements scientifiques et informatiques
- la liste des stages de formation suivis par les personnels
- un bilan financier (incluant les moyens consolidés)
- les fiches individuelles d'activité des personnels (enseignants/enseignants-chercheurs) actuellement présents au laboratoire

I - ORIENTATION GENERALE DES ACTIVITES

1. Au niveau de la recherche

Les activités de recherche peuvent globalement être regroupées selon deux grands axes complémentaires :

- Etude des transferts polyphasiques couplés de masse et de chaleur dans les matériaux poreux et des échanges avec leur environnement (eau, air, sol).
- Etude de la phase continentale du cycle des eaux en termes de quantité et de qualité.

Elles revêtent un caractère interdisciplinaire marqué, s'appuyant sur une approche de type "systémique" fondée sur un bon équilibre entre :

- Une activité expérimentale (laboratoire et terrain) importante, mettant en oeuvre des métrologies innovantes (dont certaines sont développées par nos soins) permettant d'analyser, de hiérarchiser et de comprendre les mécanismes mis en jeu.
- Le développement de modélisations mathématiques déterministes ou stochastiques pour simuler et prévoir les phénomènes à différentes échelles spatio-temporelles.

Abordées par voies expérimentale, théorique et numérique, les recherches revêtent aussi bien un caractère fondamental qu'un aspect orienté vers le secteur aval, en liaison avec certaines préoccupations sociétales actuelles (impact de possibles changements climatiques sur les ressources en eau, protection des hydrosystèmes continentaux contre les pollutions diffuses ou localisées, prévision des aléas/risques météorologiques et hydrologiques, caractérisation des barrières de confinement de déchets).

Elles sont réparties en quatre ensembles correspondant aux thématiques des quatre "Equipes de Recherches" travaillant en étroite synergie.

- L'équipe *Transferts en Matériaux Poreux/TMP* (responsable : *J.P. Gaudet*, IR/UJF, Docteur ès-sciences) étudie les transferts couplés de masse (eau liquide et vapeur, substances chimiques inertes ou interactives avec la matrice solide) et de chaleur dans les milieux poreux consolidés (ex. matériaux du bâtiment, pierres, roches) ou non (matériaux granulaires), déformables (argiles) ou rigides (sables) en relation avec une description et une quantification fines de leur topologie interne.
- L'équipe *Hydrologie de la Zone Non Saturée/HZNS* [responsable(s) : *G. Vachaud*, puis *R. Haverkamp*, DR/CNRS] étudie les phénomènes de transferts et de transport dans les couches superficielles des sols pris dans leur contexte pédo-édapho-climatique naturel en interaction avec les aquifères d'une part, l'atmosphère d'autre part. L'accent est notamment mis sur la variabilité du milieu physique aux plans de l'observation et de la modélisation à différentes échelles spatio-temporelles.
- L'équipe *Hydrométéorologie/HMET* (responsable : *J.D. Creutin*, DR/CNRS) étudie à l'aide de différents capteurs (réseaux de pluviographes, radars, pluviomètres optiques, radiomètres satellitaires) et modélise les précipitations atmosphériques et leur variabilité spatio-temporelle qui, à différentes échelles gouvernent différents processus hydrologiques cruciaux (ruissellement, érosion, crues et inondations).

- L'équipe *Hydrologie de Surface/HSURF* (responsable : Ch. Obled, Prof. INPG) étudie le fonctionnement hydrologique et hydrodynamique des versants, des bassins versants et de leurs réseaux hydrographiques en mettant l'accent sur la formation et la modélisation des écoulements superficiels et de leur qualité physico-chimique ainsi que sur leur propagation dans les chenaux naturels ou artificiels.

On trouvera, par la suite, les résultats les plus importants obtenus par chacune d'entre elles.

2. Au niveau de la formation à et par la recherche

Sur la période de référence, le LTHE a été laboratoire d'accueil de deux Formations Doctorales co-habilitées INPG et UJF : MFT (Mécanique des Fluides et Transfert) et MMGE (Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement, co-habilitation avec ENS-Lyon) avec un flux annuel moyen de **9 stagiaires DEA**

Depuis Octobre 1995, et à la demande du MESR/DSPT3, il est également EAD de la Formation Montpelliéraine "Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental" (1 stagiaire DEA et 1 Doctorant ont été accueillis).

Certains des étudiants et d'autres issus de filières différentes (génie civil et agricole, géologie et hydrogéologie, génie chimique et géochimie, physique théorique et expérimentale, microbiologie, etc...) françaises et étrangères y préparent ensuite un Doctorat. Sur la période de référence **28 mémoires de thèse ont été soutenus** (durée moyenne des thèses **3 ans 1 mois**).

Nous accueillons également de façon **volontariste et régulière des étudiants d'Ecoles Ingénieurs** (17 mois de stages ont été octroyés par le CNRS/SDU), de **maîtrise** et d'**IUT** pour réaliser leur stage de fin d'études (**18 stagiaires/an** en moyenne).

La **quasi-totalité des membres** du Laboratoire (y compris chercheurs CNRS, IR et IE) assurent des enseignements dans différentes filières de formation grenobloise (1er et 2ème cycles de l'Université, ISTG, Ecoles d'Ingénieurs, CUEFA) ou extérieures (Magistère, 3ème cycle, 3ème année d'Ecoles) telles que Nancy (Géologie), Montpellier (ENGREF), Lyon (ENS, ENTPE, UCB-Ecologie microbienne), Rennes (ENSA). Enfin, certains d'entre eux (Ph. Bois, T.D. Nguyen, Ch. Obled, J.L. Thony) pilotent ou participent régulièrement à des actions de **formation permanente** en hydrométrie, hydraulique fluviale, hydrologie et physique des sols, notamment destinées à des auditoires nationaux et/ou européens.

II - QUELQUES FAITS MARQUANTS SUR LA PERIODE DE REFERENCE

1. Au plan des résultats scientifiques

- Développement et validation multi-variables d'un modèle hydromécanique de transferts en milieux poreux **non saturé**, déformable, prenant en compte le caractère 3D et anisotrope de la déformation.
- Généralisation aux milieux déformables, à très faible perméabilité de la théorie classique de l'infiltration 1D verticale initialement développée pour les milieux rigides par l'introduction du concept nouveau de "sorption apparente de la phase solide".

- Mise en évidence expérimentale (laboratoire et terrain) de l'existence quasi-systématique d'un champ bi-modal des vitesses d'écoulement en milieux poreux partiellement saturés invalidant bien souvent les hypothèses sous-tendant l'équation classique de convection-dispersion et pouvant être modélisé par le concept "eau mobile/eau immobile" dont la partition dépend de l'état énergétique de l'eau dans le sol.
- Mise en évidence de l'importance de prendre en compte l'effet Knudsen, dans le calcul (par un modèle multi-échelles de structure poreuse) de la perméabilité au gaz des matériaux partiellement saturés, de très faible porosité.
- Etablissement des bases physiques et unifiées des modèles de conversion "permittivité électrique-teneur en eau des milieux poreux non saturés" considérés comme empiriques jusqu'à maintenant.
- Mise en évidence expérimentale et quantification d'une relation linéaire causale entre flux hydrique dans la zone non saturée du sol et gradient de potentiel électrique induit.
- Aptitude du modèle mécaniste SiSPAT à simuler dans différents contextes pédo-édapho-climatiques, les transferts de masse (eau liquide et vapeur) et de chaleur dans le sol couplés aux échanges biosphère-atmosphère.
- Développement d'approches modélisatrices de type "statistico-dynamique" :
 - des transferts de masse et de chaleur (1D) dans le système sol-végétation-atmosphère
 - du transport hydro-dispersif de substances chimiques dans le continuum zone non saturée du sol (1D)/aquifère (2D)

conduisant à :

- la mise en évidence de la non pertinence dans le cas général (quelles que soient la classe d'écoulement considérée et l'importance de la variabilité spatiale des milieux) du concept de propriétés effectives,
- la remise en cause de la définition classique de la vulnérabilité d'un aquifère à une pollution chimique diffuse.
- Développement et validation multi-échelles d'une modélisation mécaniste distribuée, apte à simuler l'impact des pratiques culturales et/ou d'un changement climatique sur l'évolution quantitative et qualitative de la ressource en eau souterraine.
- Mise en évidence du caractère nécessaire et suffisant d'un paramètre complémentaire pour stabiliser les méthodes de correction de l'atténuation atmosphérique du signal radar, bande X.
- Vérification de la généralité du formalisme d'invariance d'échelle proposé pour décrire la granulométrie des précipitations.
- Mise en évidence du rôle majeur de la diminution du nombre d'événements pluvieux dans le changement de régime pluviométrique, dans la zone soudano-sahélienne.
- Analyse critique des lois classiques de l'hydraulique des écoulements à surface libre et en milieux poreux, sur un versant végétalisé.
- Mise en évidence par l'expérimentation hydro-géochimique et la modélisation du rôle joué par les aires saturées dans la formation des débits de crue, aux échelles du versant et du bassin versant.

- Elaboration d'un indice hydro-pédo-topographique apte à intégrer la variabilité spatiale des sols dans la modélisation TOPMODEL.
- Mise en évidence, en hydrologie nivale de la sensibilité des processus hydrologiques à des entrées spatialement distribuées.
- Aptitude de la Fonction de Production de TOPSIMPL couplée à la Fonction de Transfert DPFT à :
 - simuler les débits à l'exutoire de bassins versants avec la prise en compte des incertitudes sur l'estimation des champs pluviométriques moyens ;
 - à anticiper les débits de 6 à 12 h à l'avance, par l'utilisation conjointe d'un générateur de scénarii de pluies futures.

2. Au plan des innovations méthodologiques

- Mise au point d'une approche de type "dynamique des systèmes" pour l'étude expérimentale et la modélisation des transferts hydro-bio-physico-chimiques dans les sols non saturés. Applications au cycle de l'azote, au devenir des métaux lourds (cuivre, uranium), et des produits phytosanitaires (atrazine) dans l'environnement souterrain (collaborations pluridisciplinaires).
- Prise en compte dans la méthode de reconstitution classique de la distribution porométrique, obtenue par porosimétrie au mercure, du volume piégé, au retrait de ce dernier.
- Développement et tests multi-locaux (laboratoire, terrain) d'une nouvelle méthode (TDR-SSI) de reconstitution des profils in-situ de teneur en eau, à partir de l'acquisition d'un seul signal.
- Développement d'une méthode de détermination in situ des caractéristiques hydro-dispersives des sols non saturés fondée sur l'infiltrométrie multi-disques couplée à des traçages chimiques, à l'utilisation d'un mini-tensiomètre et utilisant un nouveau modèle analytique d'infiltration 3D transitoire.
- Elaboration d'une nouvelle approche de la prévention de la contamination chimique des aquifères, prenant en compte la variabilité spatiale des caractéristiques du milieu.
- Utilisation des concepts de la logique floue pour estimer le degré de confiance à accorder à la solution d'un problème de transport dans la zone non saturée du sol, compte-tenu des imprécisions sur les variables et paramètres d'entrée.
- Développement d'un générateur de scénarii de pluies futures contraint par une prévision synoptique des cumuls journaliers à venir estimés par la méthode des analogues.
- Utilisation de méthodes inverses en algorithmie radar pour l'estimation des Profils Verticaux de Réflectivité.
- Développement d'un algorithme de désagrégation des pluies sahéliennes en sortie des MCGA.

- Elaboration d'une méthode de contrôle en temps réel de la qualité des mesures des paramètres physico-chimiques des eaux fluviales et de détection des erreurs accidentelles ou systématiques.

3. Au plan des innovations métrologiques

- Conception et réalisation d'un appareil portable de terrain, le **FTCM**, pour la mesure in-situ et non destructive de la conductivité thermique des sols en fonction de l'humidité.
- Réalisation de cellules de mesure des propriétés diélectriques de géomatériaux consolidés ou pulvérulents.
- Développement d'une méthode de visualisation des écoulements 2D dans les milieux poreux par fluorescence et analyse d'images associées.
- Développement et validation d'un système de traitement numérique du signal issu des spectro-pluviomètres optiques.
- Développement de systèmes d'acquisition automatique sur sites et de télétransmission de données climatiques et hydrologiques entre sites et laboratoire.

4. Au plan de la valorisation et diffusion des acquis

Elles concernent plusieurs aspects :

a) Production scientifique

Sur la période de référence, l'ensemble des résultats a été valorisé (voir la liste de productions annexée à ce rapport) par :

- **110 publications** parues ou acceptées dans des revues scientifiques internationales à Comité de Lecture dont un grand nombre figure parmi les meilleures de la discipline (voir tableau).
- **12 contributions** à des ouvrages.
- **299 communications** à des congrès et colloques nationaux et internationaux dont : **248** avec Comité de Lecture et Actes à diffusion Publique et **51** avec Actes à diffusion Restreinte (ART, AP et AR respectivement selon la terminologie LABINTEL).
- **28 thèses soutenues** dont 11 en collaboration avec des structures extérieures (par ex. CEMAGREF, Orstom, CETE, CSTB, LCPC, LHF) et dirigées par un membre du laboratoire.
- **2 soutenances de Diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches.**
- **27 mémoires de DEA** et **54 rapports de stages divers** (Ecoles d'Ingénieurs, Maîtrises, IUT, etc..)
- **44 rapports** de recherche (contrats, travaux pour tiers).
- **1 atlas** "Risques de pluies intenses".

Nom de la Revue à Comité de Lecture	Nombre de publications	
	Parues + sous-presse	Soumises
Atmospheric Research	1	1
J. of Applied Meteorology	3	3
J. of Atm. and Ocean. Techn.	3	1
Monthly Weather Rev.	1	1
J. of Geophysical Res.	2	-
J. of Hydrology	35	4
J. of Contaminant Hydrology	2	2
Water Resources Research	13	4
Soil Science	3	1
Soil Sci. Soc. Am. J.	6	1
Geoderma	2	1
Transport in Porous Media	7	-
Agricultural Water Management	2	1
J. of Applied Physics, D	2	-
CRAS, Sciences de la Terre et des Planètes	3	1
Autres (dont revues en langue française)	25 (7)	11 (1)
Total	110	32

Tableau I - Liste des principaux supports des publications scientifiques
(du 1/01/95 au 30/04/98)

[Indice moyen calculé sur 3,33 ans : 1,54/chercheur permanent/an ; 0,77/Ne/an]
[Ne = 1 x Σ Ch.EPST + 0,5 x Σ Ens.Ch. + 0,5 x Σ IR + 1 x Σ post-doc + 0,7 x Σ doctorant(e)s]

b) Développement de logiciels

- orientés "recherche"

- **SiSPAT** Simple Soil Plant Atmosphere Transfers Model (I. Braud, 1996).
- **STEP** Simulation numérique des Transferts d'Eau dans la Pierre des monuments (J.P. Laurent, 1996).
- **TOBAND** Version semi-distribuée de TOPMODEL adaptée à l'hydrologie nivale (Durot et col., 1998).
- **XDQ** Xu-Daïan-Quenard (1997). Calcul des propriétés de transport en milieu poreux par un modèle multi-échelles de type percolation.

- orientés "utilisateurs"

- **HYDRONAP** Calcul hydro-dispersif (2D) en nappe à surface libre (Woumeni, 1998).
- **STORHYX** Outil de prédétermination des débits sur des bassins non jaugés (Grésillon et Daviet, 1997)

- **SYSTEME EXPERT DE CALCUL DES CRUES** (Ph. Bois et E. Varas, collaboration DIHA/LTHE, dans le cadre d'une convention CNRS/CONICYT).
- **TOPSIMPL** Version simplifiée de TOPMODEL adaptée à l'utilisation opérationnelle en prévision hydrologique (Saulnier, 1997).
- **Logiciels divers** de traitement d'images et de visualisation des écoulements en milieux poreux (Pieritz, 1998 ; Gandola, 1998).

On notera qu'il est dans la **politique générale** du Laboratoire de rendre ces outils disponibles au sein de la Communauté Scientifique, sur simple demande, voire, pour certains d'entre eux (en fonction de leur degré d'achèvement) accessibles sur le site Web du LTHE. Il en est de même pour les **bases de données** que nous sommes amenés à élaborer dans le cadre de différentes opérations de recherche.

La même philosophie de mise à disposition incluant éventuellement l'expertise technique prévaut également pour les **équipements "mi-lourds"** (eg. radar, bande X, gamma-densimètre de terrain, systèmes de réflectométrie temporelle, cellules de caractérisation des propriétés hydro-physiques des géomatériaux, porosimètre au mercure) acquis par le Laboratoire sur crédits d'Etat et/ou sur ses ressources propres.

c) Transfert de connaissances vers le secteur socio-économique.

Au-delà de la publication de ses résultats dans les supports scientifiques traditionnels, le Laboratoire s'efforce de les transférer vers les différents acteurs de la Société Civile, intéressés par les applications de ses recherches. A titre d'exemple :

- L'opération de la Côte-Saint André dont les résultats ont montré qu'il était possible de réduire les apports azotés de 30 % environ sans diminution significative du rendement de maïs irrigué. Grâce à la collaboration du Lycée Agricole et du Syndicat des Irrigants de la Plaine de la Bièvre, les agriculteurs de la région ont pratiquement tous adopté cette stratégie.
- L'élaboration d'une procédure de normalisation (AFNOR) du mode opératoire de détermination expérimentale de la conductivité hydraulique des géomatériaux à très faible perméabilité (tels que ceux utilisés sur les sites de stockage de déchets), qui est fondée en grande partie sur nos résultats d'infiltrométrie.
- L'implantation de la méthode de contrôle en temps réel des données de la qualité physico-chimique des eaux fluviales, actuellement réalisée à EDF sur ses sites (notamment nucléaires) de suivis hydro-écologiques.
- Les améliorations apportées à la méthode statistico-dynamique de prévision quantitative des précipitations par une technique de recherche de situations analogues dans le passé sont en cours d'implantation au Service "Ressources en Eau" de l'EDF-DTG/Grenoble.
- La prise en compte par Météo-France (ARAMIS et SCEM) et par l'Institut Suisse de Météorologie des algorithmes de correction de l'atténuation et de l'effet des PVR développés et ce dans le cadre de l'exploitation opérationnelle de leurs réseaux de radars météorologiques.
- Les études menées en zone sahélienne ont fait l'objet d'opérations de "vulgarisation" (notamment par la tenue de séminaires) :

- auprès des forestiers de la région sur la nécessité de ne pas reboiser les espaces nus de la brousse tigrée afin d'assurer une gestion durable de l'écosystème ;
- auprès d'AGRHYMET-Niamey, avec la mise à disposition (après formation) d'algorithmes d'estimation des précipitations par satellite et réseau sol.

5. Au plan structurel

La période de référence a été marquée par :

a) un important mouvement de personnels permanents qui s'est traduit par une croissance de 33% des effectifs. Le tableau ci-dessous, qui dresse le bilan des entrées/sorties, fait apparaître :

	Nom	Statut	Date	Commentaires
<i>Départ</i>	F. BOURAOUI	IE/CDI-LTHE	31/03/98	Recrutement IR/CEMAGREF
	L. FELIX (50 %)	AI/UJF	01/12/95	Retraite suite à CPA
	M. GOSSET	CR/Orstom	01/12/95	En disponibilité
	J.M. GRESILLON	MCF/UJF	01/10/95	PR/Bordeaux 1
	A. POIREL (25 %)	Ing. EDF	30/09/97	Echéance de la Chaire Industrielle EDF/ENSHMG
<i>Arrivée</i>	Ph. BELLEUDY (50%)	PAST/INPG-ENSHMG	01/10/97	Ing. LHF (50 %)
	S. BOUBKRAOUI	ADJT/UJF	01/01/96	Remplacement poste L. FELIX
	L. DESCROIX	CR/Orstom	08/05/98	Retour du Mexique
	B. GALABERTIER	IE/CNRS	21/10/97	Procédure AFIP
	S. GALLE (80 %)	CR/Orstom	01/07/97	En provenance de Montpellier
	J. M. GRESILLON	PR/INPG	01/09/97	Mutation de Bordeaux 1 en cours
	Y. LEWANDOWSKA	MCF/UJF	01/09/97	Recrutement Section 60/CNU
	G. M. SAULNIER	CR/CNRS	01/10/97	Recrutement Section 12/CN
	J.D. TAUPIN	CR/Orstom	08/11/96	Retour du Niger
	J.P. VANDERVAERE	MCF/UJF	01/09/96	Recrutement Section 60/CNU

Tableau II - Mouvement des Personnels Permanents sur la période 1/01/95 - 30/05/98

- une concrétisation satisfaisante, bien que partielle de notre plan de recrutement élaboré dans le cadre du précédent contrat quadriennal,
- le respect des engagements de l'Orstom et des chercheurs concernés, vis à vis de leur affectation à l'UMR-LTHE conformément au projet défini à mi-parcours du présent contrat,

- *une contribution nette* équilibrée entre les différentes tutelles du Laboratoire : CNRS + 2 ; INPG/ENSHMG + 2 (1,5 ETP), Orstom + 2 (1,8 ETP), UJF + 1 (1,5 ETP).

b) une politique volontariste d'échanges de chercheurs confirmés [voire de Doctorant(e)s] et **d'accueil** (ou de placement) de post-doctorant(e)s qui s'est traduite par :

- la participation du Laboratoire à plusieurs **réseaux de recherche et d'enseignement** :
 - Programme Capital Humain et Mobilité/UE-DG XII avec les réseaux :
 - WEEL (Water Environment European Laboratories) : 1 post-doc (J. Thielen)
 - EUGREP (European Groundwater Research Program) : 4 post-docs (F. Bouraoui, T. Chen, A. Lucke, M. Vanclooster)
 - HYDROMET (HYDROMETéorologie radar) : 2 post-docs (S. Serrar, R. Uijlenhoët)
 - Programme ERASMUS/SOCRATES "Hydrologie et Ressources en Eau" (4 stagiaires).
- l'accueil de **visiteurs "longue durée"** (pour un total de 115 mois) rendu possible par le soutien financier de l'Orstom, du MENESR/Bourse de Haut-Niveau, du CNRS,/Chercheur Associé et de l'AUPELF/UREF notamment.
- l'essaimage de **doctorants dans des structures étrangères** [CCR/UE-Ispra (1), EPF Lausanne (1), Universités de Lancaster (1), d'Oslo (1), Copenhague (1), Leuven (1) et Melbourne (1)] et **françaises** [BRGM (2), INRA (1), Météo-France (2), Université de Montpellier (1)] pour des séjours post-doctoraux.
- les **détachements** de I. Braud (8 mois) et de J.F. Daïan (6 mois) auprès de centres étrangers de recherches pour des séjours sabbatiques.
- l'établissement de **conventions d'échanges** avec :
 - *le Brésil* :
 - i) Convention CNRS/CNPq sur les thèmes : "Etude des transferts en milieux poreux non saturés" et "Développement de techniques de reconstruction pour l'estimation des propriétés de transport en milieu poreux". (Responsable : J.P. Laurent - accueil de 2 doctorants).
 - ii) Accords CAPES/COFECUB sur le thème "Ressources en eau et en sols". (Responsable : Ph. Bois, accueil d'un doctorant).
 - *le Chili* : Convention CNRS/CONICYT et accords ECOS sur le thème "Hydrologie quantitative et qualitative". (Responsables : Ph. Bois et M. Vauclin).
 - *le Maroc* : Convention CNRS/CNCPST et Action Intégrée France-Maroc sur le thème "Transport de solutés dans les sols". (Responsable : J.P. Gaudet).
 - *les USA* : Convention CNRS/NSF sur le thème "Stratégie d'interprétation des caractéristiques hydrodynamiques des sols dans les modèles hydrologiques, exploitation des bases de données EFEDA et HAPEX-Sahel". (Responsable : R. Angulo-Jaramillo).

- *l'Autriche* : Action Intégrée/MAE "Amadeus" sur le thème "Modélisation de l'influence des pratiques agricoles sur la qualité des ressources en eau souterraine". (Responsable : G. Vachaud).
- *l'Espagne* : Action Intégrée/MAE "Picasso" sur le thème : "Méthodes hydrométéorologiques pour la prévision quantitative de la précipitation journalière". (Responsable : Ch. Obled).

On notera que ces échanges se traduisent par de nombreuses publications communes (voir tableau des collaborations internationales et liste des productions).

c) la forte implication de plusieurs membres du laboratoire dans la structuration nationale de l'effort et de l'offre de recherche dans le domaine de l'hydrologie prise en sens large et "moderne" du terme : étude du cycle continental de l'eau (incluant ses différentes composantes) et des flux couplés (énergie, solutés, gaz, sédiments), notamment au travers des Programmes :

- CNRS/PIR.Environnement Vie et Société (G. Vachaud)
- INSU : ex DBT II "Erosion et Hydrologie " (G. Vachaud, M. Vauclin)
ex PEGI (J.P. Gaudet) et PROSE (M. Vauclin)
- Orstom : Variabilité climatique/Programme CATCH (Th. Lebel)
- Nationaux : PNRN/Risques Hydrologiques (Ch. Obled), PNRH (M. Vauclin).

6. Au plan contractuel

Les faits suivants peuvent être mis en exergue :

a) Le laboratoire assure la maîtrise d'oeuvre de conventions INPG-UJF-CNRS avec :

- le CSTB pour l'étude des transferts dans les matériaux poreux consolidés et leur caractérisation microscopique (Responsable : J.P. Laurent).
- le **Consortium** Lycée Agricole-Ferme Expérimentale-Centre de Formation Professionnelle des Adultes-Syndicat d'Irrigation de la Côte St. André pour les études menées dans la Plaine de la Bièvre (Responsables : G. Vachaud, M. Vauclin). A noter que cette convention inclut un volet "**formation**", niveau BTS, et un volet "**vulgarisation**" auprès des Collectivités locales et des organismes consulaires (Responsable : J. L. Thony).
- le LCPC-Nantes/Division Eau pour l'hydrologie quantitative et qualitative en espaces aménagés (Responsable : J.D. Creutin).
- le CEMAGREF pour l'hydrologie quantitative et qualitative (en cours de ratification). (Responsable : M. Vauclin).

b) La participation institutionnelle de l'Orstom à l'UMR-LTHE, à compter du 1/01/97 avec apports en moyens consolidés (humains, soutien de base) et soutien financier spécifique supplémentaire accordé par le MESR, à l'occasion de la révision à mi-parcours du présent contrat quadriennal.

c) Un renforcement des collaborations locales et régionales liées au caractère interdisciplinaire des activités et à la structuration des recherches environnementales notamment dans le cadre du Pôle Grenoblois d'Etudes et de Recherches pour la Prévention des Risques Naturels, de l'Institut de l'Environnement Grenoble-Chambéry (Directeur : G. Vachaud) du Pôle Universitaire et Scientifique Européen (PUSE) et du XI Contrat de Plan Etat-Région Rhône-Alpes dans les Programmes Fédérateurs "Environnement" et "Risques naturels liés aux inondations".

On notera également, qu'à l'occasion de la révision à mi-parcours du présent contrat quadriennal, le Laboratoire a proposé un **Programme Pluri-Formations** en association avec le LPCV/UJF (Secteur SDV) et le Lycée Agricole de la Côte-Saint André qui a été évalué positivement par le MESR et soutenu financièrement.

d) Le laboratoire est membre au plan national :

- du GDR "EXO-SOLS" [PIR-EVS/sous programme TTEC du CNRS] créé en 1994 pour 4 ans. (Responsable pour le LTHE, J.P. Gaudet) avec comme partenaires les laboratoires suivants : Photocatalyse, Catalyse et Environnement/Lyon, Photochimie moléculaire et macromoléculaire/Aubière, Sciences Analytiques/Villeurbanne, Service Central d'Analyse/Vernaison, Génétique Microbienne/Compiègne, Ecologie Microbienne/Villeurbanne.
- du GDR "FORmations PROfondes" CNRS/ANDRA créé fin 1997.
- du réseau GEO - Géomatériaux, Environnement, Ouvrages - rassemblant des laboratoires universitaires/CNRS d'organismes publics et privés pour réaliser, développer et coordonner des actions de recherche autour des géomatériaux (sols, bétons, roches). (Correspondant LTHE : J.F. Daïan pour le thème "couplage fissuration/dégradation chimique dans les stockages").
- du réseau multi-organismes MEDITE - MEsures DIélectriques de la Teneur en Eau - (animateurs : J.P. Laurent -LTHE/Ph. Revol-Cemagref/Grenoble) mis en place en 1997 par le PNRH pour coordonner les activités de recherche dans le domaine de la métrologie de la teneur en eau des milieux poreux par des méthodes électriques et diffuser les informations/résultats vers les utilisateurs "Recherche et Développement".

e) La participation, à titre d'acteur, à plusieurs programmes de recherches (voir liste des contrats) :

- CNRS : Systèmes Ecologiques et Actions de l'Homme, Transfert, Transport, Ecotoxicologie et Contaminations, Méthodes, Modèles et Théorie du PIR-EVS.
- INSU : ex DBT II "Erosion et Hydrologie", GEOMATERIAUX, PROSE.
- Orstom : Programmes CATCH et SAVANES.
- Nationaux : PATOM, PNEDC/Gewex, PNRH, PNRN/Risques Hydrologiques, PNTS.

f) une forte implication dans les programmes européens "Climatologie et Environnement" du 4ème PCRD : 9 projets dont 4 en cours de réalisation (voir liste des contrats).

III - RELATIONS EXTERIEURES

1. Conférences, colloques

Outre la participation régulière des membres du laboratoire à des conférences, colloques et congrès nationaux et internationaux (voir liste de publications), on notera l'implication de plusieurs chercheurs du Laboratoire dans des manifestations scientifiques internationales, à titre :

a) de membre de comités scientifiques et/ou d'organisation

- Vème International Conference on "Precipitation space-time variability and dynamics of rainfall, Elounda (Grèce), Juin 1995 (J.D. Creutin).
- Colloque International "Eau Souterraine en Région Agricole", Poitiers, Septembre 1996 (M. Vauclin).
- Workshop on "Climate variability prediction, water resources and agricultural productivity", Cotonou (Bénin), Juillet 1997 (Th. Lebel).
- VIème International Conference on "Precipitation", Hawaï, Juin 1998 (J.D. Creutin).
- IVème International Symposium on "The hydrologic applications of weather radar", San Diego, Avril 1998 (J.D. Creutin).
- An advanced study course on "Radar Hydrology for real time flood forecasting", Bristol, Juin-Juillet 1998 (J.D. Creutin).

b) de "convenor" de sessions de la Société Européenne de Géophysique :

- Hambourg'95 (M. Vauclin), La Haye'96 (J.D. Creutin, Ch. Obled), Vienne 97' (R. Haverkamp), Nice'98 (Ph. Bois, S. Tyler, M. Vauclin).

2. Collaborations scientifiques

Le caractère nécessairement interdisciplinaire de la démarche scientifique joint à l'indispensable structuration des efforts et des moyens de recherche nous a conduit à développer un partenariat multiple aux plans thématique, géographique et trans-organismes.

Les principales collaborations internationales et nationales sont synthétisées dans les tableaux III et IV qui indiquent également que la plupart d'entre elles se traduisent par une valorisation des résultats obtenus par des publications/communications conjointes.

Tableau III - Liste des principales collaborations internationales

Nom de l'Institution étrangère	Pays
1°) Institutions avec lesquelles vous avez des publications communes (nombre de publications/communications ART + AP)	
Université de Stuttgart	(-/1) Allemagne
Centre for Agrolandscape and Land Use Research-Muncheberg	(-/2) Allemagne
Université Leuven/Ressources en eau	(-/4) Belgique
Université de Copenhague/Institut de Géographie	(2/-) Danemark
CSIC /IRNAS-Séville	(3/1) Espagne
Université Polytechnique de Catalogne/Barcelone	(2/11) Espagne
Université de Lancaster/CRES	(3/1) Grande Bretagne
Institut d'Hydrologie-Wallingford	(5/-) Grande Bretagne
Université Polytechnique d'Athènes/Ressources en eau	(1/-) Grèce
Université de Bologne/Hydrologie	(1/-) Italie
Centre Commun de Recherche UE-Institut de l'Environnement-Ispira	(-/3) Italie
Université d'Oslo	(2/2) Norvège
Agricultural Univ. Wageningen/Hydrologie et Hydraulique	(2/1) Pays-Bas
Winand Staring Center-Wageningen/Agrohydrologie	(2/1) Pays-Bas
Swedish Agricultural-University d'Uppsala	(2/1) Suède
Ecole Polytechnique Fédérale-Lausanne/IATE	(1/-) Suisse
CSIRO/Physique du Sol-Townsville	(8/1) Australie
Université Monash/CRC-Melbourne	(2/1) Australie
Université Newcastle-Callaghan	(3/8) Australie
Université Fédérale Santa Catarina/Génie Civil	(1/-) Brésil
Université Fédérale Pernambouc/Dept. Energie Nucléaire	(2/-) Brésil
Université de Guelph/Ressources en eau	(2/1) Canada
Université Catholique Santiago/Dept. Hydraulique et Environnement	(2/-) Chili
Université Ibn Tofail/Kénitra	(-/2) Maroc
IMTA - Juitepec	(2/1) Mexique
INRAN - Niamey	(2/-) Niger
Université de Niamey	(4/-) Niger
ICRISAT - Niamey	(1/-) Niger
HortResearch/Environmental Group-Palmerston North	(6/8) Nlle Zélande
Université Cornell/Agric. Eng.-Ithaca	(9/5) USA
Université de Californie/LAWR-Davis	(1/1) USA
Université d'Orégon/Bioressources Eng.-Corvalis	(2/5) USA

2°) Institutions avec lesquelles vous avez d'autres coopérations suivies

Z.I. Bochum	Allemagne
CSIRO/Ecologie-Canberra	Australie
Agence Internationale de l'Energie Atomique-Vienne	Autriche
Université de Vienne/Dept. Hydraulique et Ressources en Eau	Autriche
Université Nationale du Bénin-Cotonou	Bénin
Direction de l'Hydraulique-Cotonou	Bénin
Université Fédérale du Minas Gérais	Bésilil
Université Mac Gill-Montréal	Canada
Technical University-Lingby	Danemark
CSIC/Station Expérimentale-Zaragoza	Espagne
Université Complutense-Madrid	Espagne
Université de Barcelone	Espagne
Université de Reading/Dept. Géographie	Grande-Bretagne
Université de Bristol	Grande-Bretagne
Cranfield University-Silsoe	Grande Bretagne
Agricultural University-Athènes	Grèce
Institut Fort-Heraklion	Grèce
Universités Gênes/Padoue/Turin	Italie
AGRHYMET-Niamey	Niger
DMN - Niamey	Niger
Université de Dakar/Inst. Sénégalais de Recherches Agricoles	Sénégal
Université du Nevada-Reno	USA
Université du Colorado-Boulder	USA

Tableau IV - Liste des principales collaborations nationales

Nom de l'Institution/Laboratoire	Cadre	Nombre	
		PUB	ART et AP
BRGM (Orléans)	ALPILLES (PNTS, PNRH)	-	1
CEMAGREF (Aix en Provence, Grenoble, Montpellier)	PNRN, PNRH, Pôle Grenoblois "Risques Naturels" Thèses en collaboration	4	3
CEMAGREF-ENGREF/LCT Montpellier	Thèse en collaboration/PNRH	-	4
CIRAD (Montpellier, Nouméa, La Réunion).	Réseau MEDITE Thèse en collaboration	-	1
INRA (Avignon, Grignon, Laon, Nancy, Orléans, Rennes)	Suite Hapex-Sahel, ALPILLES (PNTS, PNRH), Projet RIDES (PNRH/PROSE), Observatoire Côte-Saint André.	4	3
LCPC (Eau/Nantes, Matériaux/Paris)	Convention LCPC/LTHE PNRH Thèses en collaboration	7	13
METEO FRANCE (CNRM/Toulouse, CEN/Grenoble, SCEM-Bron)	Suite Hapex-Sahel, MUREX (PNRH) ARDECHE (PNRN, Contrat de Plan Etat-Région) SARENNES (PNRN, PNRH) ALPILLES (PNTS, PNRH) Réseau MEDITE/PNRH Pôle Grenoblois "Risques Naturels" FCPR	7	20
Orstom/Hors UMR-LTHE (Bondy, Montpellier, Nouméa)	Suite Hapex-Sahel Thèses en collaboration Post-doctorats	13	12
CEA (Grenoble, Saclay)	Contrat de recherche Thèses en collaboration	1	4
CSTB/Matériaux (Grenoble)	Convention CSTB/LTHE Thèses en collaboration	2	2
EDF/DTG-Grenoble/DER-Chatou	ARDECHE (Contrat de Plan Etat- Région) Chaire Industrielle Thèse en collaboration	1	8
LHF/Division Numérique (Grenoble)	Projet EUREKA/ISMAP PIR-EVS/CNRS Thèses en collaboration	2	8
Services Techniques des Collectivités locales (Marseille, Seine-St. Denis)	Expérimentation Radar PNRH	-	-
Ecole Centrale de Nantes/Lab. Mécanique des Fluides	PNRH	-	1
Ecole des Mines de Douai	Thèse en collaboration	-	5

CDGA (Bordeaux)	Programme Franco-Allemand des "Monuments Historiques" PNRH Progr. GEOMATERIAUX/INSU	1	2
CEREG (Strasbourg)-SDU/CNRS	B.V. Vosgiens (DBT II, PNRH) Projet RIDES (PNRH/PROSE) Réseau MEDITE/PNRH	-	10
CESBIO (Toulouse)-SDU/CNRS	Suite Hapex-Sahel MUREX (PNRH) Réseau HYDRECO (PNRH)	3	2
CETP (Vélizy)-SDU/CNRS	ALPILLES (PNTS, PNRH) Hydrologie Radar (Contrat de Plan Etat-Région)	-	1
GBE (Montpellier)-SDU/CNRS	PNRH	-	1
IMF (Strasbourg)-SPI/CNRS	PNRH	-	1
IPG Paris/Géomatisme Interne et Paléomagnétisme-Observatoire magnétique national - SDU/CNRS	Programme Franco-Allemand des "Monuments Historiques" PNRH	2	4
IREPD (Grenoble)-SHS/CNRS-INRA	Observatoire de la Côte-St. André XI-CPER	-	2
IUT/Génie Civil (Nantes)	Programme Franco-Allemand des "Monuments Historiques" Prog. GEOMATERIAUX/INSU	1	-
LA (Toulouse)-SDU/CNRS	Suite Hapex-Sahel Groupe PATOM/PNRH	2	-
LAMA (Grenoble)-SHS/CNRS	Pôle Grenoblois "Risques Naturels"	1	-
LBI (Paris)-SDU/CNRS	B.V. Vosgiens (DBTII) Observatoire Côte-St. André Projet RIDES (PNRH/PROSE)	1	5
LEMS (Lyon)-SDV/CNRS	Observatoire Côte-St. André (Contrat de Plan Etat-Région) GDR "Exo sols"/PIR-EVS	-	1
LGIT/Géochimie des Eaux (Grenoble)-SDU/CNRS	Thèses en collaboration	1	-
LMC (Grenoble)-SPI/SPM/CNRS	Prog. UE "ECRASE" PNRH	-	2
Laboratoire Géochimie et Métallogénie (Paris)-SDU/CNRS	PNRH	-	1
LMD (Paris/Palaiseau)-SDU/CNRS	Suite Hapex-Sahel PNEDC Progr. UE "ECRASE"	3	5
LPCV (Grenoble)	Observatoire Côte St. André	2	-
LRMH (Champs/Mame)	Programme Franco-Allemand des "Monuments Historiques" Prog. GEOMATERIAUX/INSU	1	-
SCA-CNRS (Solaize)-SC/CNRS	Observatoire de la Côte-St. André	-	-

3. Participation à des campagnes de mesures sur sites extérieurs

- **Observatoire Rhône-Alpes des Pollutions diffuses la Côte-Saint André** (*Programmes EUGREP et ECRASE/UE-DGXII ; PIR-EVS/CNRS, PNRH, XI Contrat de Plan Etat-Région, Collectivités Territoriales, Chambres Consulaires*) : 2 jours/semaine sur la période 1991-96.
[R. Angulo-Jaramillo, S. Boubkraoui, J.P. Gaudet, R. Laty, A. Netto, B. Normand, L. Pereira dos Santos, R. Schoen, J.M. Taunier, J.L. Thony, G. Vachaud + stagiaires]
- **Bassin Versant du Ringelbach/Vosges** (*Programmes DBT II-INSU et PNRH*) : 7 semaines 1995 et 96.
[R. Angulo-Jaramillo, J.P. Gaudet, J.P. Laurent, J.L. Thony, M. Vauclin, T. Zakri]
 - "Apport de la géochimie isotopie ($H_2^{18}O$) à la caractérisation hydrodynamique des sols non saturés"
- **MUREX/Toulouse** (*Programme PNRH*) : 13 semaines 1994-1997.
[R. Angulo-Jaramillo, S. Boubkraoui, H. Denis, E. Gonzalez-Sosa, R. Haverkamp, J.P. Laurent, L. Pereira dos Santos, S. Roulier, J.L. Thony]
 - "Observation des interactions sol-végétation-atmosphère sur un site (20 ha) de jachère.
- **ALPILLES/Salon de Provence** (*Programmes PNTS et PNRH*) : 27 semaines 1996-1997.
[S. Boubkraoui, I. Braud, H. Denis, E. Gonzalez-Sosa, J. P. Laurent, J.L. Thony, M. Vauclin]
 - "Modélisation des transferts de masse et d'énergie dans le continuum sol-plante-atmosphère sur sol cultivé".
- **Pays de Caux/Bourg-Dun** (*Programmes PROSE et PNRH*) : 2 semaines 1998.
[R. Angulo-Jaramillo, S. Roulier]
 - "Ruissellement, Infiltration et Dynamiques des Etats de Surfaces (Projet RIDES)".
- **Expériences hydrométéorologiques radar** (*Programmes HYDROMET/UE-DG XII, XI Contrat de plan Etat-Région, Collectivités Territoriales, Pôle Grenoblois "Risques Naturels"*) :
 - Cuvette grenobloise et plaine du Grésivaudan (1 j/semaine, 1997-98)
 - Agglomération marseillaise (20 jours chercheur/an, 1996-97)[S. Boubkraoui, F. Cazenave, J.D. Creutin, G. Delrieu, J.M. Taunier + stagiaires]
 - "Etude de la variabilité spatio-temporelle des champs pluvieux".
- **Implantation de points d'appui du réseau MEDITE** (*Programme PNRH*) : 2 semaines 1997 et 1998.
(La Valette/CEMAGREF-Montpellier, Bassins Vosgiens et Plaine du Rhin/CEREG-Strasbourg, Domaine St. Paul/INRA-Avignon, La Réunion/CIRAD et Université)
[J.P. Laurent]
- **Stations hydrométriques** (Recherche + Enseignement) :
 - sur l'Isère/Campus Universitaire (1/2 jour/semaine depuis 1993) (MESR, EDF, Pôle Grenoblois "Risques Naturels")
 - sur le Sonnant d'Uriage/Gières, Isère (1/2 jour/semaine depuis 1994) (Pôle Grenoblois "Risques Naturels")[Ph. Bois, J.M. Taunier].
- **Station d'essai de pompage de la nappe grenobloise** (Recherche + Enseignement)
1/2 jour/semaine 1994-1996.
[R. Woumeni]

4. Responsabilités, expertises, tâches d'intérêt collectif

Sur la période de référence, la plupart des membres du laboratoire exercent ou ont exercé à différents titres des responsabilités dans diverses instances locales, nationales et internationales.

- **R. Angulo-Jaramillo**, CR1/CNRS
 - Chargé de mission "documentation scientifique" au sein du LTHE.
 - Membre élu au Conseil du Laboratoire jusqu'en 1997.
 - Responsable scientifique et administratif de contrats industriels de recherche et de projets PNRH.
 - Coordinateur d'une convention CNRS/DRI-NSF/USA.
 - Chargé de cours à l'ENSHMG, ISTGrenoble, ENSGéologie/Nancy.
 - Membre de la commission AFNOR X30P pour la mesure des faibles perméabilités.

- **Ph. Belleudy**, PAST/INPG-HMG
 - Chef de projet au LHF/Grenoble.
 - Responsable "Assurance qualité" au LHF.

- **Ph. Bois**, PR1/INPG
 - Responsable du Département "Génie de l'Environnement" de l'ENSHMG (jusqu'au 30/06/1996).
 - Correspondant INPG auprès de la Formation Doctorale-Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement" cohabilitée UJF/INPG/ENS-Lyon.
 - Expert de l'OMM pour l'enseignement de l'Hydrologie.
 - Expert UNESCO pour la prévision des débits d'étiage.
 - Responsable scientifique et administratif de projets de recherche (PNRH/Base de Données, PNRN, Contrat de Plan Etat/Région Rhône-Alpes, Programme UE/Interreg II "Inondations").
 - Animatrice du projet "SOURHY" du GIP "HydrOsystèmes Continentaux".
 - Membre nommé de la Commission Scientifique "Hydrologie" de l'Orstom (depuis le 1/01/98).

- **I. Braud**, CR1/CNRS
 - Chargée de mission "mini-informatique" au sein du LTHE (1993-1997)
 - Membre du Comité Scientifique de l'UMR-CESBIO/Toulouse (depuis 1996).
 - Responsable scientifique et administratif de projets de recherche (PAMOS/PATOM, PNTS, PNRH).
 - Chargée de cours à l'ENSHMG.

- **J.D. Creutin**, DR2/CNRS
 - Directeur-Adjoint du LTHE.
 - Chargé de mission "Communication" au sein du LTHE.
 - Membre élu de la section 12 du Comité National (depuis 1995).
 - Membre représentant la section 12 du CN au Comité de Suivi du Laboratoire Souterrain/CNRS à Moulis.
 - Responsable de l'Equipe "Hydrométéorologie".
 - Membre du Comité Consultatif ARAMIS de Météo-France.
 - Expert du Programme UE/DG XII "Environnement et Climat" (1994-1998).
 - Membre du Comité éditorial de J. of Hydrology.
 - Responsable scientifique et administratif de projets de recherche (Programmes PNRN, PRH, Européens/DG XII).
 - Chargé de cours à l'ENSIEGrenoble, l'ENTPE-Lyon et à l'UJF-Grenoble 1.
 - Membre du Comité de Jury HDR/INPG (Spécialité Mécanique)

- **J.F. Daïan**, MCex/UJF
 - Directeur-Adjoint de l'UFR de Mécanique/UJF (jusqu'au 1/03/96).
 - Membre invité au CEVU/UJF.
 - Membre élu à la CSE "Mécanique" UJF (depuis 1996)
 - Responsable scientifique et administratif de projets de recherche (Programme ECOTECH, GRECO "Géomatériaux") et de contrats industriels.

- **G. Delrieu**, CR1/CNRS
 - Membre des Groupes de travail "Hydrologie" et "Radar" du projet MAP (Mesoscale Alpine Program).
 - Chargé de mission LTHE aux "Relations avec la Formation Doctorale MMGE".
 - Membre élu du Conseil de Laboratoire.
 - Responsable scientifique et administratif de projets de recherche (Contrat de Plan Etat/Région Rhône-Alpes ; Programme "Hydrologie radar" du MATE).
 - Chargé de cours à l'ENSHMG, l'ISTGrenoble.

- **S. Galle**, CR1/Orstom
 - Correspondante Orstom du réseau MEDITE et responsable du site grenoblois.

- **J.P. Gaudet**, IR1/UJF
 - Responsable de l'Equipe "Transferts en Matériaux Poreux".
 - Chargé de mission "Micro-informatique" au sein du LTHE (1993-1997).
 - Représentant du LTHE au GDR/PIR-EVS "Exo-Sols".
 - Collaborateur scientifique du BRGM/Dépt. Hydrologie et Transferts.
 - Membre de comités de pilotage de thèses INRA, CEMAGREF et LCPC.
 - Responsable scientifique et administratif de projets de recherche (Programme Européen/DG XII, PNRH, contrats industriels).
 - Coordinateur d'une convention CNRS/DRI-CNCPRST/Maroc.
 - Membre de la commission "Enseignement des Géosciences" de l'UJF-Grenoble 1.
 - Chargé de cours à l'UCB-Lyon, UJF-Grenoble, DEA/MMGE-Grenoble.

- **J.M. Grésillon**, PR2/INPG
 - Directeur de HMG (depuis le 1/09/97).
 - Président du CS du Programme "Crues et Inondations" du MATE.
 - Responsable scientifique et administratif de projets de recherche (PNRN/Risques Hydrologiques).

- **R. Haverkamp**, DR2/CNRS
 - Responsable de l'Equipe "Hydrologie de la Zone Non Saturée" depuis le 2/03/97.
 - Membre de la Commission Recherche de l'UFR de Mécanique/UJF.
 - Responsable scientifique et administratif de projets de recherche (Programme européen/DG XII, Coopération France-Australie-Nouvelle-Zélande).
 - Chargé de cours à l'ENSHMG + DEA/MMGE-Grenoble.

- **J.P. Laurent**, CR1/CNRS
 - Chargé de mission "Infrastructure" au sein du LTHE.
 - Membre de la Commission "Infrastructure" HMG/UFR Mécanique.
 - ACMO/CNRS pour le compte du laboratoire.
 - Responsable scientifique et administratif de projets de recherche (Programme Franco-Allemand "Monuments Historiques", PNRH, GEOMATERIAUX).
 - Chargé de cours au DEA/MFT-Grenoble.

- **Th. Lebel**, DR2/Orstom
 - Responsable du programme "CATCH"
 - Coordinateur pour l'Orstom de GEWEX/Hydrologie continentale en zone soudanaïenne.

- Membre élu au Conseil de Laboratoire.
 - Chargé de mission "Séminaires" du LTHE.
 - Membre de la Commission "Enseignement des Géosciences" à l'UJF-Grenoble 1.
- **Y. Lewandowska**, MC2/UJF
 - Responsable 1ère année à l'IUP/Génie Civil de l'UJF-Grenoble 1.
- **T. Nguyen Dong**, MC1/INPG
 - Responsable de la filière "Eau et Environnement" du Département "Génie de l'Environnement" de l'ENSHMG.
 - Membre du Comité "Transport Solide" de la Société Hydrotechnique de France.
 - Membre de la CSE "Mécanique" de l'INPG (1996-1998).
- **Ch. Obled**, PR1/INPG
 - Responsable de l'Equipe "Hydrologie de Surface".
 - Membre élu au Conseil de Laboratoire.
 - Membre du Comité Scientifique du PNRN (depuis 1994).
 - Représentant de l'INPG dans le programme ERASMUS-IUPHY.
 - Membre du Conseil Scientifique et Technique du Pôle Grenoblois d'Etudes et de Recherche pour la Prévention des Risques Naturels.
 - Responsable scientifique et administratif de projets de recherche (PNRH, PNRN, Programmes européens/DG XII, Contrat de Plan Etat-Région Rhône-Alpes).
- **G.M. Saulnier**, CR2/CNRS
 - 1er Prix de Géophysique du CNFGG (1996).
 - Animateur de "l'Atelier de Modélisation Hydrologique et Environnementale" du LTHE (depuis 1997).
- **J.D. Taupin**, CR1/Orstom
 - Responsable scientifique du programme "Géochimie isotopique" d'EPSAT/Niger et HAPEX-Sahel.
- **J.L. Thony**, MCex/UJF
 - Chargé de mission "Technologie" au sein du Laboratoire.
 - Représentant du LTHE au Comité de Gestion de l'Atelier commun de Mécanique.
 - Membre élu à la CSE "Mécanique et Génie des Procédés", UJF (1996-1998).
 - Membre nommé à la CSE "Mécanique et Génie des Procédés", INPG (1996-1998).
 - Membre nommé au Conseil de Laboratoire du LTHE.
- **G. Vachaud**, DRCE/CNRS
 - Responsable de l'Equipe "Hydrologie de la Zone Non Saturée" jusqu'au 2/03/97.
 - Directeur de l'Institut de l'Environnement Grenoble-Chambéry/PUSE.
 - Directeur du Pôle Environnement "Rhône-Alpes".
 - Membre de l'Academia Europea-Section "Earth and Cosmic Science".
 - Président de la Société Européenne de Géophysique (1993-1995).
 - Chargé de mission INSU, Division ST (depuis le 1/09/97).
 - Membre du Comité de Direction du PIR-EVS/CNRS.
 - Président du Conseil Scientifique de GEOFRANCE-3D/BRGM-MESR-INSU (1995-1997).
 - Membre de Comités Scientifiques de programmes CNRS-INSU ; Ex. DBT II ; PIR-EVS/SEAH.
 - Membre du Comité Scientifique de l'Orstom.
 - Membre du Groupe d'Experts en Physique du Sol de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique-Vienne.
 - Co-éditeur de Journal of Hydrology (depuis 1996).

- **J.P. Vandervaere**, MC2/UJF
 - Membre de la Commission "Enseignement des Géosciences", UJF-Grenoble 1.

- **M. Vauclin**, DRI/CNRS
 - Directeur du LTHE (depuis janvier 1992).
 - Directeur par intérim du CEREG-Strasbourg (1997) et de l'ERS 1747 (1998).
 - Président du Comité Scientifique du PRH/INSU puis PNRH (depuis 1994).
 - Membre du Conseil du Département "Eaux Continentales" de l'Orstom (1993-1995).
 - Membre des Commissions Spécialisées "Océan-Atmosphère" (depuis 1992) et "Sciences de la Terre" (depuis 1996) de l'INSU.
 - Membre du Comité Scientifique du GIP "HydrOsystèmes Continentaux" (depuis janvier 1996).
 - Membre de Comités Scientifiques d'Unités de Recherches Associées au CNRS et relevant des Départements SDU ou SPI.
 - Membre du Comité "Erosion et Hydrogéologie" du programme DBT II de l'INSU (1993-1995).
 - Membre du Comité Scientifique du programme PROSE (depuis 1997).
 - Membre nommé à la CSE "Mécanique", UJF-Grenoble (1996-1998).
 - Membre du Comité de Jury HDR/UJF (Spécialité Mécanique).
 - Membre du Comité de la Fédération FAUST (LGIT + LGCA).
 - Vice-Président du Groupe Français d'Humidimétrie Neutronique (depuis 1987).
 - Expert de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique pour l'utilisation des radio-isotopes à l'Agriculture.
 - Expert UE Programme "Ressources en Eau" (1994-1998).
 - Consultant du CIRAD/CA.
 - Membre du Bureau Editorial de revues scientifiques internationales : Transport in Porous Media ; Soil Technology, Catena ; Modeling of Geo-biosphere Processes.
 - Responsable scientifique et administratif de projets de recherche (Contrat de Plan Etat-Région, PIR-EVS/MMT, industriels).
 - Chargé de cours à l'EFP-Grenoble (3ème année + DEA), ENS-Lyon (Magistère), ENGREF Montpellier (2ème année + DEA), ENSAR-Rennes.

- **R. Woumeni**, MC1/INPG
 - Membre nommé à la CSE "Mécanique", UJF-Grenoble (1996-1998).
 - Membre nommé au Conseil de Laboratoire.

Plusieurs membres du laboratoire sont également très régulièrement sollicités pour expertiser des manuscrits soumis à publication dans des revues scientifiques internationales : J. of Applied Meteor., J. of Hydrol., Water Resour., Res. Soil Sci. Soc. Am. J., Soil Science, Soil Technology, Catena, Geoderma, Transport in Porous Media, etc...

IV - RESSOURCES

1. Humaines

La liste nominative des personnels présents au Laboratoire (au 30/04/98) ayant été fournie au début de ce rapport, le tableau ci-dessous synthétise la répartition des membres permanents entre les deux tutelles universitaires (INPG, UJF), les EPST (CNRS, Orstom) ainsi que le personnel rémunéré sur budget propre du LTHE.

	MENRT		EPST		LTHE
	INPG	UJF	CNRS	Orstom	
Ens-Cher./Cher.	6 (5,25 ETP)	4	9	3 (2,8 ETP)	5 Post-Docs
Ing. de Recherche	-	1 (HDR)	-	-	
ITA/IATOS	1	3 (2,8 ETP)	5	1	1 (0,7 ETP)
TOTAL (ETP)	7 (6,25)	8 (7,8)	14	4 (2,8)	6 (5,7)
	15 (14,05)		18 (17,8)		6 (5,7)

Au 30/04/98, le laboratoire composé de **33 permanents** rémunérés sur budget d'Etat accueille :

- **25 doctorants** se répartissant en : 8 allocataires MENRT, 1 allocataire Moniteur Normalien, 1 BDI/CNRS, 6 boursiers d'organismes publics, 4 boursiers étrangers et 5 autres cas divers.
- **1 ATER** (50 %)
- **5 post-docs et 1 personnel administratif** (CDI) rémunérés sur ses ressources propres (contrats UE ; industriels).

On notera que la **masse salariale totale** (13 MF environ) des personnels permanents présents au 30/04/98 est très **bien équilibrée** entre les EPST (54 % dont 43 % en provenance du CNRS) et les Etablissement d'Enseignement Supérieur (20 % pour l'UJF et 26 % pour l'INPG). De même, cet équilibre est assez bien réalisé au sein de chaque catégorie de personnel : 10 enseignants-chercheurs, 12 chercheurs EPST (dont 9 CNRS) ; 5 IATOS et 6 ITA (dont 1 Orstom). Le ratio (ITA + IATOS)/(CH + ENS) est de : **0,5**. Il tombe à **0,41** en ce qui concerne les personnels techniques stricto-sensu et à **0,32**, en considérant que **deux collaborateurs techniques** (1 ADJT/UJF, 1 TCS/CNRS) exercent leurs activités dans des **services communs** (Atelier de Mécanique et Imprimerie respectivement) à plusieurs entités et ne sont pas, de ce fait, mobilisables pour des missions spécifiques au Laboratoire.

De plus, on observera que depuis le 1/01/97, plusieurs personnels Orstom sont **scientifiquement** rattachés à l'UMR-LTHE quadripartite, mais délocalisés pour diverses raisons à :

- Montpellier : P. Boivin/CR1, H. Laurent/CR1, J. Touma/CR1.
- Ouagadougou : O. Ribolzi/CR2
- Dakar : L. Barbiéro/CR2, M. Estèves/CR1, C. Hammecker/CR2, J.M. Lapetite/T1, O. Planchon/CR1.

et dont la plupart d'entre eux ont vocation à être affectés physiquement à Grenoble, à leur retour d'Outre-Mer. C'est ainsi le cas de L. Descroix/CR2 qui rejoindra le LTHE le 8/05/98, au terme de son affectation au Mexique.

2. Financières

a) Le tableau ci-dessous résume les **crédits notifiés** (13,34 MF en AP) sur la période allant du 1/01/95 au 30/04/98, ainsi que leur répartition en fonction de leur origine.

MENRT (INPG + UJF)			CNRS + INSU			Orstom	Collectivités Territoriales		Contrats		
Fct.	Eq.	Infra.	SB	Eq.	Prog.	SB*	CPER	Divers	UE	Min./Org.	Ind.
648 + 70 (BQR) + 28 (mi-parcours)	204 + 50 (BQR) + 59 (PPF) (mi-parcours)	462	1217 + 90 (GDR) + 50 (DRI)	120	2694	300	1020	140	3900	1632	1748
1521 kF HT			4171 kF HT			300 kF HT	1160 kF HT		7280 kF HF		
10,5 %			28,9 %			2 %	8 %		50,6 %		

(*) à partir du 1/01/97 dans le cadre de l'UMR quadripartite

Il met en évidence les aspects macroscopiques suivants :

- **Un très bon équilibre** entre les financements récurrents MENRT (1314 kF, incluant les crédits d'infrastructure) et CNRS (1217 kF en soutien de base), et dont la baisse globale de 10 % par rapport au précédent contrat quadriennal a été compensée par une contribution des Etablissements Grenoblois au titre du BQR (70 kF/INPG, 50 kF/UJF-Grenoble 1) et du CNRS (GDR "Exo-Sols" et DRI "Convention CNRS/NSF").
- Un financement sur Programmes CNRS (PIR-EVS/SEAH, TTEC et MMT) et INSU (PNRN/Risques Hydrologiques, PNRH, GEOMATERIAUX notamment), **prépondérant** (facteur 2) par rapport au soutien de base récurrent.
- A l'occasion de la révision à mi-parcours du présent contrat, l'examen des projets du Laboratoire s'est traduit par :
 - l'**octroi** institutionnel d'un soutien de base Orstom et d'une contribution supplémentaire du MENRT au titre de l'UMR quadripartite,
 - le **financement** d'un Programme Pluri-Formations mené en collaboration avec le PCV/Grenoble et le Lycée Agricole de la Côte-Saint André/Isère.
- **Un excellent équilibre** entre les *ressources contractuelles* (50 % dont la moitié en provenance de l'UE) et les *subventions récurrentes* d'Etat, additionnées de celles (non récurrentes) en provenance des Collectivités Territoriales (fin du X et XI CPER, notamment).

Remarques :

- Le Laboratoire a bénéficié d'un crédit de **130 heures de calcul** (C.94/Grenoble et IDRIS/Paris).

- L'apport des subventions récurrentes MENRT, CNRS et Orstom a été **tout à fait appréciable** à l'exception :
 - des crédits ministériels d'infrastructure qui s'avèrent totalement **insuffisants** pour couvrir les dépenses de base et de maintenance minimum des locaux.
 - des crédits d'équipement MENRT dont le montant ne permet pas d'investissement significatif.
- Alors que les difficultés budgétaires du CNRS en 1995 et 1996 ont rendu la gestion financière et comptable des Laboratoires assez difficile, voire chaotique, le LTHE (et son Directeur) se **félicite** du respect des engagements pris à son égard par le Département SDU, quant au **soutien de base récurrent**, qui par ailleurs, a **crû** de façon très significative en 1998 (+ 11 %/1997).

b) Le tableau joint fournit la liste des **contrats de recherche notifiés** sur la période de référence et qui sont en cours de réalisation ou terminés à la date de rédaction du présent rapport. Ils sont regroupés en 4 sous-ensembles, en fonction de la nature des organismes co-contractants (Ministères, Agences Nationales ou Internationales, Collectivités territoriales ; Industriels ; Programmes CNRS, INSU, Nationaux et Programmes "Union-Européenne").

3. Récapitulatif des moyens consolidés (moyenne annuelle sur 4 ans, à l'exception des salaires des permanents comptabilisés au 30/04/98).

	MENRT (INPG+UJF)	CNRS	Orstom	Autres	TOTAL
Salaires chargés (Permanents)	3728 (1)	5663	1473	-	10864
Allocations diverses (Non Permanents)	1230 (2)	190 (3)	280 (4)	768 (5)	2468
Soutien de base (HT)	380	369	150	-	899
Soutien de Programme (HT)	-	588	160 (6)	-	748
Collectivités Territoriales (HT) (7)	290	-	-	-	290
Contrats (HT) (7)	1632	-	-	-	1632
TOTAL (kF)	7260	6810	2063	768	16901

Remarques :

- (1) Le salaire des Enseignants-Chercheurs est ici compté à 50 %.
- (2) Bourses de thèse + salaire Enseignant Associé.
- (3) BDI + chercheur associé + indemnités de stages Elèves-Ingénieurs.
- (4) Allocations doctorales et post-doctorales.
- (5) Allocations doctorales et post-doctorales diverses (gouvernements étrangers, organismes français, CIFRE, AUPELF,).
- (6) Affectés à l'Equipe Orstom/LTHE.
- (7) Les ressources contractuelles, hors programmes CNRS, INSU, Orstom sont gérées par les deux tutelles universitaires du Laboratoire.

LISTE DES CONTRATS SUR LA PERIODE 1995-1998

(arrêtée au 30/04/98)

Objet	Co-Contractant	Responsable Scientifique	Date de début	Date de fin	Montant HT (kF)	Organisme Gestionnaire
Ministères, Agences Nationales ou Internationales, Collectivités Territoriales.						
Pluies intenses et génèse des risques de crues sur versant et bassin versant.	X CPER (Prog. Risques Naturels)	Ph. BOIS Ch. OBLED	26/11/1993	25/11/1996	205	INPG
Etude des transferts 3D d'eau et de soluté en zone non saturée.	CCR/UE-ISPRA	J.P. GAUDET R.ANGULO-JARAMILLO	09/08/1994	08/08/1998	520	UJF
Intercomparaison de méthodes de mesure des faibles perméabilités. Laboratoire et terrain.	ADEME	R.ANGULO-JARAMILLO	13/12/1994	12/12/1995	66	UJF
Observatoire de la Côte St. André : Zone-Atelier.	GIP "Hydrosystèmes continentaux	G. VACHAUD	1/04/1995	31/03/1997	200	UJF
Agriculture durable, protection du sol et des ressources en eau souterraine.	XI CPER (Prog. Environnement)	M. VAUCLIN M. MOLLARD	1/07/1995	30/06/1997	160	CNRS
Agriculture durable, protection du sol et des ressources en eau souterraine.	XI CPER (INRA)	M. VAUCLIN M. MOLLARD	1/07/1995	30/06/1997	83	CNRS
Système intégré de prévision hydrométéorologique des crues subites sur le bassin de l'Ardèche.	XI Plan Etat-Région (Prog. Risques Naturels)	Ch. OBLED	1/07/1995	30/06/1999	286	INPG
Détection radar et risque hydrologique à dynamique rapide.	XI Plan Etat-Région (Prog. Risques Naturels)	J.D. CREUTIN	22/09/1995	21/09/1997	100	INPG
Transferts dans les bétons et durabilité des ouvrages.	LCPC	J.F. DAIAN	28/11/1995	27/11/1999	165	UJF
Observatoire de la Côte Saint-André et de la base de données.	MENV/DIREN	G. VACHAUD	1/01/1996	31/12/1998	280	UJF
Analyse des pluies extrêmes dans l'Isère et dans les Alpes. Relations avec le relief.	Pôle Grenoblois "Risques Naturels"	Ph. BOIS	1/06/1996	31/05/1998	40	INPG
Qualification d'un radar bande X.	Ville de Marseille	G. DELRIEU	1/09/1996	31/08/1997	100	CNRS

Intercomparaison de méthodes de mesure des faibles perméabilités. Synthèse des expérimentations laboratoire et terrain.	ADEME	R.ANGULO-JARAMILLO	7/10/1996	6/06/1997	59	UJF
Intercomparaison des méthodes de mesure de la teneur en eau sol par humidimétrie neutronique et TDR.	AIEA	J.P. LAURENT G. VACHAUD	04/07/1997	03/07/1998	35	INPG
Expérimentation d'un radar bande X et d'une balise réceptrice pour la prévision des crues sur le bassin de l'Ardèche.	XI CPER (Prog. Risques Naturels)	G. DELRIEU	1/12/1997	31/12/1999	390	INPG
Développement d'un radar hydrologique opérationnel : validation du concept.	MATE via GIP "Hydrosystèmes Continentalux"	J.D. CREUTIN	1/05/1998	31/03/1999	160	INPG
Grenoble 97-99 : Expérimentation d'un radar météorologique en milieu alpin.	MATE via GIP "Hydrosystèmes Continentalux"	G. DELRIEU	1/05/1998	30/04/2000	147	UJF
Industriels						
Chaire Industrielle : Environnement Aquatique.	EDF-DTG/Grenoble	A. POIREL M.VAUCLIN	23/11/1994	22/11/1997	1000	INPG
Assèchement des sols au voisinage des cables enterrés.	GTMH	J.F. DAIAN J.P. LAURENT	1/09/1995	31/08/1996	66	INPG
Application des modèles multi-échelles à la diffusivité et à la perméabilité au gaz de pâtes de ciment et d'un béton.	CEA	J.F. DAIAN	1/01/1997	31/12/1997	132	UJF
Transport, Résidence et volatilisation du Benzène, Toluène, Xylène (BTX)	GDF	R.ANGULO-JARAMILLO	3/11/1997	2/11/1998	550	UJF
Programmes CNRS, INSU, nationaux (part revenant au LTHE, * Laboratoire coordinateur)						
Flux et transport dans les BVRE.	INSU/Prog. DBT II	M. VAUCLIN	16/12/1993	31/12/1995	200	INSU
Détection radar dans l'évaluation du risque hydrologique à dynamique rapide.	PNRN	J.D. CREUTIN	10/10/1994	31/12/1996	150	INSU
Analyse des phénomènes générateurs de crue sur les bassins méditerranéens. Rôle des sols et de la couverture végétale.	PNRN	J.M. GRESILLON	10/10/1994	31/12/1996	80	INSU
Précipitations exceptionnelles en site accidenté (Alpes et Cévennes).	PNRN	Ph. BOIS	10/10/1994	31/12/1996	70	INSU

Prévision statistico-dynamique des pluies journalières en sortie de modèle hydrodynamique.	PNRN	Ch. OBLED	10/10/1994	31/12/1996	130	INSU
Les modèles hydrologiques spatialisés : identification de paramètres par approche inverse (IMF*/Strasbourg)	PRH	G. VACHAUD	1/11/1994	31/12/1996	30	INSU
Modélisation spatialisée du cycle de l'eau en région de montagne. (CEREG*/Strasbourg).	PRH	I. BRAUD	1/11/1994	31/12/1996	28	INSU
HAPEX-Sahel : assimilation des données micro-ondes dans des modèles d'estimation de l'évapotranspiration réelle.	PNTS	I. BRAUD	20/12/1994	19/12/1996	55	CNRS
Couplage de modèles atmosphérique et hydrologique à l'échelle d'une ville.	PRH	J.D. CREUTIN	20/12/1994	31/12/1996	40	CNRS
Observation et modélisation des interactions sol-végétation-atmosphère sur un site de jachère (MUREX)(CNRM*/Toulouse)	PRH puis PNRH	J.L.THONY	20/12/1994	31/12/1997	70	INSU
Estimation des flux régionaux durant HAPEX-Sahel.	PATOM	I. BRAUD	20/12/1994	31/12/1995	15	CNRS
Apport de la géophysique pour l'étude de la circulation des fluides en subsurface : intercomparaison de méthodes géophysiques superficielles. (ENS-Géologie*/Paris).	PRH puis PNRH	G. VACHAUD	10/02/1995	31/12/1997	45	INSU
Apport de la géophysique pour l'étude de la circulation des fluides en subsurface : validation de méthodes en laboratoire. (ENS-Géologie*/Paris).	PRH puis PNRH	J.P. LAURENT	10/02/1995	31/12/1997	168	INSU
Modélisation du transport d'humidité dans les pierres de Rouffach et Rorschach.	Prog.Franco Allemand	J.P. LAURENT	1/03/1995	31/12/1997	152	CNRS
Transferts complexes en milieux poreux et Ressources en eau (LEPT*/Bordeaux).	PRH puis PNRH	J.P. GAUDET	1/09/1995	31/12/1998	120	INSU
Agriculture durable, protection du sol et des ressources en eau souterraine.	PIR. EVS/CNRS (SEAH)	G. VACHAUD	1/09/1995	31/08/1997	400	CNRS
Représentation des caractéristiques hydrodynamiques des sols da modèles SVAT.	CNRS/DRI	R.ANGULO-JARAMILLO	1/02/1996	31/01/1998	50	CNRS
Expériences "Alpilles" (INRA*/Avignon, LTHE).	PRH puis PNRH	I. BRAUD	1/05/1996	31/12/1997	150	INSU
Analyse des fluctuations temporelles des précipitations extrêmes (cas des Alpes françaises et du Sahel).	PNRN puis PNRH	Ph. BOIS	1/07/1997	31/12/1998	60	INSU

Logique floue et imprécision sur les indicateurs environnementaux.	PIR.EVS/CNRS (MMT)	M. VAUCLIN	1/07/1997	30/06/1999	100	CNRS
Mécanismes et dynamique des écoulements préférentiels dans les sols non saturés (INRA*/Avignon).	PNRH	R.ANGULO-JARAMILLO	10/07/1997	31/12/1998	90	INSU
Ruissellement, infiltration et dynamique des états de surface (CEREG*/Strasbourg).	cofinancement PNRH-PROSE	R.ANGULO-JARAMILLO	10/07/1997	31/12/1998	30	INSU
Pluie, pollution et dégradation de la pierre des monuments.	GEOMATERIAUX	R.ANGULO-JARAMILLO J.P. LAURENT	10/07/1997	30/06/1998	30	INSU
Optimisation de méthodes diélectriques pour l'hydrologie (+ réseau MEDITE).	PNRH	J.P. LAURENT	10/07/1997	31/12/1998	134	INSU
Impact des fluctuations pluviométriques sur la réponse hydrologique continentale en zone sahélienne.	PNRH	Th. LABEL	10/07/1997	31/12/1998	120	INSU
Modélisation hydrologique adaptée aux bassins de moyenne montagne et à des précipitations spatialisées (pluie et/ou neige).	cofinancement PNRN + PNRH	Ch. OBLED	10/07/1997	31/12/1998	300	INSU
Traitement des incertitudes en prévision hydrologique.	PNRN puis PNRH	Ch. OBLED	10/07/1997	31/12/1998	100	INSU
Les régimes hydrologiques (CEMAGREF*/Lyon).	PNRH	Ph. BOIS	10/07/1997	31/12/1998	12	INSU
Couplage hydro-météorologique (Groupe PATOM/PNRH)	PNRH	J.D. CREUTIN	15/04/1998	31/12/1998	15	INSU
Programmes Union-Européenne						
Storms, Floods and radar Hydrology.	CEE/Prog. ENV.	J.D. CREUTIN	1/06/1993	30/06/1995	975	INPG
EFEDA II/Espagne.	CEE/Prog. ENV.	R. HAVERKAMP	27/09/1993	31/12/1995	586	UJF
Modélisation hydrologique méso-échelle.	CEE/Prog. CHM	M. VAUCLIN J.D.CREUTIN	29/09/1993	28/09/1995	37	UJF
Aspects quantitatifs et qualitatifs des ressources en eaux souterraines (EUGREP).	CEE/Prog. CHM	G. VACHAUD	30/11/1993	29/11/1996	432	UJF
Effet des variations climatiques sur la recharge des aquifères en Europe du Sud (ECRASE).	UE/Prog. ENV.	G. VACHAUD	15/06/1994	14/12/1996	552	UJF
Modélisation du transport de solutés dans les sols structurés.	UE/Prog. ENV.	J.P. GAUDET	01/07/1994	30/09/1997	1000	UJF

Groundwater and River Resources Action on a European Scale (GRAPES).	UE/Prog. ENV.	R. HAVERKAMP	01/03/1996	28/02/1999	649	UJF
Development of active on-line hydrological and meteorological models to minimize impact of flooding (HYDROMET).	UE/Prog. ENV	J.D. CREUTIN	05/06/1996	04/06/1999	950	INPG
Upscaling predictive models and catchment water quality (CAMSCALE).	UE/Prog. ENV	G. VACHAUD	29/10/1997	28/10/2000	1100	UJF
Connexion des réseaux de données pour la gestion des risques d'inondations en région alpine : <ul style="list-style-type: none"> • Atlas expérimental des pluies intenses sur les Alpes franco-italiennes • Estimation de la probabilité des crues extrêmes par les méthodes Gradex et Vapi. • Alerte de pluies intenses à courte échéance 	UE/Prog. INTERREG II "Inondations"	Ph. BOIS	1/01/1998	31/12/1999	75	INPG
		Ph. BOIS	1/01/1998	31/12/1999	80	INPG
		Ch. OBLED	1/01/1998	31/12/1999	40	INPG

En ombré, les contrats en cours.

VI - EN GUISE DE CONCLUSION ET DE BILAN SUCCINCT

Par rapport aux autres entités universitaires aux thématiques voisines, le Laboratoire figure parmi l'un des plus importants sur le plan numérique tant en France qu'à l'Étranger. De plus, il présente certaines spécificités dans la mesure où il met en oeuvre **une approche multi-échelles** (spatiales et temporelles) fondée sur un **bon équilibre** entre l'**observation**, l'**expérimentation** qu'elles soient de **Laboratoire** ou sur le **terrain**, et la **modélisation**.

Les thématiques et les activités présentent une grande cohérence dans les outils scientifiques développés et/ou utilisés et dans les domaines d'applications visés et contigus par ailleurs. Elles sont sous-tendues par une **demande sociétale** forte et croissante (aux plans français et international) à laquelle le Laboratoire s'est efforcé de répondre avec les moyens mis à sa disposition par l'ensemble de ses tutelles et avec ceux qu'il a su mobiliser.

Au plan scientifique

La période de référence a été marquée par un niveau d'activité très soutenu (122 publications dans des revues et ouvrages à Comité de lecture, 299 communications diverses à des Congrès nationaux et internationaux, 28 mémoires de thèse soutenus, 2 soutenances de Diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches, 44 rapports de recherche) et une reconnaissance nationale (et internationale) croissante de nos thématiques, confortée par :

- les orientations gouvernementales qui placent l'Environnement en général et l'eau en particulier parmi les thèmes prioritaires à développer ;
- les schémas stratégiques des organismes de recherche (CNRS/INSU et Orstom, en l'occurrence) déclinés en Programmes et dans lesquels le Laboratoire est fortement impliqué à divers titres ;
- les préoccupations régionales et locales exprimées au travers des Programmes fédérateurs du XI Contrat de Plan Etat-Région Rhône-Alpes ;
- les besoins en formation formulés par les Etablissements Grenoblois d'Enseignement Supérieur.

Au plan humain

Le Laboratoire a bénéficié d'un **soutien important et équilibré** de ses tutelles. Sur la période de référence, le bilan net "entrées-sorties" des personnels permanents correspond à un **accroissement** de **33 % de ses effectifs**, par rapport au contrat quadriennal 1992-95. Les recrutements réalisés ont conduit à un rajeunissement de la population des ITA/IATOS de **6 ans** en moyenne et de **4 ans** pour celle des chercheurs et enseignants-chercheurs.

Ce renforcement a permis une politique très **volontariste de formation à et par la recherche** (doctorants, stagiaires de DEA, de 2ème et 1er cycles universitaires, d'Ecoles d'Ingénieurs), malgré les difficultés croissantes pour trouver les financements adéquats.

Au plan financier

- L'apport des subventions récurrentes MENRT, CNRS et Orstom (depuis le 1/01/97) est tout à fait appréciable, à l'exception des crédits ministériels d'infrastructure qui s'avèrent nettement insuffisants pour couvrir les dépenses de base et de maintenance minimum des locaux.

- La forte proportion de ressources contractuelles (57 %, hors programmes CNRS, INSU et Orstom) témoigne du dynamisme du Laboratoire vis à vis notamment des Programmes Européens et régionaux mais aussi du monde industriel et technique français.
- Les crédits d'équipement sont utilisés de manière équilibrée entre les dépenses consacrées au renforcement du potentiel informatique du Laboratoire d'une part, l'acquisition ou la jouvence de matériels scientifiques propres à ses thématiques, d'autre part.

On ne saurait terminer ce bref bilan sans mentionner trois aspects "pénalisants" :

- Le manque **dramatique** de surface (813 m² dont 20 % n'ont pas accès à la lumière naturelle) a constitué un facteur limitant au développement de certaines activités expérimentales du Laboratoire, l'obligeant à délocaliser certaines expérimentations, et l'accueil de chercheurs temporaires (doctorants, post-docs, visiteurs longue durée, etc...).
- Le manque **flagrant** de personnels permanents techniques et administratifs [ratio : 0,41/chercheur pour l'ensemble du Laboratoire ; 0,32 pour le corps technique ; 0,09 pour le corps administratif] fait que les chercheurs sont amenés de façon volontariste à réaliser de très nombreuses tâches pour lesquelles ils (elles) ne sont pas forcément les plus compétent(e)s et ce **au détriment d'une part de leur activité scientifique** mesurée bien (trop !) souvent à la seule aune de la publication de rang A et d'autre part, d'une **utilisation optimale** des moyens consolidés.
- La disponibilité de **plus en plus réduite des enseignants** liée à l'accroissement très significatif de leurs charges pédagogiques et administratives obère leurs activités spécifiquement "recherche", (notamment celles liées aux actions sur sites extérieurs) et ne leur permet plus de faire face à la demande en recherche croissante, par ailleurs.

Le chapitre suivant présente un bilan scientifique plus détaillé des activités des quatre Equipes, illustré par quelques résultats et complété par les fiches de résumé des thèses soutenues sur la période de référence.

La liste des publications et productions est annexée au présent rapport.

Fait à Saint Martin d'Hères, le 30 avril 1998

Le Directeur.

RAPPORT D'ACTIVITE
DES EQUIPES DE RECHERCHES

1 - TRANSFERT EN MATERIAUX POREUX

Personnels impliqués

Nom	Statut	% temps	Remarque
Permanents			
Rafaël ANGULO-JARAMILLO	CR/CNRS	50	recruté le 3/01/96 Mise à disposition du LMPT/Florianópolis (1/03- 31/08/98).
Stephane BOUBKRAOUI	ADJT/UJF	25	
Jean-François DAIAN	MC/UJF	100	
Hervé DENIS	AI/CNRS	70	départ retraite : 1/12/95 Resp. Equipe
Lucien FELIX	AI/UJF (50 %)	10	
<i>Jean-Paul GAUDET</i>	IR/UJF	80	recrutée le 1/09/97
Jean-Paul LAURENT	CR/CNRS	90	
Yolanta LEWANDOWSKA	MC/UJF	100	
Jean-Michel TAUNIER	IE/CNRS	20	
Jean-Louis THONY	MC/UJF	20	
Michel VAUCLIN	DR/CNRS	30	
Visiteurs longue durée			
David ELRICK (V)	Univ. Guelph/invité LTHE-UE	100	2 mois
José MUNOZ-PARDO (V)	Univ. Santiago/Convention ECOS/CONICYT/CNRS	100	2 mois
Zakaria SAADI (V)	Convention CNRS/CNCPRST- Maroc	100	3 x 2 mois
Karim TAMOH (V)	" "	100	2 mois
Scott TYLER (V)	Univ. Nevada/Invité LTHE	20	10 mois
Sekou CAMARA (P)	Boursier AUPELF/UREF	100	10 mois
Doctorants			
Pierre CRANCON	Allocataire CEA	LTHE/LGIT (50/50)	depuis le : 1/10/97
Uta GABRIEL	Doctorat : 06/02/98	LTHE/LGIT (50/50)	post-Doc LTHE/GDF
Pierre GERARD-MARCHANT	ADEME/CEA	100	soutenance : 09/98
Arnaud MARTIN-GARIN	Allocataire CEA	LTHE-LGIT (50/50)	depuis le : 1/10/96
André NETTO	BETRAN/CNPq	100	depuis le 1/10/94
Céline PALLUD	Allocataire MENRT	100	depuis le 1/11/97
Romeu PIERITZ	BETRAN/CNPq	100	depuis le 1/10/94
Stéphanie ROULIER	Allocataire MENRT	100	depuis le 1/10/96
Robert SCHOEN	Doctorat : 25/10/96	-	post-doc/BRGM
Mariana TSIMBROVSKA	Doctorat 19/02/98	-	post-doc/CSTB
Ke XU	Doctorat : 24/03/95	-	post-doc/CEN
Tarik ZAKRI	Doctorat : 10/10/97	-	

OBJECTIF

L'activité de l'Equipe "**Transferts en Matériaux Poreux**" est centrée sur la compréhension (par l'observation) et la représentation (par la modélisation) des mécanismes de transferts de masse et d'énergie dans les milieux poreux consolidés ou pulvérulents, rigides ou déformables, en liaison avec la topologie de l'espace poral et la physico-chimie des différents constituants. Dans ces milieux polyphasiques, les mouvements d'eau et des solutés, la diffusion des gaz, les échanges et transformations massiques et/ou énergétiques peuvent être couplés et font intervenir plusieurs échelles de description allant de la molécule pour les sites actifs à quelques m³ de matériau pour les applications, en passant par les tailles des colloïdes, des pores, de l'Elément de Volume Représentatif d'un échantillon de laboratoire, d'une paroi de bâtiment, d'une couche d'argile ou d'un lysimètre de terrain. Dans nos études, les flux d'eau peuvent se développer sous forme liquide (gravitaires et/ou capillaires) ou gazeuse (convectifs et/ou diffusifs). Les solutés transportés (par convection et dispersion hydrodynamique) peuvent subir des réactions physico-chimiques (homogènes ou hétérogènes) réversibles ou non, instantanées ou cinétiques. Enfin, certaines molécules sont soumises à des bio-transformations.

Sur la période de référence, les principaux résultats peuvent être regroupés en 3 axes :

- Les processus de transfert/transport, d'interactions et de transformations avec leurs éventuels couplages.
- La détermination des coefficients macroscopiques correspondants et la méthodologie/métriologie associée.
- Les relations entre les paramètres macroscopiques du transfert, les constantes d'équilibre, ou les taux réactionnels et les propriétés caractéristiques des supports poreux.

Ils sont complémentaires entre eux et avec certains thèmes étudiés par l'Equipe "*Hydrologie de la Zone Non Saturée*" (voir contribution correspondante), ce qui justifie la bi-appartenance de pratiquement la moitié des chercheurs permanents.

MOYENS ET METHODES

La description des transferts, des interactions et des transformations est faite à l'échelle **macroscopique** (Elément de Volume Représentatif, échantillon, colonne de laboratoire, lysimètre de terrain) à partir d'une approche systémique de type "Génie des Procédés" fondée sur un bon équilibre entre l'expérimentation et la modélisation mathématique des phénomènes. En parallèle, l'explication des mécanismes est recherchée à l'échelle **microscopique** (espace poral, matrice solide, sites actifs,...). Cette approche permet d'une part d'identifier les mécanismes prépondérants et d'autre part d'inférer, dans certaines situations, les coefficients définis à l'échelle macroscopique à partir de la description microscopique des processus mis en jeu, de la topologie de l'espace poral et de la physico-chimie des constituants.

Pour conduire cette démarche, au caractère nécessairement pluridisciplinaire, l'Equipe est amenée à s'entourer d'une expertise **externe** (notamment pour certaines mesures microscopiques et les analyses chimiques) d'une part, à utiliser et/ou à développer en **interne** des moyens expérimentaux spécifiques d'autre part. Parmi ceux-ci, on retiendra :

- *pour les études à l'échelle microscopique* : chaîne d'acquisition, de traitement et d'analyse d'images des squelettes poreux (incluant les techniques de préparation des échantillons et logiciels de géomorphologie mathématique), porosimétrie au mercure, banc de sorption.

- *pour les études à l'échelle macroscopique :*
 - bancs expérimentaux gérés par micro-ordinateurs et associant spectrométrie gamma (mono/double sources radioactives), tensiométrie, thermométrie.
 - boucle de séchage et d'humidification d'échantillons de matériaux poreux.
 - colonnes de type chromatographique avec leur environnement (collecteur de fraction, conductivimètre, pompe péristaltique, etc...).
 - cellules de mesure des propriétés thermiques et électriques des matériaux poreux.
 - métrologies portables telles que conductivimètre à choc thermique, systèmes de Réflectométrie dans le Domaine Temporel (TDR), infiltromètres, perméamètres.
 - lysimètres de terrain (1,2 m de diamètre, 1,5 m de hauteur, en sol non remanié) implantés sur l'Observatoire Rhône-Alpes de la Côte-Saint André/Isère.

Parallèlement aux études expérimentales réalisées sur modèles physiques, la **modélisation des processus** est développée en utilisant soit :

- des solutions **analytiques** (quand elles existent) le plus souvent associées à des méthodes d'identification des paramètres pour des conditions initiales et aux limites simples et contrôlées.
- des méthodes de **l'analyse numérique** appliquées à des phénomènes non linéaires de diffusion, de dispersion-convection, etc...
- des techniques de **simulation par réseaux** (mono/multi-échelles) de pores construits sur la base de caractérisations microscopiques.

RESULTATS

1. Mécanismes de transfert/transport, d'interactions et de transformations en milieu poreux.

Dans cet axe, trois aspects ont été plus particulièrement étudiés :

- l'hydrodynamique des milieux déformables, partiellement saturés en eau.
- les transferts de masse et d'énergie.
- les transferts hydro-(bio) physico-chimiques.

Les principaux résultats sont donnés ci-dessous.

a) Hydrodynamique des milieux déformables, partiellement saturés en eau.

Alors que des progrès importants, tant au plan expérimental que de la modélisation, ont été réalisés ces dernières années, sur l'hydrodynamique des milieux poreux **partiellement saturés, indéformables**, et sur la rhéologie des milieux **saturés, déformables**, on constate une grande prudence, voire une réticence de la Communauté Scientifique Nationale et Internationale à étudier le couplage "écoulements en non-saturé/déformation du milieu", malgré la forte demande du secteur aval liée notamment à la mise en place de barrières argileuses dans les sites de stockage de déchets (nucléaires, industriels, domestiques).

Dans la continuité des travaux antérieurs et de leur valorisation (e.g., Kim, Angulo-Jaramillo et col., 1995 ; Vauclin et Angulo-Jaramillo, 1996), l'accent a été plus particulièrement mis sur les points suivants :

- *Au plan expérimental*, l'optimisation de la spectrométrie gamma double-sources (Cs 137/Am 241) pour la mesure simultanée et non destructive des variations spatio-temporelle de la concentration en eau (θ) et de la masse volumique (ρ_d) des sols **non saturés, déformables** a conduit à réduire très significativement les incertitudes de type hétéroscédastique liées à l'étalonnage du système et donc celles associées aux variables d'intérêt (θ et ρ_d) et aux paramètres caractérisant le comportement hydromécanique (relations conductivité hydraulique-pression capillaire-humidité-indice des vides) des milieux déformables (Angulo-Jaramillo et col., 1997 ; thèse de Gérard-Marchant en cours).

On notera que la méthodologie développée (modèle physique, métrologie associée et traitement statistique des données) a fait l'objet d'un **transfert de compétences** vers le Centre Commun de Recherches de l'UE/Ispra-Italie, dans le cadre d'une coopération contractuelle (rapport Angulo-Jaramillo et col., 1995).

- *Au plan théorique et de la modélisation*, les nombreuses données expérimentales acquises ces dernières années à l'aide de la spectrométrie gamma double-sources ont servi de support à la validation d'un modèle hydromécanique développé en collaboration avec le Laboratoire "Hydro-physique" de l'Orstom/Bondy et l'Université Cornell/Laboratory Environmental Geophysics. Dans le cadre d'une description Lagrangienne des transferts hydriques, une **nouvelle expression** du jacobien de la transformation entre coordonnées eulériennes et matérielles prenant en compte le caractère **tridimensionnel et anisotrope** de la **déformation** a été **proposée et validée** dans le cas d'une infiltration verticale d'eau dans un mélange sable-bentonite (voir figure TMP-1, tirée de Garnier et col., 1997). L'analyse de sensibilité du modèle au facteur d'anisotropie géométrique r_s met en évidence les faits saillants suivants :
 - la déformation latérale influence **non seulement** la déformation verticale, mais aussi et peut-être surtout la distribution de l'eau dans un milieu susceptible de se déformer, et ce aussi bien en infiltration qu'en drainage ;
 - la nécessité de considérer cette anisotropie de la déformation, aussi bien dans la modélisation des transferts hydriques, que dans les procédures expérimentales de détermination des paramètres phénoménologiques (voir ci-dessous § 2).

b) Transferts couplés de masse et d'énergie.

L'objectif est la quantification de l'importance relative des différents moteurs des transferts (gradients thermiques, hydriques, d'humidité relative de la phase gazeuse) et la caractérisation du milieu poreux lors de processus de séchage et d'humidification (capillaire ou par condensation).

Dans le cadre du Programme Franco-Allemand de recherche sur la "Conservation des Monuments Historiques" une étude exhaustive a été menée sur le comportement de la pierre de "tuffeau" représentative du mur test du Cloître de la Psalette (Cathédrale de Tours). Sur la base :

- de caractérisations pétrophysiques (collaboration avec le BRGM)
- d'expérimentations de laboratoire réalisées sur échantillons soumis à des cycles contrôlés d'imbibition/séchage (collaboration avec l'IUT/Saint-Nazaire, Bougerra et col., 1997)

$$F_r = \begin{bmatrix} \left(\frac{1+e}{1+e_r}\right)^{\frac{1}{2}(1-1/r_r)} & 0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{1+e}{1+e_r}\right)^{\frac{1}{2}(1-1/r_r)} & 0 \\ 0 & 0 & \left(\frac{1+e}{1+e_r}\right)^{1/r_r} \end{bmatrix}$$

Tenseur Gradient de transformation de Coordonnées Eulériennes-Lagrangiennes

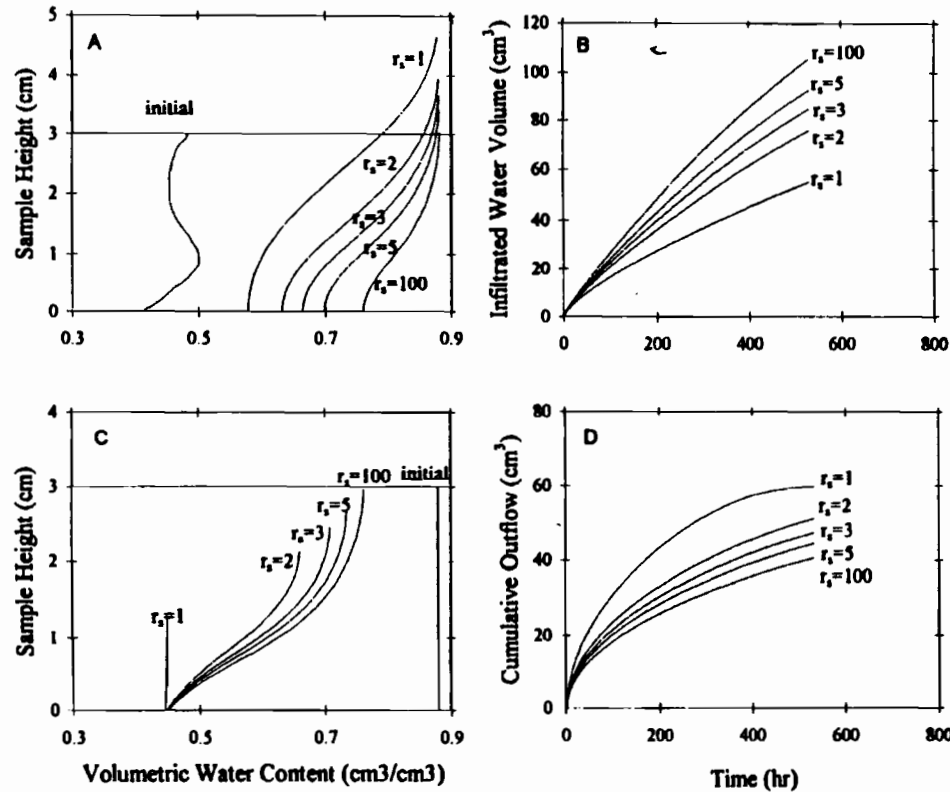


Fig. 6. Analysis of the sensitivity toward the geometry factor (r_r) of the predicted water content profile (A) and infiltrated water volume (B) in simulated infiltration experiments, and of the predicted water content profile (C) and drained water volume (D) in simulated outflow experiments.

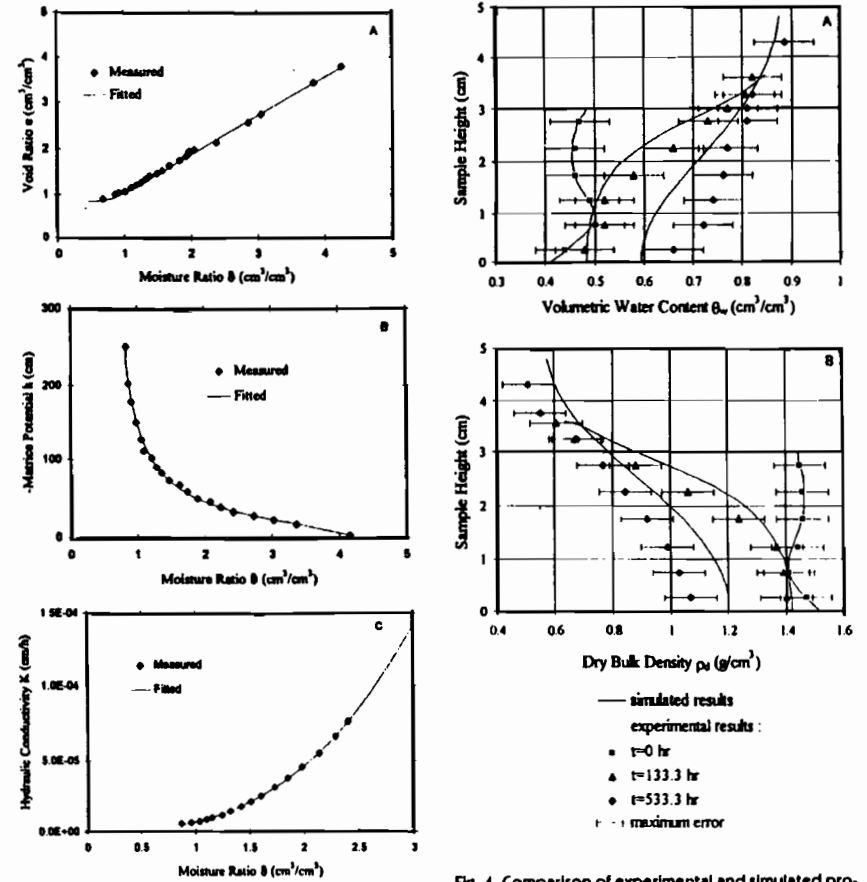


Fig. 3. Comparison of measured and fitted curves for the shrinkage curve (A), the retention curve (B) and the hydraulic conductivity curve (C).

Fig. 4. Comparison of experimental and simulated profiles of the volumetric water content (A) and the dry bulk density (B) for the infiltration experiment of Angulo Jaramillo (1989).

Figure TMP-1. Caractérisation hydrodynamique à l'aide de la spectrométrie gamma double-sources (^{241}Am - ^{137}Cs) et modélisation de la déformation 3D-anisotropique couplée à l'écoulement d'eau 1D dans une argile gonflante compactée et faiblement perméable (dans Garnier, P., E. Perrier, R. Angulo-Jaramillo, and P. Baveye. 1997).

- d'un suivi hygrothermique et micro-météorologique réalisé in-situ lors d'une campagne intensive de mesures (collaborations avec Z.I./Bochum, CDGA/Bordeaux)
- de l'expérience acquise par le LTHE dans le domaine des transferts couplés de masse et d'énergie dans les sols (e.g. Braud et col., 1995) et les géomatériaux (e.g. Daïan-Laurent, 1995 ; Crausse, Laurent et col., 1996)

un modèle de simulation 1D des transferts d'eau a été développé et validé (Laurent, 1996 ; Laurent et col., 1997). Le logiciel opérationnel correspondant, baptisé **STEP** (Simulation numérique des Transferts d'Eau dans la Pierre des Monuments, Laurent 1996), calcule l'évolution des profils hydriques et thermiques dans une paroi ou un échantillon soumis(e) à des sollicitations externes, qu'elles soient naturelles (climat, voir figure TMP-2) ou artificielles (vieillesse accéléré).

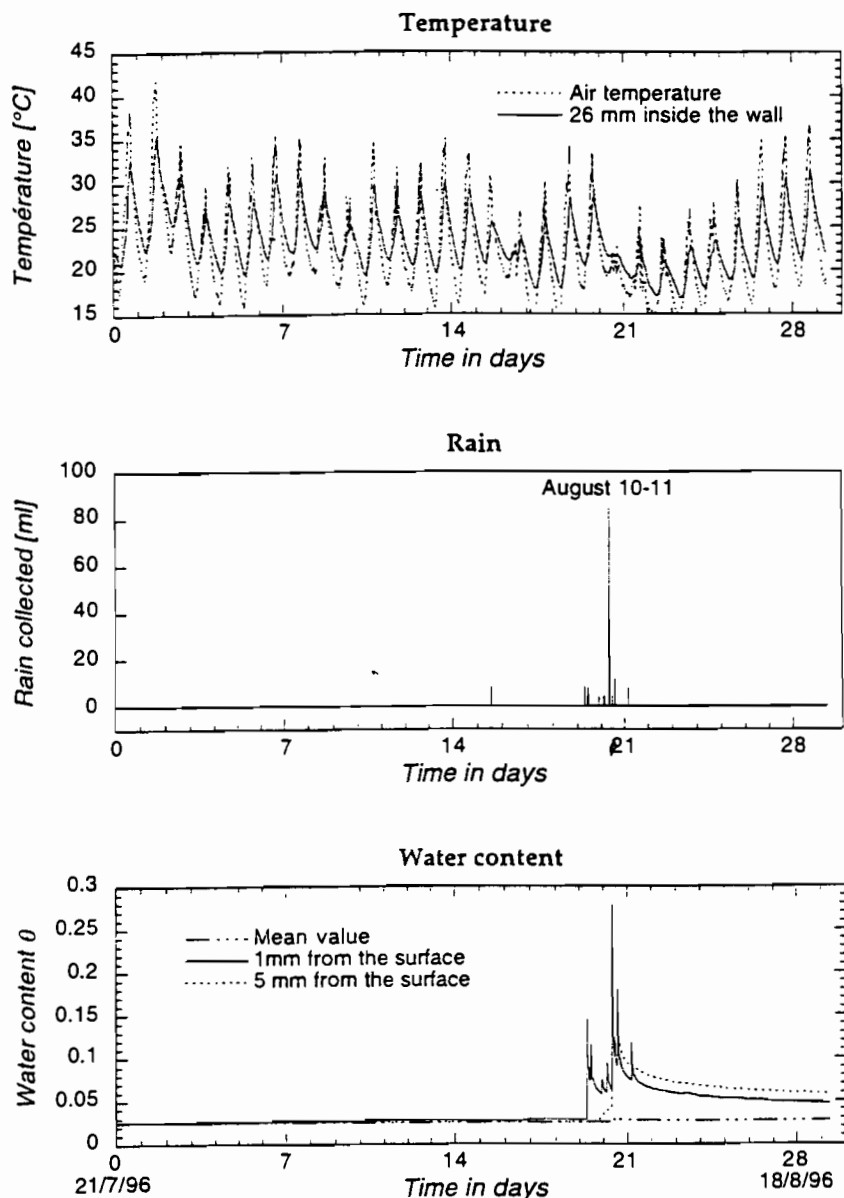


Fig. 4 : Simulation du comportement hygrothermique du mur test de la cathédrale de Tours sur la période du 21/7 au 19/8/96. En haut : moyenne des températures de surface mesurées par l'équipe de Bordeaux et réponse du mur calculée par STEP à 26 mm de la surface. Au milieu : pluie battante mesurée sur la période par le pluviomètre P2 de l'équipe de Bochum. En bas : réponse correspondante en termes de teneurs en eau.

Figure TMP-2: Exemple d'utilisation du modèle STEP pour calculer l'évolution temporelle de la température et de l'humidité volumique d'un mur de la Cathédrale de Tours (J.P. Laurent, 1996).

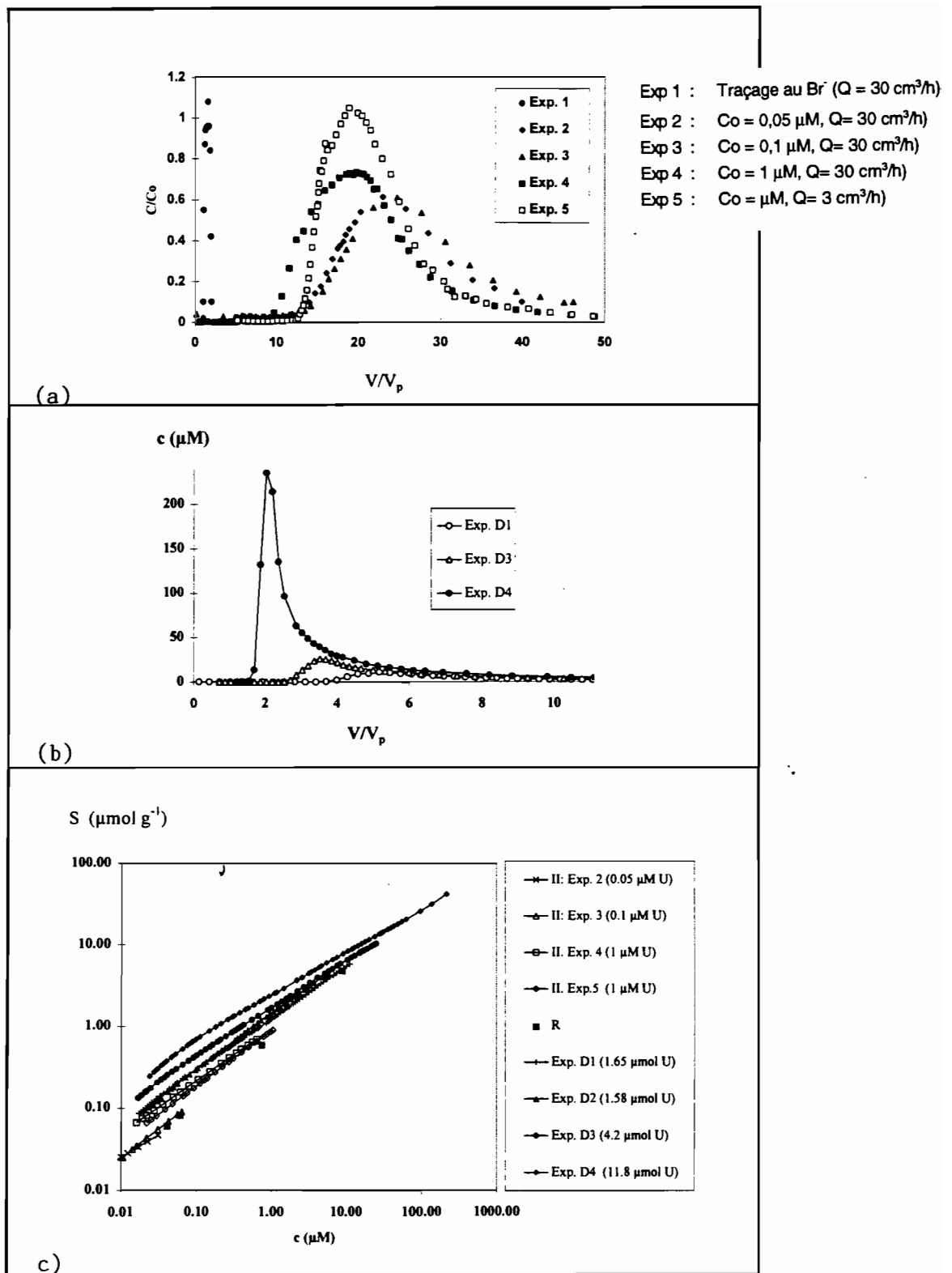


Figure TMP-3 : Transport de l'uranyle dans une colonne 1D de cristobalite greffée de goethite (Gabriel, Gaudet, Spadini, Charlet, 1998 ; col. LGIT/LTHE) :

a) courbe de percée pour différentes conditions expérimentales de concentration d'injection C_0 et de débit Q .

b) effet d'une variation de pH (de 8 à 9) sur la désorption du matériau faiblement contaminé. $Q = 30 \text{ cm}^3/\text{h}$; temps d'injection : $t_0 = 54,9 \text{ h}$ (D1), $t_0 = 133,9 \text{ h}$ (D2), $t_0 = 392,7 \text{ h}$ (D3).

c) Isothermes d'adsorption. Les carrés noirs (R) sont obtenus à l'équilibre (réacteur fermé). Les autres points sont obtenus en dynamique, par analyse des courbes de percée.

Il est apparu que le modèle rend bien compte de la réalité observée sous réserve évidemment d'une bonne estimation des paramètres et des entrées. En particulier la bonne connaissance des apports en eau liquide par la pluie à l'interface paroi/atmosphère revêt une importance cruciale. Cela nous a récemment incité à implanter un dispositif expérimental sur le toit de l'un des bâtiments de HMG, spécifiquement dédié à l'étude et la modélisation des apports pluviométriques sur une paroi verticale en fonction de l'intensité/granulométrie de la pluie, de la vitesse et direction du vent. Cette étude, menée en collaboration avec l'Equipe HMET, s'inscrit dans le cadre d'un projet "Pluie, pollution et pierre des monuments" soutenu depuis 1997 par le Programme GEOMATERIAUX de l'INSU, mené en collaboration avec CDGA/Bordeaux, IUT/Saint-Nazaire, LGIT/Grenoble et LRMH/Champs sur Marne.

c) Transferts hydro-(bio) physico-chimiques.

Sous-tendus par de nombreuses préoccupations environnementales telles que la pollution des eaux souterraines et des sols, la réhabilitation de sites pollués, la dégradation physico-chimique des matériaux de construction, et étudiés ici dans le cadre de l'analyse systémique adaptée du Génie Chimique des Procédés, ils sont considérés sous deux aspects complémentaires :

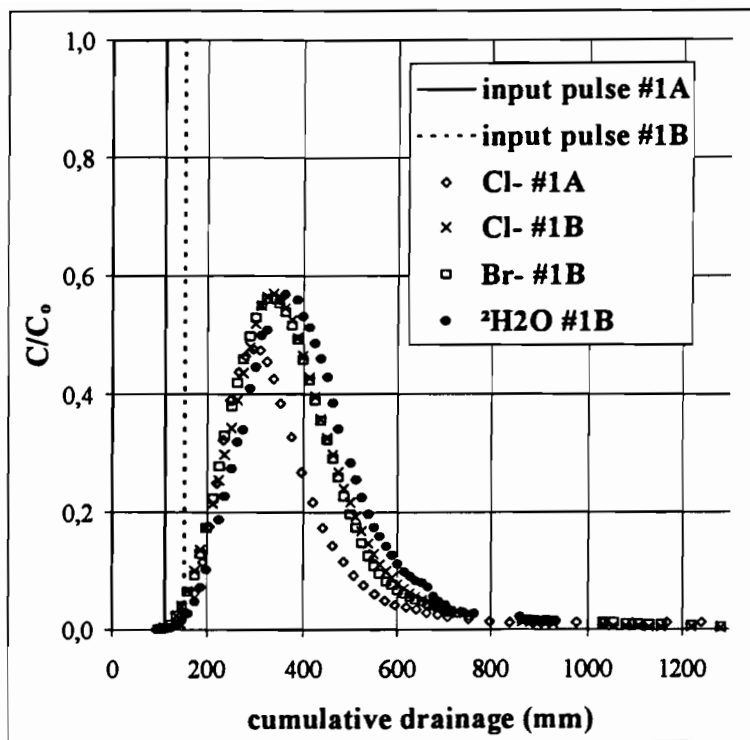
- *comme cadre conceptuel* à l'interprétation d'expériences de traçage (visant à obtenir une meilleure connaissance de la structure de l'écoulement de l'eau (en conditions saturées ou non) à différentes échelles de milieux poreux.
- *comme outil d'analyse et de compréhension* de phénomènes couplés se produisant dans le milieu poreux et faisant intervenir des éléments susceptibles d'interagir avec les particules de sol et/ou de subir des (bio) transformations.

Les dispositifs expérimentaux (voir quelques schémas de principe au Chapitre "Réalizations technologiques") sont conçus de manière à assurer un bon contrôle des conditions initiales et aux limites et de permettre ainsi la mise en oeuvre de modèles mathématiques (analytiques, quasi-analytiques ou numériques) d'interprétation et/ou d'identification de paramètres.

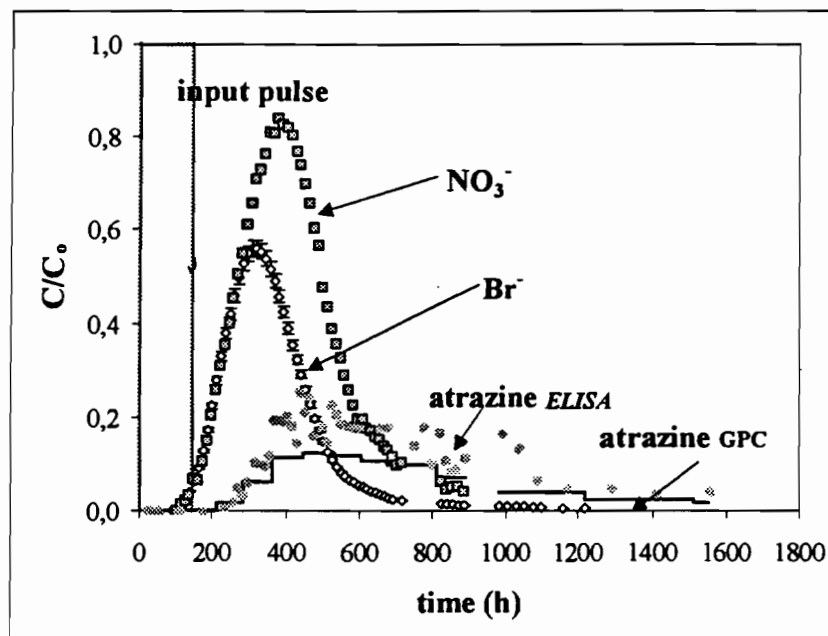
Les différentes études réalisées en **Laboratoire**, sur modèles physiques (1D, 2D ou 3D) avec des matériaux "réels" (prélevés sur le terrain) ou "modèles" et/ou sur le **terrain** (lysime de sol non remanié, profil pédologique 1D vertical, tranchée verticale 2D) ont conduit aux résultats essentiels synthétisés ci-après :

i) Sur colonnes 1D de Laboratoire, le transport de l'Uranyle (présent dans de nombreux déchets miniers) dans le système cristobalite-goethite a été étudié en collaboration étroite avec l'Equipe Géochimie des Eaux (L. Charlet) du LGIT-Grenoble (thèse U. Gabriel, 1998 ; Gabriel et col., 1998). Plusieurs expériences réalisées sous différentes conditions (flux hydrique, pH, concentration en carbonates complexants) ont permis :

- d'identifier en écoulement l'importance relative des mécanismes élémentaires (interactions solution-substrat, complexation de surface et en solution, cinétiques d'échanges) ;
- de montrer que la mobilité de l'uranium est contrôlée par l'interaction entre le transport hydrodispersif (identifié par des expériences de traçage au Br⁻) et une réaction de fixation réversible à taux limité de type Langmuir ;
- de montrer que l'évolution des conditions géochimiques (pH et/ou concentration en complexant) affecte très fortement la réponse du système, tant pour les pics de concentration en Uranyle que pour les temps d'apparition en sortie de colonne (figure TMP-3a et b), tirée de Gabriel et col., 1998). On notera qu'une variation d'un



a) courbes de percée de traceurs anioniques (Cl^- et Br^- et isotopique ($^2\text{H}_2\text{O}$) pour deux flux d'injection (1A : 1,48 mm/h ; 1B : 1,05 mm/h). Les anions sortent plus rapidement.



b) courbes de percée de différentes molécules pour un flux de 1,05 mm/h : pour le nitrate elle est 2 fois plus importante que l'entrée indiquant la transformation de NH_4^+ en NO_3^- . Pour l'atrazine, les 2 méthodes d'analyse (chromatographie en phase gazeuse et méthode immunoenzymatique ELISA) montrent un retard (adsorption) et une perte (dégradation).

Figure TMP-4: Transport de plusieurs espèces chimiques dans le lysimètre de la Côte-Saint André (Schoen, Gaudet, Bariac, 1998).

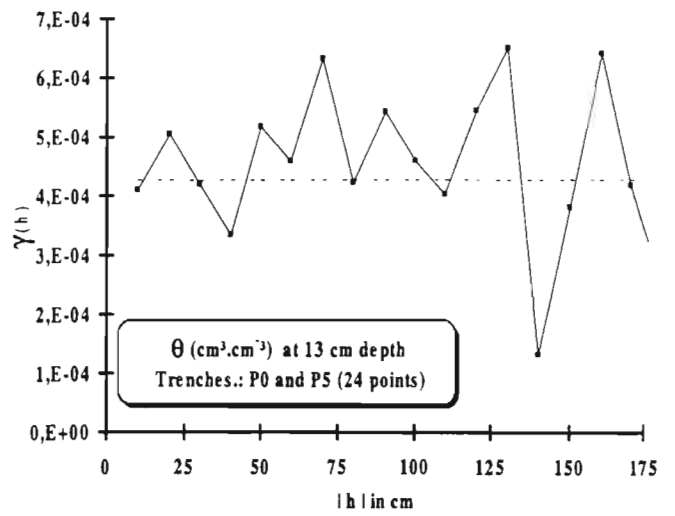
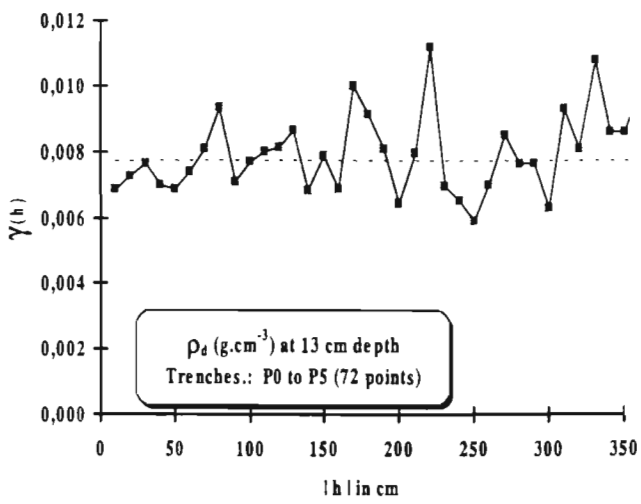
point de pH de l'eau percolante peut entraîner un enrichissement de concentration d'un facteur supérieur à 200 et réduire le temps de séjour de plusieurs unités. On perçoit là l'intérêt d'un tel résultat pour apprécier les risques environnementaux ou pour mettre en oeuvre des techniques de réhabilitation de sites pollués par les métaux lourds.

ii) *Sur lysimètre de sol non remanié* implanté sur le site-observatoire de la Côte-Saint André (voir contribution de l'Equipe HZNS), le suivi spatio-temporel de plusieurs molécules (traceurs isotopiques de l'eau : $^2\text{H}_2\text{O}$, H_2^{18}O ; traceurs anioniques bio-transformable NO_3^- ou non Br^- , Cl^- , Γ^- ; cations échangeables et transformables NH_4^+ ou non K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} ; substance organique bio-dégradable : atrazine) introduites à la surface, sous forme de créneaux de concentration (le lysimètre étant initialement en régime hydraulique permanent) a mis en évidence les résultats suivants (thèse R. Schoen, 1996 ; Schoen et Gaudet, 1996 ; Schoen et col., 1998) :

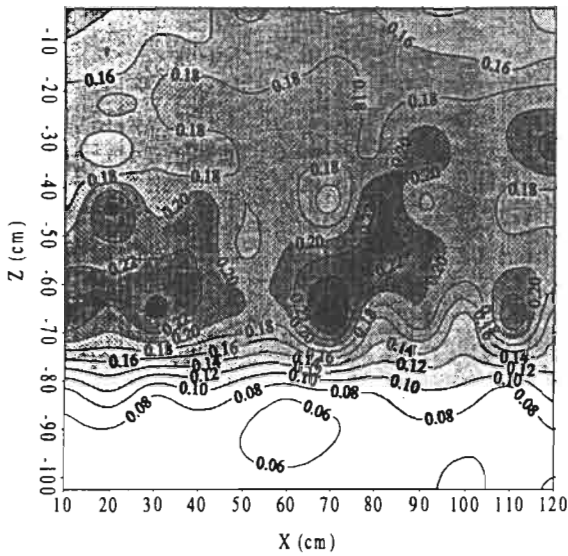
- la différence de comportement de l'eau deutériée et des traceurs anioniques (figure TMP-4a, tirée de Schoen et col., 1998a) montre :
 - l'existence d'une fraction d'eau immobile (de l'ordre de 20 % de la teneur volumique totale) invalidant les hypothèses sous-tendant l'approche classique de type convection-dispersion et nécessitant l'introduction d'une répartition bimodale du champ de vitesse de pore avec une cinétique d'échange physique.
 - une exclusion anionique (d'environ 10 % en volume) due aux charges négatives de surface des argiles.
- la comparaison entre le comportement d'un "traceur" et celui d'autres molécules montre (figure TMP4-b, tirée de Schoen et col., 1998) :
 - la forte potentialité de nitrification du sol (tout l'ammonium apporté en 140 h a été transformé en nitrate pendant la durée de l'essai, soit 65 jours)
 - un retard (par adsorption) et une perte importante (75 %) par biodégradation de l'atrazine. On notera néanmoins que l'existence d'écoulements préférentiels, d'origine structurale peut conduire à un entraînement de l'atrazine vers la profondeur (engendrant un risque de pollution des eaux souterraines, dès lors que le temps caractéristique du transport convectif dans la macroporosité est inférieur à ceux des phénomènes de fixation et de biodégradation, essentiellement prépondérants dans les couches superficielles du sol.

Cette étude a nécessité la mise en place d'une approche pluridisciplinaire associant différents laboratoires aux compétences complémentaires : LPVC-Grenoble, LEMS-Lyon, LBI-Paris, SCA/CNRS-Solaize notamment. Elle a bénéficié de soutiens financiers de programmes INSU (ex-DBT II, et ex-PRH), CNRS (GDR "Exo-sols" du programme PIR-EVS) et régional (XI Contrat de Plan "Etat-Région Rhône Alpes"/Thème fédérateur "Environnement" (rapport Vauclin-Mollard, 1997). Elle s'est également inscrite dans le projet "Écoulements préférentiels" de l'UE/DGXII, dont l'objectif était la mise en oeuvre d'une même approche méthodologique sur différents sites (Allemagne, France, Pays-Bas, Suède) et l'intercomparaison des résultats (Ritsema et col., 1996).

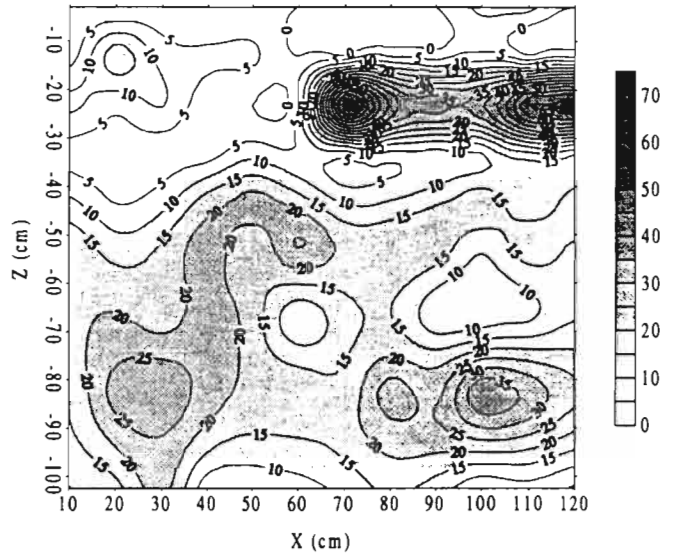
iii) *in-situ*, l'échantillonnage (par prélèvements d'échantillons de sol selon un maillage régulier) de profils verticaux 2D (120 cm de longueur, 100 cm de profondeur) à partir de tranchées creusées au voisinage immédiat du lysimètre, après épandage à la surface du sol d'une solution de KBr et de Bentazone et l'interprétation des données à partir de méthodes



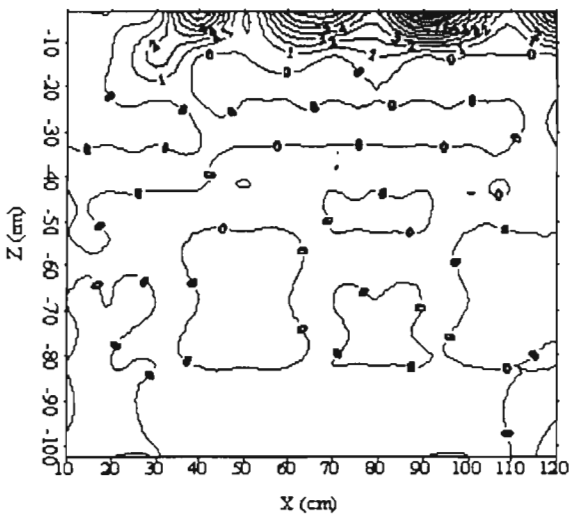
Volumetric water content (cm³/cm³)
Trench P2



Nitrate concentration (mg/l)
Trench P2



Bromide concentration (mg/l)
Trench P2



BENTAZON concentration (ppb)
Trench P2

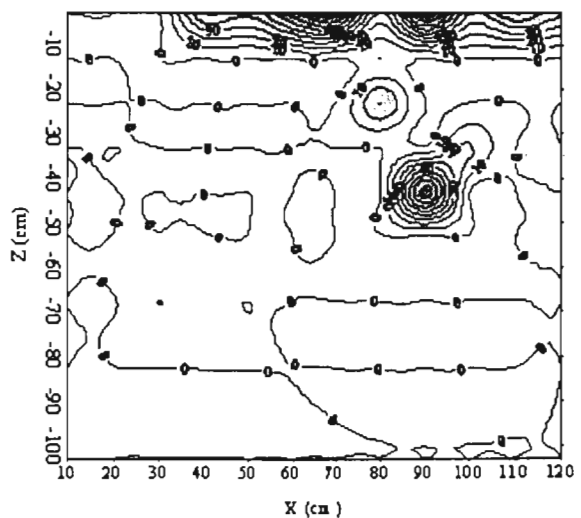


Figure TMP-5: Variabilité spatiale des concentrations en eau et en substances chimiques observée sur un profil vertical 2D du sol de la Côte-Saint André (Netto, Pieritz, Gaudet, 1998).

de l'analyse objective ont clairement confirmé (figure TMP-5, tirée de Netto et col., 1998 ; thèse A. Netto en cours) :

- l'existence, sous conditions naturelles d'apports pluvieux non contrôlés (contrairement à l'expérience lysimétrique) **d'écoulements préférentiels** induisant, une forte variabilité à l'échelle métrique (voire décimétrique) de la distribution des teneurs en eau et des concentrations en solutés, ces dernières présentant des coefficients de variations dépassant largement 100 % et atteignant même 300% pour l'herbicide ;
- la difficulté résultante de définir un **schéma d'échantillonnage** (location des senseurs et nombre) permettant un suivi in-situ précis et non destructif du statut hydro-chimique d'un sol.
- la **quasi-nécessité** de prendre en compte ces imprécisions dans la modélisation des transferts actuellement en cours de développement.

On notera que l'approche phénoménologique des écoulements couplés au transport de substances chimiques en milieux poreux, brièvement illustrée ici, mais largement utilisée par l'Equipe a également fait l'objet, dans le cadre de conventions de collaborations, de **transfert de connaissance** vers :

- *l'Université Catholique de Santiago du Chili/DIHA* (accords de coopération CNRS-DRI/CONICYT et programme ECOS, voir rapports Angulo-Jaramillo, 1996 ; Vauclin, 1996) pour l'étude expérimentale et la modélisation 2D de la récupération du cuivre dans les déchets miniers par lessivage à l'acide sulfurique, à partir de puits d'injection et de soutirage (voir figure TMP-6, tirée de Munoz et col., 1997).
- *l'Institut de l'Environnement du CCR de l'UE/Ispra* (convention de recherche UE/LTHE, voir rapport Angulo-Jaramillo et col., 1995, 1996) pour l'étude sur modèle physique 3D (90x90x30 cm) des écoulements en milieu hétérogène et l'estimation des propriétés effectives à l'aide de traceurs chimiques (Peugeot et col., 1997).

[Incidentement, on retiendra que **l'exiguïté des locaux** du LTHE a conduit à déporter vers le CCR la construction du pilote (voir chapitre sur les réalisations technologiques) après en avoir assuré la conception et défini la métrologie. C. Peugeot (docteur UJF en 1995) a suivi, dans le cadre d'un séjour post-doctoral (1996-97) antérieur à son recrutement à l'Orstom, la réalisation du modèle hydrique et démarré la modélisation numérique 3D du transport d'un soluté en régime hydraulique permanent, après avoir déterminé au LTHE les paramètres hydrodynamiques des 3 milieux élémentaires considérés (voir rapport Peugeot, 1996)].

- *l'Université Ibn Tofail de Kenitra/Maroc* (accords de coopération CNRS-DRI/CNCPRST et action intégrée France-Maroc, voir rapport Gaudet, 1996) pour l'étude de la pollution d'origine agricole de la nappe de la Plaine du Gharb (Saadi et col., 1997).

2. Détermination des coefficients phénoménologiques.

Elle constitue un préalable indispensable à toute modélisation mécaniste des transferts. Selon la nature des paramètres (conductivité hydraulique ou thermique, sorptivité capillaire, coefficients de diffusion de la vapeur, paramètres hydro-dispersifs, etc...), dont on rappelle qu'ils sont en général des fonctions non linéaires des variables d'état (potentiel matriciel, humidité, température), plusieurs méthodes sont utilisées ou développées : mesures directes par des métrologies adéquates, estimation par une approche de type "dynamique des systèmes" ou par méthodes inverses.

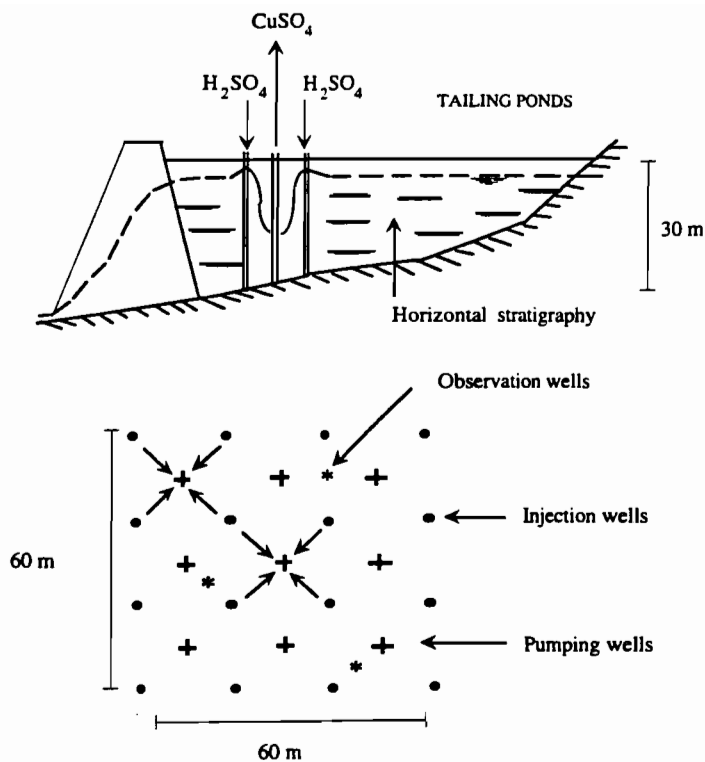


Fig. 1. Well location and configuration in a tailings pond.

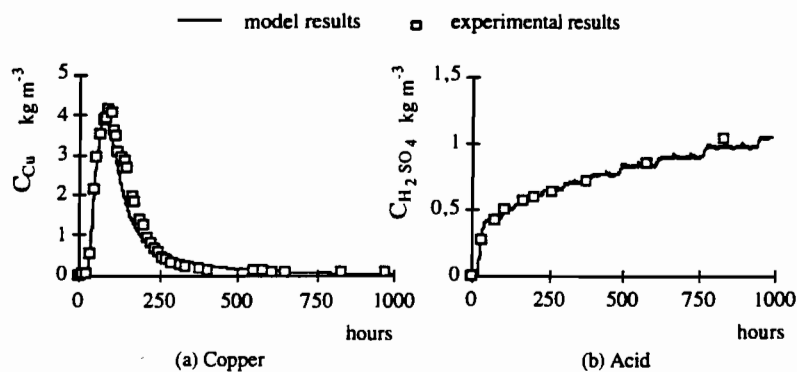


Fig. 9. Results of data fitting for the single-direction flow leaching experiment performed in Vat 1 (calibration phase of the model).

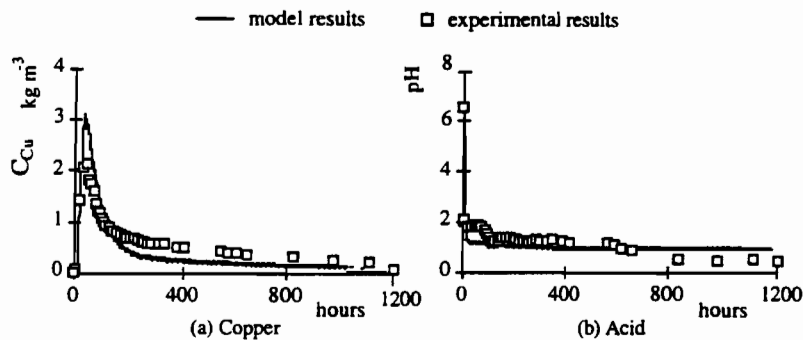


Fig. 11. Comparison of results obtained by the model with the experimental results from the leaching experiment performed with a radial flow pattern in Vat 2 (validation phase of the model).

Figure TMP-6 : Lessivage du cuivre par injection d'acide sulfurique : comparaison mesures-modèle 2D (Munoz, Rengifo, Vauclin, 1997). Le schéma du dispositif expérimental est donné au chapitre "Réalizations Technologiques" (col. LTHE/DIHA-Société INDELCO ; accords CNRS/CONICYT et Programme ECOS).

On présente ci-dessous les résultats les plus significatifs.

a) La caractérisation hydrodynamique des milieux argileux de très faibles perméabilité à saturation (10^{-10} à 10^{-11} m/s) susceptibles d'être utilisés comme barrière de confinement à des déchets enterrés a fait l'objet de développements importants. Parmi ceux-ci :

- *Des essais in-situ* réalisés sur une planche expérimentale (géomatériaux compactés) du Centre de Stockage de Claye-Souilly, à l'aide du GrPI (Grenoble Pressure Infiltrometer) à charge constante et variable (dérivé de l'infiltromètre de Guelph) ont conduit :
 - à montrer l'impérieuse nécessité de prendre en compte le **gonflement du matériau** dans l'analyse des essais d'infiltration en régime transitoire (Angulo-Jaramillo et col., 1995) ;
 - à définir un **nouveau concept** "la sorptivité apparente de la phase solide/Bulk Sorptivity" permettant une **généralisation** aux milieux **déformables** de la théorie classique de l'infiltration 1D verticale, initialement développée pour les milieux rigides (Gérard-Marchant et col., 1997, thèse P. Gérard-Marchant en cours, collaboration avec le CEA/SAT-Grenoble, avec le soutien de l'ADEME).

Les résultats (figure TMP-7, tirée de Angulo-Jaramillo et col., 1998)) montrent que **négliger la déformation** dans le cas considéré conduirait à une **sous-estimation de la conductivité hydraulique à saturation** d'un facteur 7 environ pour un matériau silteux et à l'impossibilité d'obtenir une valeur physiquement réaliste pour un mélange sable/bentonite. Cette méthode étant apparue prometteuse, l'ADEME nous a sollicité pour participer à une expérience d'intercomparaison de méthodes (incluant le TRIMS et le GrPI pour le LTHE) avec le BRGM, le CEA/SAT-Grenoble et l'INSA-Lyon, et à l'expertise croisée des résultats (rapport Angulo-Jaramillo, 1997) en vue d'établir une norme AFNOR (X 30 P Perméabilité) de détermination des très faibles perméabilités des géomatériaux compactés, dont il est inutile ici d'insister sur l'importance pratique.

- *Une nouvelle méthode de laboratoire* a également été développée en collaboration avec le Laboratoire d'Hydro-physique de l'Orstom-Bondy et l'Université Cornell. Fondée sur le suivi continu de la pression capillaire (par tensiométrie) et de la déformation verticale et latérale (par laser) d'échantillons cylindriques de sol soumis à une évaporation à partir de la saturation et l'ajustement du modèle hydro-mécanique lagrangien avec prise en compte de l'anisotropie de la déformation (voir précédemment) aux données, elle permet d'avoir accès simultanément aux courbes d'évolution de l'indice des vides, de la pression et de la conductivité hydraulique en fonction de l'humidité. La figure TMP-8 (tirée de Garnier et col., 1997) relative à un vertisol montre la **nécessité de considérer l'influence de la déformation** dès lors que les propriétés hydrauliques sont exprimées à l'aide de la variable teneur volumique en eau, au lieu de l'indice d'humidité.

b) Les coefficients hydro-dispersifs (dispersivité, fraction d'eau mobile, cinétique physique d'échange) relatifs au transport de traceurs isotopiques ou anioniques sont identifiés en conditions contrôlées d'écoulement en laboratoire et/ou sur le terrain.

- *En laboratoire* (incluant les lysimètres) :

Ils sont obtenus par ajustement de modèles (analytiques ou numériques selon les cas) à des observations d'évolution de concentration en sortie de colonnes (après analyse des moments temporels d'ordres 0 et 1 pour contrôler les bilans de masse et les temps de séjour respectivement, et 2 pour approximer le coefficient de dispersion). La validité du modèle utilisé et des coefficients associés est ensuite appréciée sur des essais indépendants (vitesses d'écoulement, longueur de colonnes différentes) de ceux utilisés pour l'identification des paramètres.

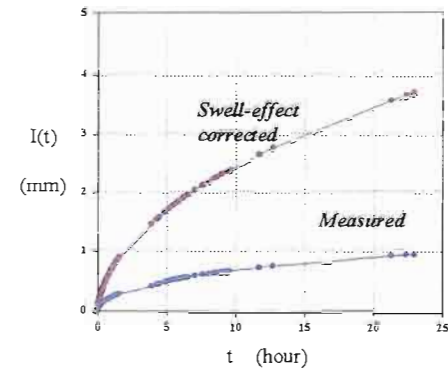
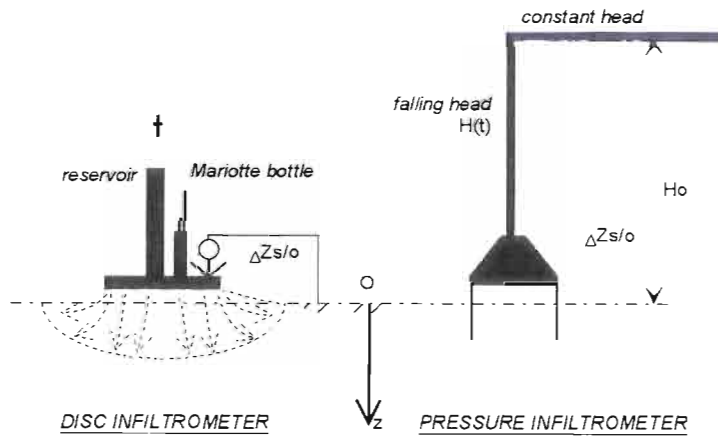


Fig. 2 Evolution of the apparent and swell-effect corrected cumulative constant head infiltration depth in a Silt.

	Deformation	
	neglected	taken into account
Capillary Sorptivity ($m s^{-1/2}$)	$3.6 \cdot 10^{-6}$	$14.6 \cdot 10^{-6}$
Bulk Sorptivity ($m s^{-1/2}$)	-	$-9.5 \cdot 10^{-6}$
Hydraulic Conductivity ($m s^{-1}$)	$1.3 \cdot 10^{-11}$	$9.5 \cdot 10^{-11}$

Table 1. Saturated hydraulic properties.

(dans Angulo-Jaramillo, R., P. Gérard-Marchant, J.P. Gaudet, J.L. Thony, M. Vauclin, R. Haverkamp, and D.E. Elrick. 1995).

(dans Angulo-Jaramillo, R., P. Gérard-Marchant, J.L. Thony, and M. Vauclin. 1998)



Photo 1



Photo 2

Figure TMP-7: Introduction du concept "Bulk Sorptivity" (cf. Gérard-Marchant, Angulo-Jaramillo, Haverkamp, Vauclin, Groenevelt, Elrick (1997) pour l'analyse de l'infiltration en matériau poreux non saturé faiblement perméable.

Essais d'infiltration : 3D avec l'infiltromètre sous succion contrôlée, TRIMS (photo 1) et 1D sous charge hydraulique constante puis variable, GPI (Photo 2).

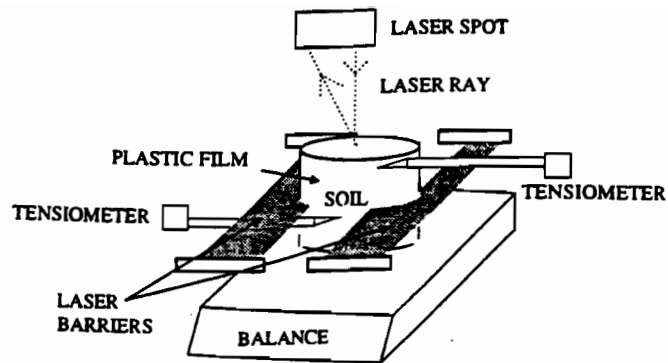


Fig. 1. Apparatus used to determine the hydraulic properties of a sample of swelling soil under evaporation.

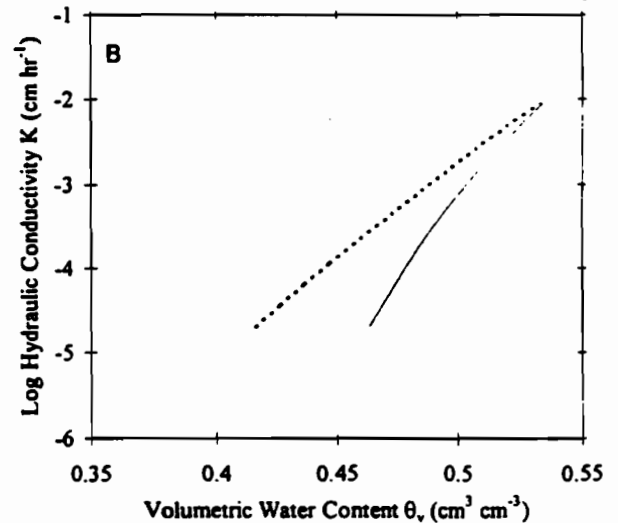
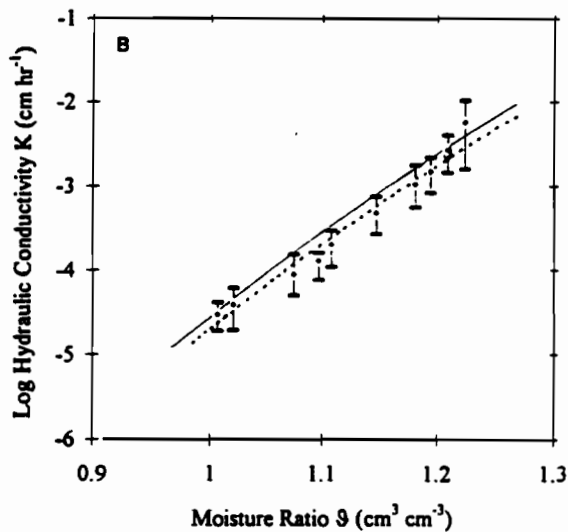
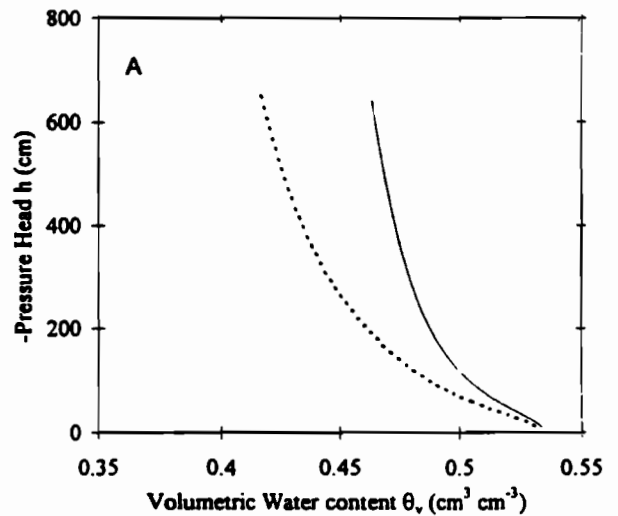
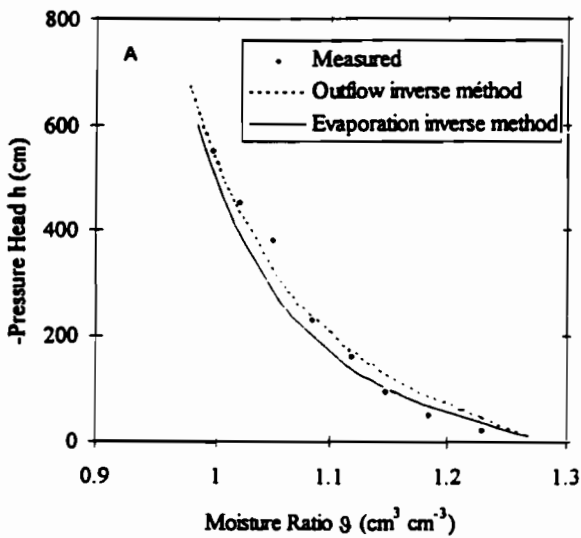


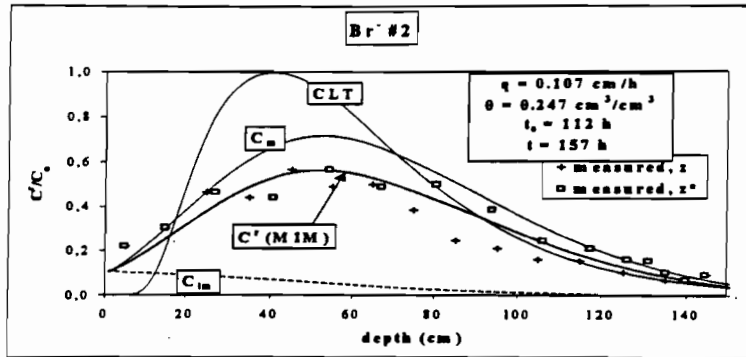
Fig. 8. Hydraulic characteristics estimated via evaporation and outflow inverse methods and measured from an outflow experiment.

Fig. 9. (A) Soil water pressure head and (B) hydraulic conductivity as functions of the volumetric water content when deformation is neglected (dashed line) or is taken into account (solid line).

Figure TMP-8: Détermination des propriétés hydrodynamiques d'un sol déformable par ajustement d'un modèle hydromécanique à des mesures de flux, de pression et de déformation 3D (Garnier, Rieu, Boivin, Vauclin, Baveye, 1997 ; col. LTHE/Orstom-Laboratoire Hydro-physique ; Université Cornell).

A titre d'illustration :

- La figure TMP-9 (tirée de Schoen et col., 1998) montre que le modèle MIM (à deux phases eau mobile/eau immobile) contrairement au modèle CLT (distribution log-normale des vitesses) reproduit très correctement un profil de concentration de Br⁻ avec des coefficients identifiés sur une courbe d'élution d'un essai indépendant.



a

Modèle MIM

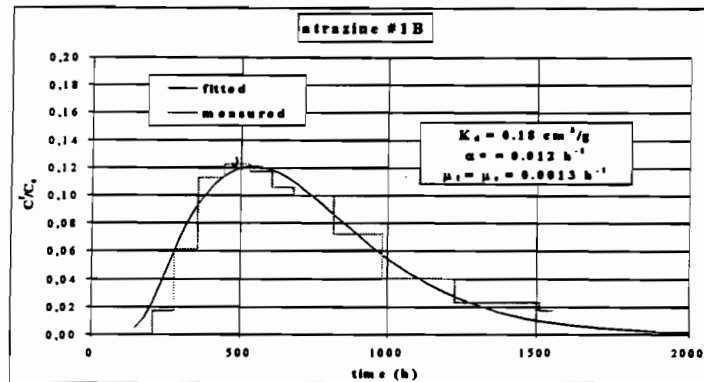
$$\theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} + \theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} = \theta_m D_m \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} - q \frac{\partial C_m}{\partial z}$$

$$\theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} = \alpha (C_m - C_{im})$$

Modèle CLT

$$C'(z, t) = \int_0^t C_0(0, \tau) f(z, t - \tau) d\tau$$

$$f(z, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_t z} \exp\left(-\frac{(\ln(t/z) - \mu_t)^2}{2\sigma_t^2}\right)$$



b

Modèle

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\rho_s}{\theta} \frac{\partial s}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v \frac{\partial C}{\partial z} - \mu_L C$$

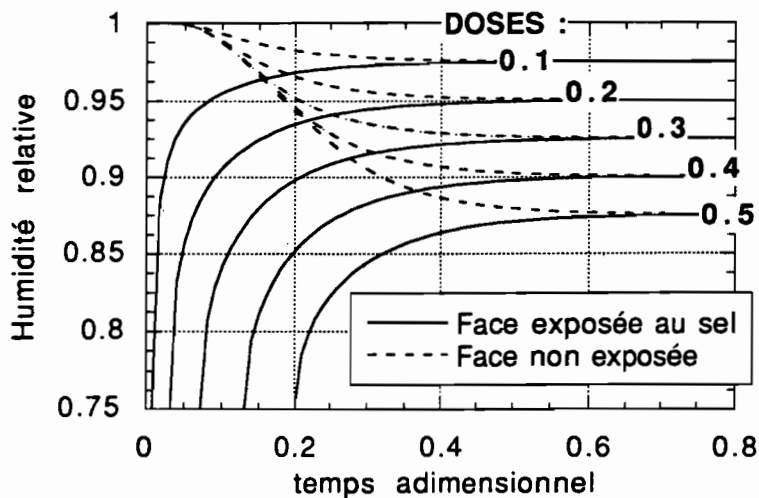
$$s = K_d C \quad (\text{à l'équilibre})$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \alpha (K_d C - s) - \mu_s s$$

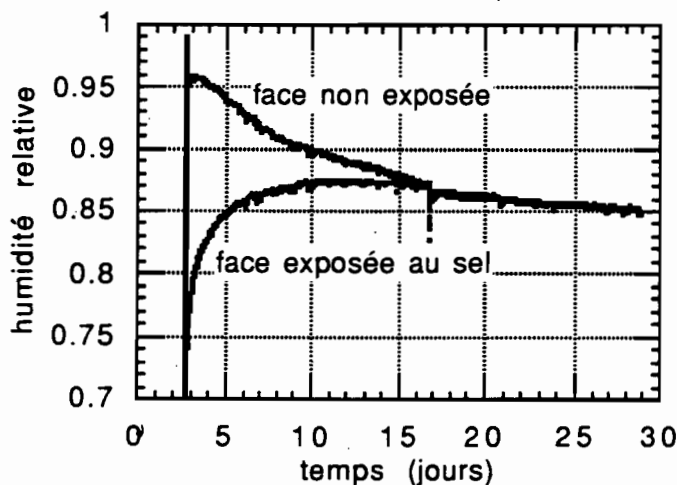
Figure TMP-9: Transport de plusieurs espèces chimiques dans le lysimètre de la Côte-Saint André : détermination des paramètres (Schoen, Gaudet, Elrick, 1998).

- a) Profils de concentration du traceur mesuré et calculés par 2 modèles (MIM et CLT), les paramètres étant identifiés sur la seule courbe expérimentale de percée (coefficient de dispersion : 5,2 cm²/h ; fraction d'eau mobile : 0,8 ; coefficient d'échange phase mobile/immobile : 6,5 h⁻¹ pour MIM).
- b) Courbes de percée mesurée et calculée de l'atrazine (facteur retard : 2 ; taux d'absorption sur la phase solide : 0,012 h⁻¹ ; taux de dégradation dans les phases liquide et sorbée : 0,00 13 h⁻¹)

- La figure TMP-10 (tirée de Madjoudi, 1997) est relative à la diffusion des chlorures dans des matériaux à faible porosité, cause essentielle de la corrosion des armatures métalliques des bétons (convention quadriennale de collaboration avec le LCPC/Division Matériaux). L'ajustement d'un modèle linéarisé des transferts couplés (eau liquide et vapeur, soluté) et pour lequel une solution analytique existe (compte-tenu des conditions initiales et aux limites imposées expérimentalement) aux mesures d'humidité relative de l'atmosphère en contact avec chacune des faces d'une plaque de béton conduit à une estimation du coefficient apparent de diffusion, qui intègre la diffusion de la vapeur et la diffusion-convection du sol.

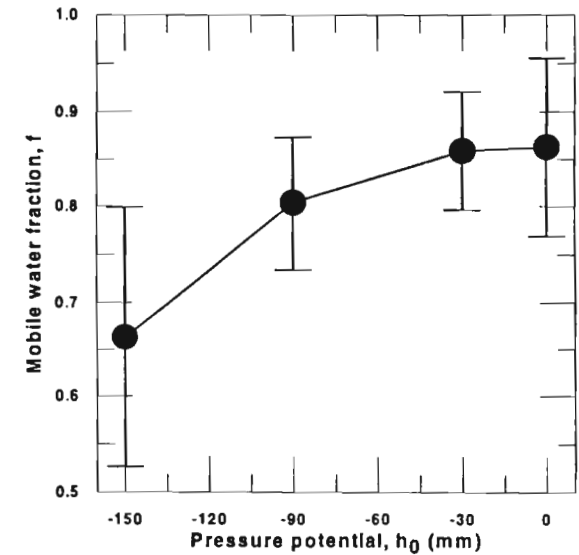
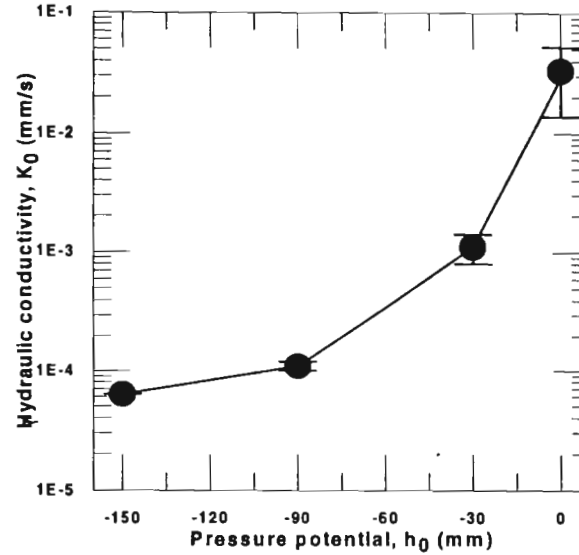
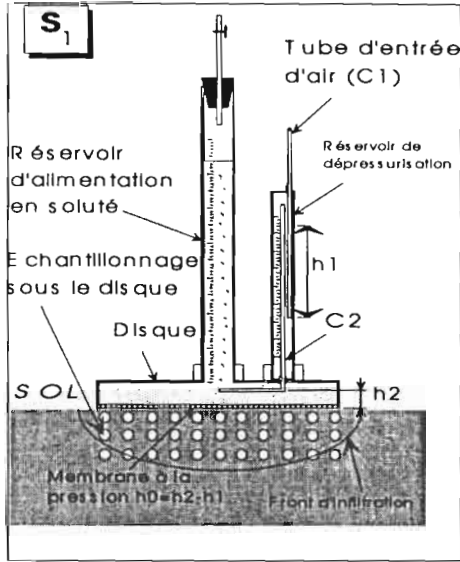


a) modèle linéarisé



b) Mesures : coefficient de diffusion apparent : $1,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$

Figure TMP-10 : Evolution de l'humidité relative de l'air en contact avec les 2 faces d'un échantillon de béton. Différentes doses de sel déposées sur une seule face se redistribuent dans le milieu. L'abaissement du potentiel thermodynamique de l'eau interstitielle, lié à la concentration de sel, s'ajoutant à celui résultant de la pression capillaire, influence la pression partielle de vapeur entraînant par là-même un transport d'humidité par diffusion gazeuse. Celui-ci s'accompagne d'un transfert en phase liquide dû au gradient de pression capillaire qui induit un transport convectif du sel (Madjoudi, 1997).



Infiltration d'eau et d'¹⁸O à différentes succions

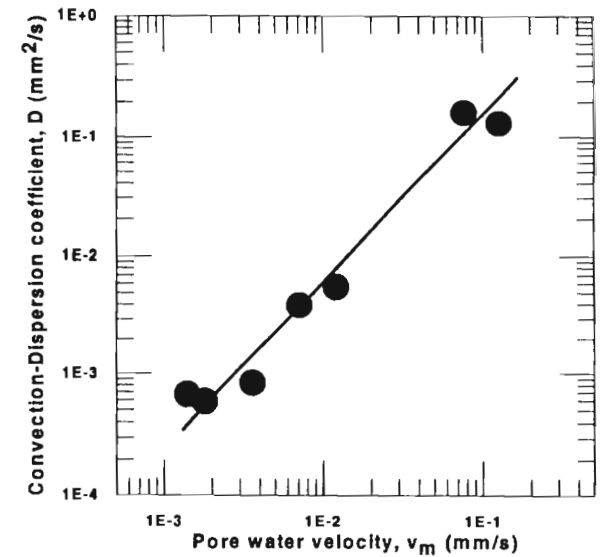
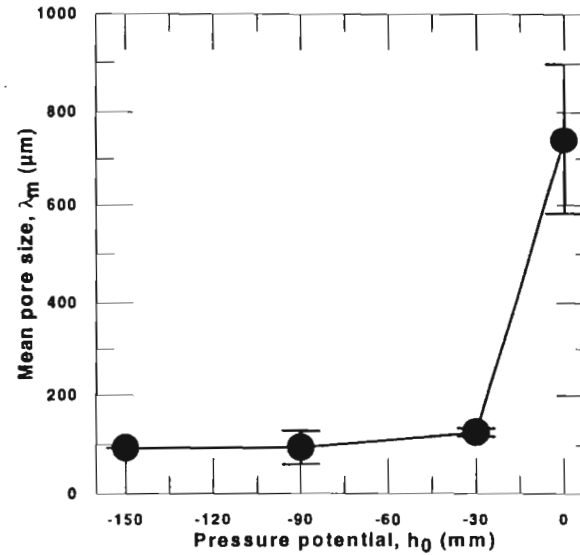
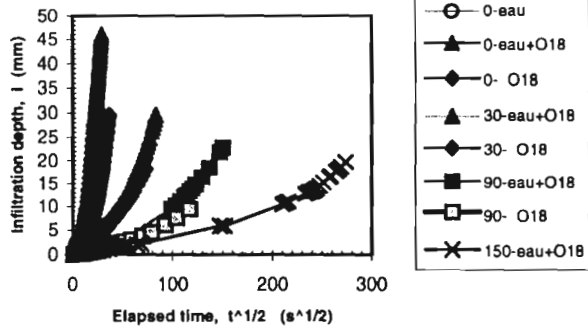


Figure TMP-11: Infiltration d'eau et d'¹⁸O sous succion contrôlée. Estimation de la conductivité hydraulique, du diamètre moyen de pores effectifs, de la fraction d'eau mobile et du coefficient de dispersion pour la caractérisation de l'écoulement d'eau et de soluté (dans S. Roulier, R. Angulo-Jaramillo, J.P. Gaudet, V. Auzet, B. Ladouche, T. Bariac, 1998).

- *Au terrain*, notre effort a été poursuivi :
 - Sur le **développement méthodologique** (voir Vauclin et Angulo-Jaramillo, 1996 pour un état de l'art) de l'infiltrométrie multi-disques sous tension (TRIMS) **couplée** à un traçage à l'aide de substances chimiques inertes vis à vis de la phase solide du sol (Br^- , Cl^- , H_2^{18}O), pour estimer **simultanément** et dans le **même volume de mesure** les propriétés hydrodynamiques (conductivité hydraulique, sorptivité capillaire, dimension caractéristique de pores hydrauliquement fonctionnels) et hydrodispersives (vitesse de pore, coefficient de dispersivité, fraction d'eau mobile) en fonction de l'état hydrique global du sol (e.g. Angulo-Jaramillo et col., 1996).
 - Sur la mise en oeuvre de la méthode sur différents chantiers et sites expérimentaux dans le cadre de programmes coopératifs (ex. DBT II, PNRH) afin d'enrichir une base de données (voir contribution de l'Equipe HZNS). A titre d'exemple, la figure TMP-11 (Roulier et col., 1996 et 1998, collaboration CEREG-Strasbourg, LBI-Paris) illustre la démarche d'un essai de traçage à H_2^{18}O réalisé sur le bassin versant du Ringelbach. Les résultats mettent en évidence le comportement hydraulique **bi-modal du sol**, l'existence d'**écoulements préférentiels** induits par une macroporosité structurale et un volume de mesure (disque de diamètre 250 mm) suffisant pour intégrer la variabilité spatiale à courte distance. Avec une fraction d'eau immobile variant de 15 à 35 % en fonction de l'état énergétique de l'eau du sol), il apparaît une fois encore la **nécessité de considérer dans toute modélisation géochimique un partage de l'eau en deux domaines**.

c) Les paramètres caractérisant les interactions.

Les interactions actuellement considérées concernent les échanges ioniques (systèmes multi-composants et modèles géochimiques) et les adsorptions/desorptions. Elles font intervenir des réactions instantanées (équilibre local) ou des cinétiques d'un seul composant.

Les paramètres correspondants sont déterminés en **conditions d'écoulement**. Le cas le plus simple est celui de l'absorption linéaire instantanée caractérisée par un facteur retard déduit du moment d'ordre 1 de la courbe de percée. Cette situation **très idéale**, ne représente qu'un domaine très restreint de validité, notamment pour les faibles concentrations en solutés. Dans le cas général (comme pour les traceurs !) il existe, a priori, plusieurs modélisations conduisant à la même reproduction d'une courbe expérimentale de percée. Le problème délicat à résoudre est alors la discrimination entre non-linéarité de l'isotherme d'adsorption et cinétique de l'interaction. Cette ambiguïté est levée par l'utilisation de deux outils complémentaires : **essais en réacteur fermé** (batch) pour les **équilibres**, **essais en colonne** avec différentes vitesses **d'écoulement** pour les **cinétiques**. A titre d'exemple, la figure TMP-3c (tirée de Gabriel et col., 1998) montre la comparaison d'isothermes non linéaires d'absorption de l'Uranyle sur de la goethite obtenues en réacteur fermé et sur colonne en écoulement. A même concentration de la solution, la plus faible adsorption observée en batch s'explique par un temps de contact solution-solide plus important permettant une dissolution suffisante de la silice qui entre en compétition avec le soluté pour les sites interactifs.

d) Les bio-transformations.

Elles ont été abordées en conditions contrôlées de fonctionnement : taux de transformation décrit par une cinétique du premier ordre et placé sous la seule dépendance de l'humidité et de la température du sol, concentrations en substrat et en micro-organismes non limitantes.

Un exemple d'identification des paramètres correspondants est donné figure TMP-9b (tirée de Schoen et col., 1998) pour le transfert de l'atrazine dans le sol de la Côte-Saint André. La modélisation considère la convection, la dispersion (identifiées par traçage) une isotherme linéaire d'adsorption (déterminée par le retard de l'atrazine par rapport au traceur) et une cinétique d'ordre 1 de bio-transformation. Compte-tenu de la vitesse d'écoulement assez élevée, l'adsorption (facteur retard de 2) et le taux de dégradation (30 %) faibles montrent la **fragilité** du fonctionnement auto-épuration de la couche superficielle du sol vis à vis de l'atrazine.

e) La conductivité thermique.

Sur la période considérée, l'effort a porté sur la conception et la **réalisation d'un appareil portable de terrain** : le FTCM (Field Thermal Conductivity Meter, Laurent, 1996) pour la mesure in-situ non destructive de la conductivité thermique des sols en fonction de l'humidité (voir chapitre sur "les réalisations technologiques"). Un premier prototype, développé grâce à un financement du PRH/INSU a permis d'apporter une **contribution originale** à des opérations de terrain [MUREX 1996, ALPILLES 1997 (voir paragraphe sur les campagnes de mesures)] pour lesquelles une caractérisation thermo-hydrodynamique complète des sols (Gonzalez-Sosa et col., 1997) est nécessaire pour la modélisation des interactions sol-biosphère-atmosphère (voir contribution de l'Equipe HZNS).

On notera que la Division Technique de l'INSU a porté une évaluation très positive du dossier technique du FTCM qui lui a été soumis pour expertise et considère qu'il constitue une bonne base pour un **développement industriel**.

3. Relations entre coefficients de transfert et topologie des milieux poreux.

Plusieurs approches sont développées et/ou utilisées :

a) Utilisation du traitement d'images.

Dans le cadre du réseau "Porosité, Structures, Imagerie" destiné à rassembler une communauté de chercheurs ayant à caractériser des structures lacunaires naturelles (voir chapitre "Perspectives" du précédent rapport d'activité du LTHE) plusieurs applications ont été développées :

- autour de l'environnement de traitement d'images IPS (Image Packing Software), développé par l'équipe INFODIS du Laboratoire TIMC/IMAG, un système de caractérisation de la neige fondante par mesure des rayons de courbure des ménisques d'eau a été proposé en collaboration avec le CEN-Météo France.
- l'abandon progressif de l'IPS (faute de maintenance et d'évolution suffisantes) au profit de **développements autonomes** (sous Unix pour SUNOS) notamment dans le cadre de la thèse de R.A. Pieritz (soutenance en septembre 1998) en liaison avec des projets de recherche développés au sein du LTHE. Parmi ceux-ci on retiendra :
 - Le simulateur "VRflowIN/VRflowOUT" d'invasion et de drainage de fluides non-mouillants sur des images synthétiques de sections 2D de milieux poreux (Laurent et Pieritz, 1996 ; Pieritz et Laurent, 1997).
 - Le logiciel "VRroat" pour l'estimation des dimensions géométriques (diamètre, longueur), d'objets tels que les racines à partir d'images 2D acquises au scanner pour caractériser le terme d'extraction d'eau par le système racinaire dans les

modèles macroscopiques SVAT [collaboration avec l'équipe HZNS (I. Braud/ E. Gonzalez-Sosa) dans le cadre du projet PNRH/PNTS "ALPILLES", voir ci-après].

- Le logiciel "VRflowmap" pour quantifier les paramètres de forme (taille, superficie, frontière, ...) de pénétration d'un fluide dans un milieu poreux, à partir d'images couleur 2D [collaboration avec l'Equipe HZNS (R. Haverkamp/ F. Gandola, thèse en cours, Gandola et col., 1998)].
- L'ensemble de routines "SoilLab" pour le traitement d'images couleur 2D et reconstruction 3D d'un front d'invasion, et l'interprétation d'expériences de suivi d'écoulements préférentiels dans les sols (projet "PNRH/Ecoulement préférentiels", collaboration avec l'Université Cornell).
- Le développement d'un premier prototype "VRLab3D" pour le traitement, l'analyse, la simulation et la visualisation 3D de milieux poreux fondés sur des techniques de la géométrie discrète et la bibliothèque graphique "COI-Lib" (collaboration avec l'Université de Santa Catarina dans le cadre d'une convention d'échanges CNRS/CNPq).

Quelques illustrations sont fournies ci-après au chapitre des "Réalizations technologiques" du Laboratoire, l'ensemble de ces activités étant présenté sur notre site Web : <http://www.lthesun.hmg.inpg.fr>.

b) Structures poreuses et modélisation multi-échelles.

Il s'agit ici d'inférer différentes propriétés de transport (conductivité électrique, ionique, hydraulique, perméabilités relatives) par une **modélisation de type percolation**.

Le principe du modèle XDQ développé (Xu, Daïan, Quenard, 1997 ; thèse Xu, 1995) repose sur la reconstitution de la distribution des volumes porométriques selon les diamètres de pores (obtenus expérimentalement par injection de mercure dans des échantillons de milieux poreux) par un ensemble multi-échelles de réseaux. La contribution de chacun d'eux à la connexion de l'espace poreux est obtenue au moyen d'une procédure itérative de changement d'échelle ou renormalisation qui assure la conservation de la longueur de corrélation. La figure TMP-12a, tirée de Xu et col., 1997, illustre la procédure et sa validation expérimentale sur la perméabilité intrinsèque de 31 matériaux.

L'achat par le LTHE d'un porosimètre à mercure (cofinancement INSU-OA/ST, Quadriennal MENRT, ressources propres) a permis d'acquérir de façon adaptée un grand nombre de données nécessaires à la mise en oeuvre du modèle, et a induit de nouveaux développements. Parmi ceux-ci :

- la prise en compte du **volume piégé** au retrait du mercure dans la méthode de reconstitution de la distribution porosimétrique.
- l'intégration de l'**effet Knudsen** et l'influence du niveau de pression, rendues nécessaires pour le calcul de la perméabilité au gaz d'un **matériau partiellement saturé** (figure TMP-12b, tirée de Rambaux, 1997 ; rapport Daïan, 1997 ; convention de recherche avec le CEA-Saclay ; Gallé et col., 1997).

On notera que le modèle XDQ a été exploité et validé pour étudier le comportement et la dégradation au feu des Bétons Hautes Performances (figure TMP-12b, tirée de la thèse de M. Tsimbrovska, 1998, en collaboration avec le CSTB).

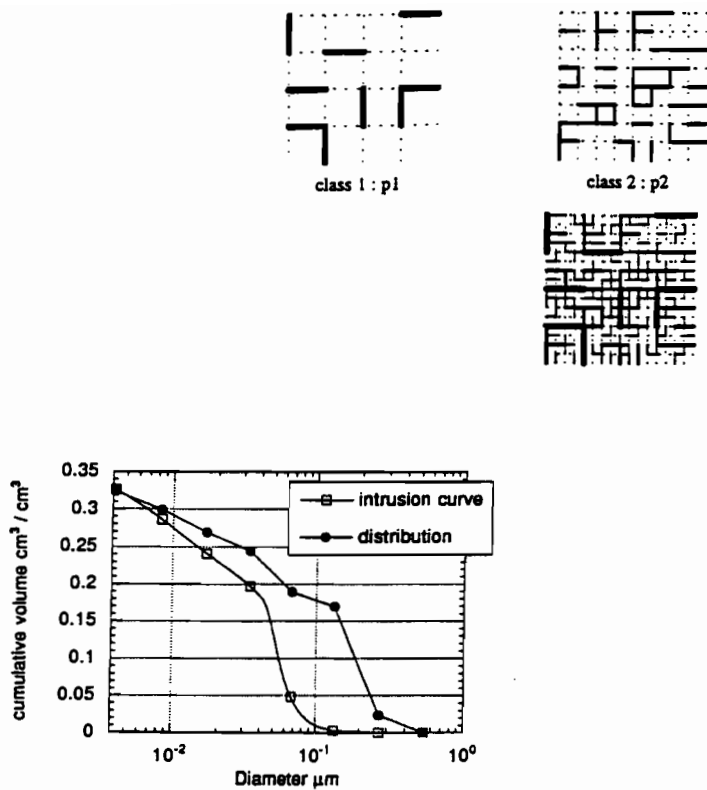


Figure 9. Experimental mercury intrusion curve and reconstituted pore-size distribution for cement paste (no sand, water/cement ratio 0.4).

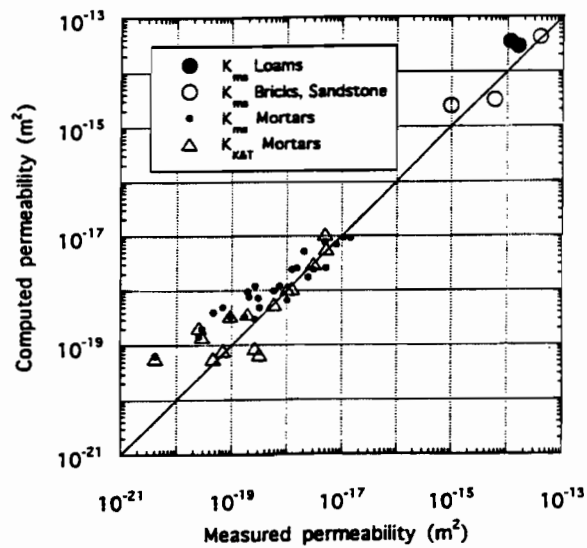


Figure 10. Intrinsic permeability computed according to the multiscale model method (K_{ms}) and according to Katz and Thompson's method (K_{KAT}), versus measured permeability, for 31 test materials.

a) Principe et validation sur la perméabilité intrinsèque de 31 matériaux (Xu, Daian, Quenard, 1997).

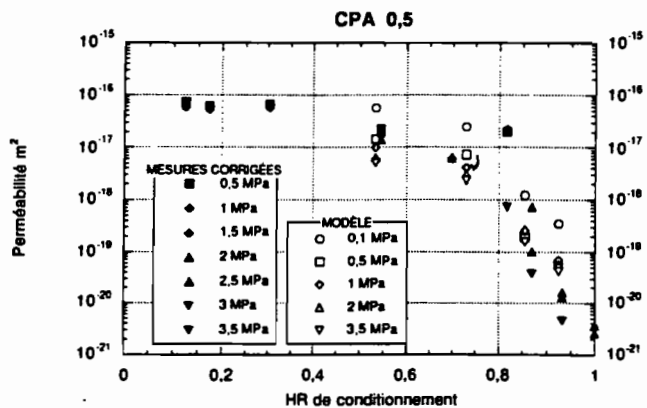


Fig. 4 Perméabilité au gaz d'une pâte de ciment en fonction de la saturation. Mesures et estimation XDQ.

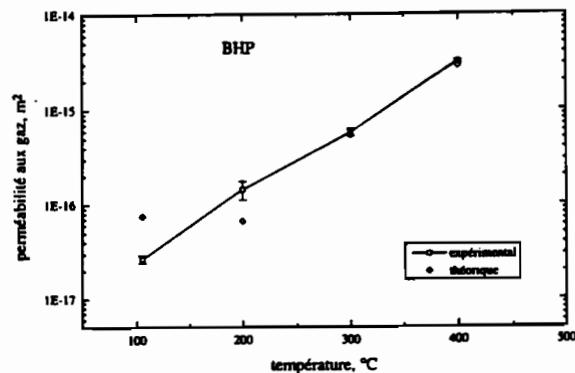


Figure 92. Evolution avec la température de conditionnement de la perméabilité (valeurs expérimentales et théoriques) : a) dans le MHP ; b) dans le BHP. Les valeurs théoriques sont calculées selon le modèle XDQ

b) Exemple d'exploitation du modèle pour le calcul de la perméabilité au gaz :
 i) d'un milieu partiellement saturé en eau (fig. 4, Rambaux, 1997) ; ii) d'un Béton Haute Performance en liaison avec la dégradation de sa microstructure, suite à échauffement (fig. 92, tirée de Tsimbrovska, 1998 ; col. LTHE/CSTB-Grenoble).

Figure TMP-12 : Modélisation multi-échelles XDQ.

c) Relations permittivité électrique/teneur en eau

Cette étude, située à l'interface entre la physique des mesures électromagnétiques et celles des matériaux poreux et de l'hydrologie, a été rendue **indispensable** par l'abandon progressif des méthodes nucléaires pour estimer in-situ l'humidité des sols (suite à la pression écologiste) et leur remplacement par la Réflectométrie dans le Domaine Temporel (TDR). Par rapport à l'existant au sein des communautés concernées par cet aspect, deux **sauts qualitatifs** importants ont été effectués sur la période de référence :

- *Pour la conversion permittivité/teneur en eau.*

Après un recensement aussi exhaustif que possible des modèles de conversion, considérés jusqu'à maintenant comme **empiriques**, une démonstration **unifiée**, fondée sur la Théorie du Milieu Effectif a été proposée (Zakri et Laurent, 1996 ; thèse Zakri, 1997). Ainsi, il a notamment été montré que le modèle "ALPHA" a une **base physique** dès lors que la forme des inclusions diélectriques n'est pas uniforme, mais suit une loi **Béta de distribution** (Zakri et col., 1998). La performance des modèles a été évaluée sur une base importante de données expérimentales recueillies sur un dispositif original de Laboratoire (voir Chapitre "Réalizations technologiques"), et ce pour différents géomatériaux consolidés (roches, béton cellulaire, plâtre) ou non (sable, calcite, tourbe, sols de la Côte-Saint André, de Murex...) de minéralogie et densité variées. La figure TMP-13 montre le **bon** comportement du modèle "ALPHA" pour restituer les teneurs volumiques en eau mesurées.

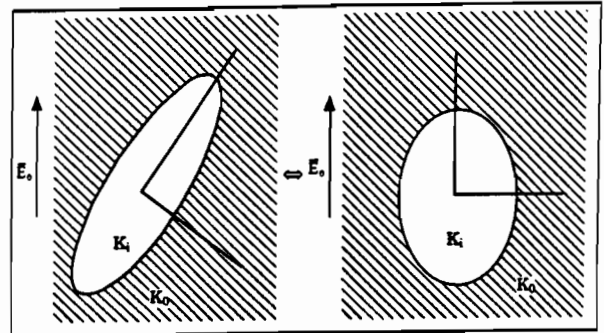
Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet PNRH "Apports des méthodes géophysiques à l'étude de la circulation des fluides en sub-surface" co-coordonné par J.P. Pozzi/ENS-Paris et J.P. Laurent.

- *Sur la détermination directe d'un profil de teneur en eau par TDR.*

Une **nouvelle méthode** dénommée "TDR-SSI" pour TDR (Signal Spatial Inversion) permettant d'obtenir directement un profil de teneur en eau à partir d'un seul signal TDR complet se propageant dans des électrodes a été développée dans le cadre de la thèse de L. Pereira dos Santos (1997) en collaboration avec l'Equipe HZNS (Pereira dos Santos et col., 1996, 1997). Elle est inspirée du formalisme décrivant la propagation d'une onde TEM dans un guide dont l'impédance caractéristique varie continûment et qui conduit à une équation de Riccati. Sa mise en oeuvre ne nécessite que deux transformations assez élémentaires (inversion proprement dite et renormalisation) pour établir la correspondance temps/espace (voir le principe dans le chapitre "Réalizations technologiques". A titre d'exemple, la figure TMP-14 (tirée de la thèse de L. Pereira dos Santos, 1997) montre la qualité de la détermination d'un profil hydrique dans un cas d'hétérogénéité particulièrement sévère. D'autres résultats sont fournis en annexe. Ils ont été jugés suffisamment encourageants pour faire l'objet d'une étude plus exhaustive dans le cadre du projet PNRH "Optimisation de méthodes diélectriques pour l'hydrologie" dont un **axe** est consacré à l'intercomparaison in-situ de méthodes de mesure de profils de teneur en eau : 6 sites sont déjà équipés sur des parcelles gérées par les différents partenaires [CEMAGREF-Montpellier, CEREG-Strasbourg (voir Auzet et col., 1997), Université/CIRAD-La Réunion, INRA-Avignon, LTHE-Grenoble]. Un **autre axe** vise à étendre notre méthode à d'autres matériaux comme la neige et la glace (participation CEMAGREF-Grenoble, CEN/Météo France-Grenoble).

On notera que depuis 1997 l'ensemble de ces activités s'intègre dans le réseau national de laboratoires **MeDITE** (**M**esure **D**iélectrique la **T**eneur en **E**au) animé et coordonné par J.P. Laurent et en voie d'internationalisation à la demande de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique qui souhaite promouvoir une étude comparative aussi exhaustive que possible entre les techniques nucléaires et des méthodes alternatives pour la mesure **non** destructive du contenu en eau des sols.

Dénomination	Formule
Non-consistant	
- Borne inférieure	$\frac{K - K_0}{K + u K_0} = \theta \frac{K_c - K_0}{K_c + u K_0}$ avec $u \geq 0$
- Borne supérieure	$\frac{K - K_c}{K + u' K_c} = (1-\theta) \frac{K_0 - K_c}{K_0 + u' K_c}$ avec $u' \geq 0$
Auto-consistant	
	$\theta \frac{K_c - K}{K_c + u K} + (1-\theta) \frac{K_0 - K}{K_0 + u K} = 0$ avec $u \geq 0$
Lichteneker	
	$K = K_c^\theta K_0^{(1-\theta)}$
	$K^\alpha = \theta K_c^\alpha + (1-\theta) K_0^\alpha$ avec $-1 \leq \alpha \leq 1$
Bruggeman	
- Borne inférieure	$\left(\frac{K - K_0}{K_c - K_0}\right) \left(\frac{K_c}{K}\right)^{\frac{1}{1+u}} = \theta$ avec $u \geq 0$
- Borne supérieure	$\left(\frac{K - K_c}{K_0 - K_c}\right) \left(\frac{K_0}{K}\right)^{\frac{1}{1+u'}} = 1 - \theta$ avec $u' \geq 0$



(a)

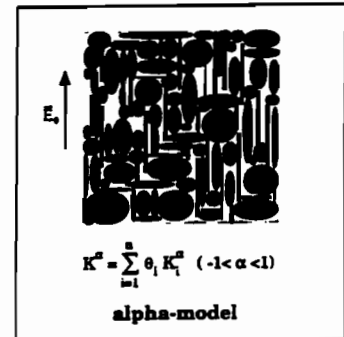


Tableau II.2 : Synthèse des différents modèles de lois de mélange testés.

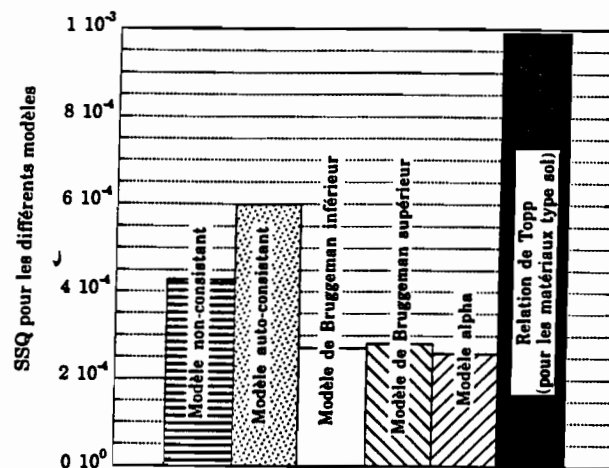


Figure V.3 : Comparaison de la moyenne de l'efficacité entre les teneurs en eau estimées et celles mesurées par pesée, pour tous les échantillons étudiés (sauf plâtre et BCA) et pour les différents modèles de lois de mélange étudiés.

Figure TMP-13 : Validation du modèle "ALPHA" de calcul de la permittivité électrique des milieux poreux en fonction de l'humidité. On notera l'important gain de précision apporté par les modèles (notamment ALPHA) par rapport à la relation empirique de Topp et col. (1980) extensivement utilisée par les constructeurs de systèmes TDR (Zakri, 1997 ; Zakri, Laurent, Vauclin, 1998).

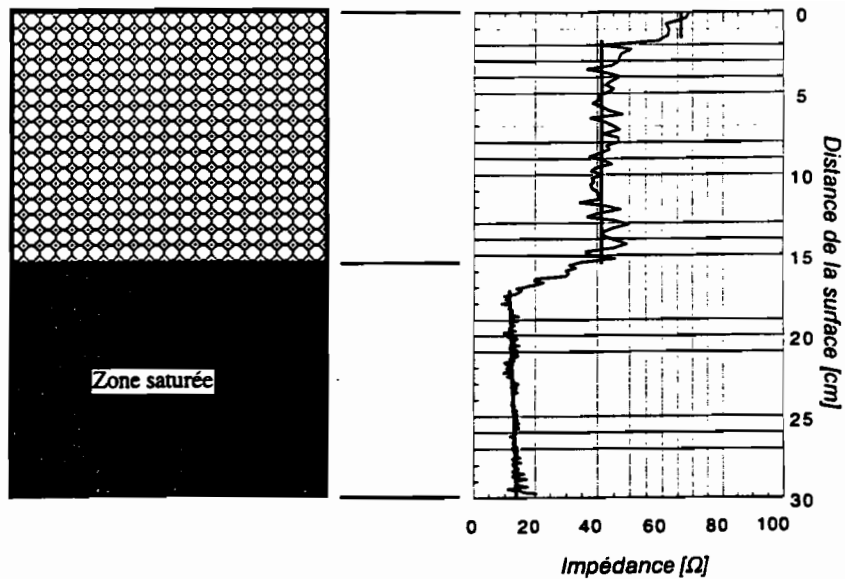


Fig. 4.8 : Expérience sur un empilement de billes de verre partiellement saturé (à gauche) ; à droite : profil d'impédance déterminé par TDR-SSD.

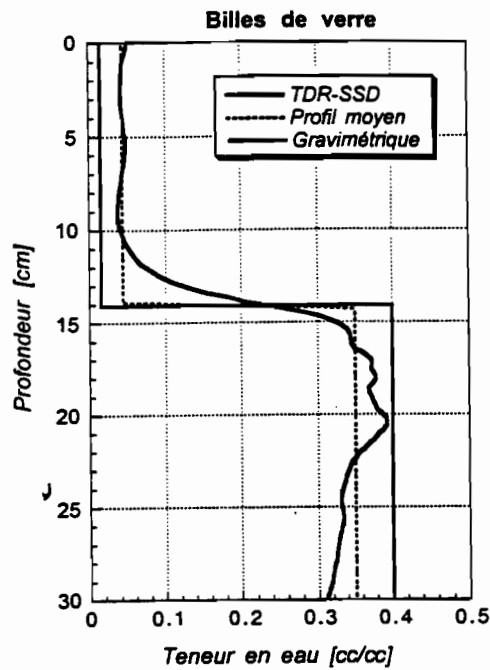


Fig. 4.9 : Profils de teneur en eau dans l'expérience de la Fig. 4.8. Escalier en trait continu : profil théorique ; pointillés : moyenne dans la zone du profil TDR-SSD.

Figure TMP-14 : Estimation du profil d'humidité par la méthode TDR - Signal Spatial Inversion. Les électrodes sont implantées verticalement dans un empilement de billes de verre dont la moitié supérieure est sèche et la moitié inférieure saturée (Pereira dos Santos, 1997).

PERSPECTIVES

Elles se situent dans la poursuite de notre effort de compréhension, d'identification et de modélisation des mécanismes responsables des transferts de masse et d'énergie, des interactions physico-chimiques et des (bio) transformations en milieux poreux avec une inflexion marquée vers les systèmes hétérogènes qui s'écartent bien souvent des hypothèses modélisatrices classiquement et communément admises ou utilisées.

L'équilibre entre les aspects expérimentaux (incluant les développements métrologiques) et théoriques sera maintenu, dans toute la mesure du possible. L'ouverture déjà pratiquée vers des disciplines connexes et complémentaires telles que la géochimie et la chimie isotopique, la biologie et la microbiologie des sols, la géophysique sera amplifiée, notamment dans le cadre d'actions programmatiques en cours (XI CPER, PNRH, Programmes GEOMATERIAUX/INSU, "Mercure en Guyane"/PIR.EVS-TTEC) et dans lesquelles nous avons des engagements contractuels actuels, ou à venir (Programme UE/DGXII, du 5ème PCRD).

Les perspectives de l'Equipe peuvent se décliner selon les 3 axes suivants :

1. Matériaux poreux fortement hétérogènes.

De nombreuses études menées au sein du LTHE et ailleurs mettent en évidence :

- l'importance jouée par les hétérogénéités locales (texturales ou structurales, de type déterministe ou aléatoire) dans les phénomènes macroscopiques de transfert et de transport en milieu poreux (qu'ils soient pulvérulents ou consolidés)
- la nécessité subséquente de disposer d'outils adéquats de description, de caractérisation et de modélisation de tels milieux.

Cet aspect sera développé par voie expérimentale et théorique :

a) Au plan expérimental

Un modèle physique de laboratoire, baptisé **MEET-MPC** (Modèle d'Etudes Environnementales des Transferts en Milieux Poreux Complexes) suffisamment "versatile" (pour étudier différents types d'hétérogénéités déterministes, sous différentes conditions d'écoulement) sera réalisé et dûment instrumenté de façon à étudier des systèmes de complexité croissante :

- milieu à **double porosité** : fissure à géométrie simple (e.g. cylindrique, plane) et matrice poreuse homogène en conditions saturantes
- milieu **périodique** réalisé par empilement de blocs consolidés avec joints aux propriétés contrastées
- réseau de fissures avec présence de **plusieurs fluides** insaturant la porosité
- milieu susceptible d'engendrer ses propres hétérogénéités locales (e.g. réactions de dissolution/précipitation, déformations).

Ces études s'appuieront, à l'échelle **microscopique**, sur la description et la quantification de la topologie de l'espace poral à l'aide de techniques (porosimétrie au mercure, banc de sorption, imagerie, ...) maîtrisées ou développées précédemment par l'Equipe et à l'échelle **macroscopique**, sur la réalisation d'expériences de traçage/marquage chimique en régime hydraulique permanent ou transitoire.

b) Au plan théorique

Les données acquises serviront au développement de méthodes de **macroscopisation** et à l'établissement de leurs conditions d'application et du domaine de validité des résultats. A cet égard, on s'appuiera sur :

- *L'expérience acquise* dans ce domaine par J. Lewandowska (MC/UJF, récemment recrutée au LTHE, voir tableau "Mouvement des personnels") et sur une collaboration avec le Laboratoire 3S-Grenoble (J.L. Auriault) dans le cadre d'un Programme Pluri-Formations en cours d'élaboration.
- *Les travaux antérieurs* de l'Equipe portant sur la modélisation numérique multi-échelles (voir Chapitre "Résultats", Saliba et Daïan, 1990).
- *Le réseau de laboratoires* piloté par le LEPT-Bordeaux (M. Quintard) dans le cadre du projet "Transferts Complexes en Milieux Poreux et Ressources en Eau" soutenu par le PNRH.

On notera que l'étude de l'influence d'une distribution **aléatoire** des hétérogénéités et transferts hydriques dans les milieux pulvérulents ou agrégés et les conséquences sur la migration de polluants dissous sera poursuivie, à l'aide de deux outils expérimentaux, réalisés dans le cadre de collaborations.

- le modèle physique 3D mis au point avec l'Institut de l'Environnement de l'UE/Ispra (voir Chapitre "Résultats")
- un lysimètre de laboratoire développé conjointement avec le LPCV-Grenoble, dans le cadre d'un Programme Pluri-Formations, en cours.

Dans les deux cas de figure, l'objectif est la quantification des écoulements préférentiels d'eau et des flux de substances chimiques susceptibles d'être convectés en conditions insaturées ou au voisinage de la saturation, et la pertinence ou non de les schématiser par un champ bi-modal de vitesse de pore (concept d'eau mobile/immobile).

Cette étude réalisée en collaboration avec l'Equipe HZNS s'inscrit dans le cadre du projet "Mécanismes et dynamique des écoulements préférentiels dans les sols non saturés" coordonné par L. Di Piéto/INRA-Avignon, soutenu par le PNRH (thèse S. Roulier, en cours).

2. Interactions et Interfaces.

a) Dans le domaine des interactions (bio) physico-chimiques entre l'eau, ses solutés et la matrice poreuse solide, dans l'économie générale de l'approche développée ces dernières années par l'Equipe et dans le cadre d'un partenariat renforcé avec nos collègues géochimistes, l'accent sera mis sur les aspects suivants (sous-tendus par la préoccupation sociétale de préservation du patrimoine environnemental et/ou culturel).

- *Etude du transport de Composés Organiques Volatils* (Benzène, Toluène, Xylène) par diffusion dans la phase gazeuse, la source étant dans la phase liquide (post-doc de U. Gabriel, financé par GdF, collaboration avec le LGIT-Grenoble).

- *Etude du transport de métaux lourds dans les sols* avec, si nécessaire, prise en compte des effets biotiques : l'intérêt suscité pour l'essentiel par des demandes externes se focalisant sur le cuivre (collaboration avec le DIHA/Santiago, accords CNRS/CONICYT), le mercure (programme TTEC/PIR.EVS sur la Guyane, collaborations multiples coordonnées par J.P. Gaudet) et les transuraniens (thèses de P. Crançon et A. Martin-Garin, financées par le CEA, avec un co-direction LGIT-Géochimie des Eaux/LTHE).
- *Etude de la bio-transformation de molécules xénobiotiques* dissoutes dans un sol et recherche de son efficacité maximum par une meilleure compréhension entre la structure de l'écoulement d'eau (fraction eau mobile/immobile, degré d'aération), la localisation et l'activité des micro-organismes compétents (thèse C. Pallud en cours, collaboration avec le LEMS-Lyon).
- *Etude des réactions de précipitations/dissolution de géomatériaux* du bâtiment (e.g. pierre, béton), vues sous deux angles "orthogonaux" :
 - évolution de la matrice solide sous l'effet de la géochimie de la solution (e.g. acidité) et conséquences induites sur les paramètres du transfert
 - inversement, rôle des hétérogénéités locales créées sur la migration des fluides et le transfert ionique.

b) En complément des interfaces internes au milieu poreux, entre phases solide et fluide, objet du précédent paragraphe, il convient également de prendre en compte de façon réaliste, les forçages atmosphériques externes qui déterminent les conditions aux limites. Dans cette optique, une étude sur les interactions entre une pierre particulière, le Tuffeau du Val de Loire (bien connu par ailleurs) et son environnement microclimatique immédiat a été initiée en 1997 dans le cadre du projet "Pluie, Pollution et Dégradation des Monuments" soutenu par le Programme INSU "GEOMATERIAUX" (coordination J.P. Laurent, collaborations avec le CDGA-Bordeaux, l'IUT/Génie-Civil-St. Nazaire, le LGIT-Grenoble) :

- La réalisation d'expériences de laboratoire visant à estimer les propriétés de transfert du matériau et à quantifier les interactions géochimiques eau-matrice solide.
- Le suivi hydrométéorologique in-situ (réalisé en collaboration avec l'Equipe HMET) d'une paroi verticale (pour caractériser l'interception de la pluie en fonction des conditions climatiques locales (phénomène actuellement peu connu)

permettront d'acquérir les données nécessaires à la validation du modèle hydro-thermique STEP (voir paragraphe "Résultats") et au développement, dans le cadre de l'Atelier de Modélisation Hydrologique et Environnementale (AMHYE) de son couplage avec une modélisation géochimique des processus de dissolution/précipitation sous l'effet de l'eau et des divers agents polluants qu'elle peut contenir.

On notera que cette étude s'inscrit dans la suite du Programme Franco-Allemand de recherches pour la conservation des monuments historiques qui s'est achevé en 1997. Elle constitue un précurseur au dépôt d'un projet au futur Appel d'Offres du 5ème PCRD de l'UE pour lequel nos partenaires allemands ainsi que le LRMH du Ministère de la Culture nous sollicitent pour en assurer la coordination. Elle vise également à anticiper le développement probable d'un thème relatif à la "micro-hydrologie urbaine" dans laquelle le bâti joue un rôle essentiel sur les écoulements.

3. Méthodes électriques d'exploration des milieux poreux.

Les méthodes et outils de mesure des propriétés électriques des milieux poreux ont considérablement évolué ces dernières années (et l'Equipe y a largement contribué, voir paragraphe "Résultats"), aussi bien dans le domaine fréquentiel (sondes capacitives) que temporel (TDR et guides d'ondes). La qualité des instruments et les techniques nouvelles d'interprétation des signaux délivrés nous permettent maintenant d'envisager toute une gamme d'applications innovantes dans la physique des milieux poreux (notamment insaturés) et l'hydrologie :

- la possibilité de mesurer directement les profils de teneur en eau par la méthode TDR-SSI (voir paragraphe "Résultats") doit conduire à améliorer les méthodes d'estimation (laboratoire et terrain) des coefficients de diffusion hydrique dans les poreux.
- la détermination non destructive et simultanée par TDR des **concentrations en eau et ioniques** (obtenues à partir de la conductivité électrique) apparaît très attractive, dans la mesure où elle est réalisée dans un même volume et justifie des investigations approfondies.
- la mesure des **fréquences de relaxation** doit fournir des informations sur l'état énergétique de l'eau dans un milieu poreux, complémentaires à celles obtenues de façon plus traditionnelle par tensiométrie et psychrométrie.
- la mise en évidence expérimentale d'un gradient de potentiel électrique induit par un écoulement d'eau dans un sol non saturé (voir contribution de l'Equipe HZNS) apparaît extrêmement prometteuse pour faire émerger la **seule méthode de mesure directe** in-situ des flux d'eau.

L'étude de ces différents aspects, qui s'inscrit dans le cadre du réseau multi-organismes MeDITE, soutenu par le PNRH (voir ci-dessus) sera poursuivie :

- *sur le plan théorique*, pour une meilleure compréhension des processus à l'origine des propriétés électriques mesurées, et le développement de techniques d'inversion fiables pour identifier les paramètres de transfert.
- *sur le plan numérique*, pour la simulation de la propagation des ondes électromagnétiques en milieux poreux hétérogènes.
- *sur le plan expérimental*, la réalisation d'expériences de laboratoire (en conditions contrôlées) et le suivi in-situ sur plusieurs sites (aux caractéristiques très contrastées) dûment instrumentés et gérés par les différentes équipes du réseau MeDITE (pour le LTHE, voir le projet "Métrologie et Instrumentation pour l'HYdrologie et l'Environnement/MInHYE" dont le pilotage est assurée par l'Equipe) pour le développement, l'intercomparaison et la validation des différentes méthodes d'une part, le test et la qualification de nouveaux capteurs, d'autre part.

XU Ke

Structures multiéchelles : modèles pour la description des matériaux poreux et l'estimation de leurs propriétés de transport.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I
(Thèse en collaboration entre le LTHE et le CSTB/Grenoble).

24 mars 1995

Jury : Président : VAUCLIN M.
Rapporteurs : ADLER P.M., VAN DAMME H.
Examineurs : TRAN N.L., DAIAN J.F., QUENARD D.

Résumé

La porosité des matériaux de construction peut parfois couvrir plusieurs ordres de grandeurs (du nanomètre au micron par exemple). Dans la méthode proposée, de tels milieux poreux sont décrits en superposant plusieurs réseaux aléatoires de liens. Les réseaux initiaux sont une reproduction numérique du volume et de la distribution en tailles des différentes classes de pores présents dans le matériau. A partir de ces réseaux, on construit un réseau monoéchelle en utilisant un processus itératif qui, à chaque échelle, superpose au réseau existant, un réseau équivalent représentant le réseau de l'échelle inférieure. Ce processus est appliqué pour calculer la "vraie" distribution des pores à partir d'une courbe expérimentale de porosimétrie au mercure. A partir de cette distribution, il est alors possible de calculer numériquement différents coefficients de transport (la conductivité électrique, la perméabilité pour des fluides mouillants et non-mouillants, la diffusion de la vapeur d'eau en présence d'une phase condensée) en utilisant une méthode de renormalisation. La procédure développée, qui ne demande que la connaissance de la courbe de pénétration au mercure, est appliquée à divers matériaux et les résultats sont comparés aux données expérimentales ainsi qu'au modèle de Katz et Thompson.

Mots clés : Modélisation. Réseaux multi-échelles. Percolation. Renormalisation. Microstructure. Porosité. Transport. Perméabilité.

Abstract

Multiscale model structures to describe the microstructure of porous materials and to predict their transport properties.

A porous medium is described as the superposition of several regular lattices representative of the various pore-sizes present. The scale of each lattice is proportional to the corresponding pore-size and it is occupied at a particular rate. An equivalent monoscale lattice is built-up by means of an iterative process involving rescaling and superposition of the next lattice. Mercury intrusion into this structure is modelled. Solving the inverse problem leads to the pore-size distribution of a given material, starting from its mercury intrusion characteristic. The transport properties (electrical conductivity, darcian permeability for wetting and non-wetting phase, vapor diffusivity in the presence of capillary water) can then be computed as a function of the saturation, using the real space renormalization method. The method, which requires only the knowledge of the mercury intrusion curve, is applied to various materials and the results are compared to the experimental data and Katz and Thompson's model prediction.

Transferts de solutés dans un lysimètre en conditions contrôlées : expériences et simulations.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.

25 Octobre 1996

Jury : Président : CHARLET L.
Examineurs : GAUDET J.P., SARDIN M., VAUCLIN M.
Rapporteurs : BARIAC Th., SAUTY J.P.

Résumé

Les études du transfert de solutés dans les sols réalisées en Laboratoire (colonnes de sol) ne sont pas totalement représentatives des conditions de terrain (variabilité spatiale, structuration du sol...). D'un autre côté, les études de terrain à grande échelle permettent difficilement de quantifier les flux et les mécanismes. Une approche intermédiaire est proposée, avec un lysimètre (1,7 m³) de sol peu remanié, sur lequel on contrôle les conditions aux limites imposées.

On utilise un flux hydrique constant de l'ordre de 1 mm/h. Des solutés sont introduits sous forme de créneaux de concentration. Les espèces utilisées sont : ²H₂O, H₂¹⁸O, I⁻, Cl⁻, Br⁻, comme traceurs, et atrazine, K⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, comme espèces interactives et/ou réactives.

L'analyse des courbes d'éluion obtenues permet l'identification des mécanismes prépondérants et le chiffrage des paramètres pertinents. Les outils utilisés pour cela sont les modèles fondés sur la convection-dispersion (CD et MIM), le modèle convectif à fonction de transfert log-normale (CLT), et le modèle couplé transport-chimie IMPACT.

Les résultats montrent qu'une partie de l'eau ne participe pas à l'écoulement. Ainsi les hypothèses classiquement admises dans le modèle CD sont dans ce cas invalidées. L'exclusion anionique provoque une sortie précoce des traceurs anioniques par rapport aux traceurs isotopiques. L'ammonium apporté est majoritairement nitrifié. Le potassium subit des échanges cationiques avec le calcium et le magnésium. Dans nos conditions d'essai, la restitution de l'atrazine à la sortie du monolithe est importante et sa dégradation faible.

La dernière expérience est réalisée en interrompant l'alimentation en eau avant l'apparition des solutés à la sortie. Le prélèvement de 400 échantillons de sol au sein du lysimètre donne une image des distributions de teneur en eau et de concentration, qu'on peut comparer aux courbes d'éluion. L'interprétation révèle une forte variabilité spatiale et tend à suggérer l'occurrence d'écoulements préférentiels que l'utilisation de colonnes de petite taille peut occulter.

Mots clés : Sol ; Traceur ; Lysimètre ; Simulation mathématique ; Pesticide ; Transferts de solutés ; échange cation ; expérimentation.

Abstract

Solute transfer in a lysimeter under controlled conditions : experiments and simulations.

Laboratory studies of solute transfer in soils (soil columns), are not totally representative of field conditions (spatial variability, soil structure...). On the other hand, field studies hardly allow quantification of fluxes and mechanisms.

An intermediate approach is put forward, using a lysimeter (1.7 m³) of almost undisturbed soil, where imposed boundary conditions are being controlled.

A constant water flux of the order of 1 mm/h is used. Solutes are introduced as concentration pulses. Species ²H₂O, H₂¹⁸O, I⁻, Cl⁻, Br⁻ are used as tracers, and atrazine, K⁺, NH₄⁺, NO₃⁻ as interactive and/or reactive solutes.

Elution curve analysis allows the identification of main mechanisms and assessment of the relevant parameters. Tools for this are models based on convection-dispersion (CD and MIM), the convective lognormal transfer function model (CLT), and the coupled transport-chemistry model IMPACT.

Results show that part of the water is immobile. Thus, classical hypotheses assumed in the CD model are invalidated in this case. As a consequence of anion exclusion, anion tracers show up at the outlet with a significant advance as compared to isotopic tracers. The added ammonium is mostly nitrified. Potassium undergoes cation exchange with calcium and magnesium. In our experimental conditions, atrazine elution shows an important restitution rate and low degradation.

The last experiment is run, interrupting the flow before solute restitution. 400 soil samples are dug out of the lysimeter and yield images of concentration and water content distributions, which are compared to elution curves. High spatial variability is observed and suggests the occurrence of preferential flow, which can be overlooked when using small sized columns.

PEREIRA DOS SANTOS Luis

Développement d'une nouvelle méthode de détermination des profils de teneur en eau dans les sols par inversion d'un signal TDR.

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble

28 Novembre 1997

Jury : Président : AURIAULT J.L.

Examineurs : BUISSON O., LAURENT J.P., THONY J.L., VACHAUD G.

Rapporteurs : ANGENIEUX G., MERMOUD A.

Résumé

Le problème de la mesure des profils de teneur en eau dans les sols est fondamental en hydrologie de la zone non-saturée. Jusqu'à présent, pour cela, on utilisait la technique nucléaire dite de la "sonde à neutrons". Nous proposons une nouvelle méthode, diélectrique cette fois, basée sur l'analyse d'un signal de réflectométrie temporelle (TDR) acquis sur une sonde bi-tiges dont la longueur définit la profondeur explorée. Son principe est le suivant : le signal TDR peut être considéré comme un ensemble de réflexions sur des discontinuités d'impédances. S'il y a dans le milieu des variations de teneurs en eau, elles provoquent des fluctuations d'impédance qui contribuent au signal TDR enregistré. Le problème est donc de trouver une méthode pour inverser ce signal et retrouver ces fluctuations. Pour le traiter, nous revenons à la théorie de la propagation des ondes TEM dans une ligne hétérogène qui conduit à la formulation d'une équation de Riccati. Pour la résoudre analytiquement, nous introduisons un certain nombre d'hypothèses : petites réflexions, milieu non dispersif, faibles pertes. Avec ces simplifications et une schématisation du signal délivré par l'appareil TDR, l'algorithme d'inversion que nous proposons finalement prend une forme particulièrement simple. On passe ensuite du profil d'impédance à celui de permittivité puis, enfin, à celui de teneur en eau en utilisant une calibration comme la relation de Topp, par exemple. Nous avons testé notre méthode tout d'abord en laboratoire sur des modèles physiques stratifiés puis, sur le terrain, sur des sites très différents : sols de plaine ou de montagne, fins ou grossiers, sableux ou très argileux. Comparée à d'autres mesures classiques, notre méthode a donné d'excellents résultats lorsque les pertes par conduction ne sont pas trop élevées ce qui s'est produit pour deux des cinq cas testés.

Mots clés : Sols, zone non-saturée, teneur en eau, TDR, inversion, méthodes diélectriques.

Abstract

A new method to measure soil water content profile using a TDR signal inversion technique.

The soil water content profiles measurements problem is crucial in the vadose zone hydrology. Until now a nuclear method (Neutron probe) has mostly been used. In the present work, we propose a new method based upon the electromagnetic waves reflection theory in the case of inhomogeneously filled two wire wave-guiding structure. An analysis technique for the TDR signal is then suggested so that the soil-moisture profile is reconstructed from the effective permittivity profile $K(z)$ of the porous media (soil water). Since there exists a relation between $K(z)$ and the wave guide impedance profile $Z(z)$, an expression of the reflection coefficient (Riccati-type equation) was obtained based on the concept of distributed parameters using a circuit-analysis approach. Assuming non-dispersive and small losses medium, and that $Z(z)$ is a slowly varying function of the position there will be weak reflections being produced. Then a Rayleigh approximation is used to yield a simple inversion method for the TDR signal. Our method has extensively been tested first on laboratory models, then on the field in different sites : fine or coarse soils in valley or mountains, sandy or clayed. Compared with other measurements techniques, our method yields good results when electrical conduction losses are negligible.

ZAKRI Tarik

Contribution à l'étude des propriétés diélectriques de matériaux poreux en vue de l'estimation de leur teneur en eau : modèle de mélange et résultats expérimentaux.

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble

10 Octobre 1997

Jury : Président : LABEAU M.
Examineurs : LAURENT J.P., VAUCLIN M.
Rapporteurs : ANGENIEUX G., CLOTHIER B.E.

Résumé

La permittivité électrique des matériaux poreux (MP) humides (sols, roches, bétons...) est fonction de leur teneur en eau et de la fréquence. Un développement synthétique des lois de mélanges basées sur la théorie du milieu effectif (TME), nous a permis de dégager une procédure de calibration permittivité/teneur en eau : le modèle « alpha ». Des mesures par réflectométrie dans le domaine temporel (TDR) sur une large gamme de matériaux ont été effectuées. De plus, l'explication du comportement Debye observé concernant la dispersion fréquentielle de la permittivité des MP humides nous a permis d'envisager une nouvelle possibilité d'exploitation des résultats TDR par passage dans le domaine fréquentiel : TDS (Time Domain Spectroscopy). En effet, à partir des paramètres de Debye on peut avoir accès simultanément à la teneur en eau et au facteur de formation.

Mots clés : Théorie du milieu effectif ; Permittivité complexe ; Teneur en eau ; Facteur de formation ; Réflectométrie dans le domaine Temporel ; Sols ; Roches ; Bétons.

Abstract

Dielectric properties of porous materials related to their water content : models and experimental results.

Measurements of the dielectric properties of moist porous media (PM) (soils, rocks, concrete...) have shown that the electrical permittivity depends on their moisture content and frequency. To calibrate the Time Domain Reflectometry measurements on moisture content, relationships based on the Effective Medium Theory are developed and a theoretical evidence of the « alpha-model » is given. Results in different materials on the whole range of water-contents are presented and analysed. The frequency extension of these models gives a good explanation of the Debye behaviour of complex permittivity of moist PM observed and that can be obtained experimentally by Time Domain Spectroscopy (TDS). A main advantage is that the water content and formation factor (conductivity of solution within PM per the global conductivity) can be measured simultaneously.

GABRIEL Uta

Transport réactif de l'uranyle : mode de fixation sur la silice et la goethite ; expériences en colonne et réacteur fermé ; simulations.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.
(Thèse en collaboration entre le LTHE et le LGIT/Grenoble).
6 Février 1998

Jury : Président : SCHLAPFER C.W.
Examineurs : CHARLET L., GAUDET J.P., GIFFAUD E.
Rapporteurs : SARDIN M., KINZELBACH W.

Résumé

Certains sites de stockage des déchets miniers, d'anciens terrains militaires, etc.. contiennent des sols contaminés par l'uranium. Cette étude porte sur l'identification des mécanismes qui peuvent conduire les sols contaminés à devenir un risque de pollution soudaine pour les eaux souterraines et de surface. Les mécanismes ont été étudiés à deux échelles sur des matériaux modèles.

A l'échelle moléculaire, la complexation de l'uranyle à des concentrations traces a été étudiée avec de la silice amorphe. Il a ainsi été montré que la complexation a lieu via la formation de complexes de surface. Ces derniers ont été distingués à l'aide de spectres et de durées de vie de la luminescence induite par laser pulsé et ont été modélisés par différentes stoechiométries.

A l'échelle macroscopique, le transport de l'uranyle dans le système cristobalite-goethite-carbonate-uranyle a été étudié par des expériences en colonnes et en réacteurs fermés. La mobilité de l'uranium est contrôlée par l'interaction entre le transport physique et une réaction de fixation réversible à taux limité. Cette réaction globale est un ensemble de réactions de complexation en solution et en surface qui mène à un isotherme d'adsorption apparent non-linéaire de type Langmuir.

Finalement, l'impact d'une brusque variation des conditions géochimiques a été étudié. Les conditions qui provoquent une importante mobilisation de l'uranium à partir de systèmes faiblement contaminés ont été identifiées expérimentalement. Les concentrations maximales en uranyle observées sont contrôlées par la quantité totale d'uranyle contenue dans le système et sont limitées par sa solubilité. L'évolution des conditions géochimiques a une part importante dans l'évolution des risques liés aux sites contaminés.

Mots clés : Adsorption ; silice amorphe ; cinétique ; complexation en solution et à la surface ; expérimentation statique et dynamique ; fluorescence induite par laser pulsé ; simulation mathématique ; uranyle.

Abstract

Reactive transport of Uranyl : modes of adsorption on silica and goethite ; column and batch experiments ; simulation.

Uranium contaminated areas are found in mine waste disposal sites, former military areas, etc. The present study focuses on the identification of mechanisms which may lead contaminated soils to become a sudden potential threat to surface and ground waters. Mechanisms were studied on model material at two levels.

On the molecular scale the complexation of uranyl at trace metal concentrations was investigated with amorphous silica. Complexation is shown to occur via the formation of surface complexes, characterised by different time-resolved laser-induced luminescence spectra and life times and stoichiometry.

On the macroscale the transport behaviour of uranyl in a *cristobalite-goethite-carbonate-uranyl* system was investigated with laboratory column and batch experiments. Uranium mobility was found to be controlled by the interaction between physical transport and a reversible, rate-controlled, fixation reaction. Sorption was shown to be an ensemble of competing solution and surface complexation reactions, leading to an apparent non-linear (Langmuir-like) adsorption isotherm.

Finally the impact of a sudden change in background geochemistry was studied. Conditions leading to a dramatic mobilisation of uranium from mildly contaminated systems were experimentally identified. Maximal uranyl concentration are controlled by the total extractable uranyl in the system and limited by uranyl solubility. Evolution of the background geochemical conditions is thus an important part of contaminated sites risk assessment.

TSIMBROVSKA Mariana

**Dégradation des bétons à hautes performances soumis à des températures élevées.
Evolution de la perméabilité en liaison avec la microstructure.**

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.
(Thèse en collaboration entre le LTHE et le CSTB-Grenoble).
19 Février 1998

Jury : Président : VAUCLIN M.
Examineurs : KALIFA P., DAIAN J.F.
Rapporteurs : BASTIAN G., OLLIVIER J.P.

Résumé

Les bétons à hautes performances (BHP), grâce à leur durabilité et résistance mécanique élevées, sont de plus en plus utilisés dans la construction. Cependant, sous certaines sollicitations thermiques (incendie, accident nucléaire) ces bétons manifestent parfois un comportement fragile appelé éclatement. Un des principaux paramètres régissant l'éclatement est la perméabilité qui contrôle les transferts des fluides. Cette propriété est fonction de la microstructure du matériau, caractérisée par la porosité, la distribution des tailles de pores, la connectivité et la tortuosité du réseau poreux, la densité et l'ouverture des fissures.

Ce travail a pour but d'étudier l'évolution de la perméabilité intrinsèque des BHP dégradés suite à un échauffement (jusqu'à 400°C) et de corréliser cette évolution aux caractéristiques de microstructure. Une étude comparative avec les bétons ordinaires est effectuée. La perméabilité intrinsèque des bétons est estimée à partir des mesures de la perméabilité aux gaz.

Avant traitement thermique la perméabilité intrinsèque des BHP est inférieure d'environ un ordre de grandeur à celle des bétons ordinaires. Cependant sous l'effet de la température cette propriété augmente plus rapidement dans les BHP (2 ordres de grandeur) et après traitement thermique à 400°C les BHP sont plus perméables que les bétons ordinaires.

Le sous-espace poreux efficace vis-à-vis de la perméabilité est identifié comme celui constitué de pores de diamètre supérieur à 0,1 µm. L'évolution de ce sous-espace poreux avec la température et la microfissuration expliquent les variations de la perméabilité dans chaque type de matériau.

Trois modèles reliant la perméabilité à la microstructure sont appliqués et leurs prévisions sont comparées aux résultats expérimentaux. Cette comparaison est satisfaisante mais montre les limites des représentations topographique et géométrique des réseaux poreux utilisées dans la modélisation des transferts de masse.

Mots clés : Béton, béton à hautes performances ; hautes températures ; perméabilité ; microstructure ; fissuration ; transferts de masse.

Abstract

**Degradation of high performance concretes subjected to elevated temperatures.
Evolution of permeability in correlation with microstructure.**

Due to their high strength and durability, high performance concretes (HPC) are nowadays used more and more in building industry. However, when they are subjected to high temperatures (fire or nuclear accident) this concretes may exhibit a brittle behaviour (spalling).

One of the key parameters in the spalling process is the permeability, which controls fluid transfers. This property depends on microstructure, characterised by porosity, pore size distribution, connectivity and tortuosity of pore network, density and opening of the cracks.

The aim of this work is to study the evolution of intrinsic permeability of HPC damaged by heating and to correlate it with that of microstructure. Only residual property are measured. The intrinsic permeability was deduced from gas permeability measurements. HPC are compared to ordinary concretes.

Before heating the intrinsic permeability of HPC is 1 order of magnitude lower than that of ordinary concretes. But with heating this property increases more rapidly in HPC (2 orders of magnitude) and at 400°C, HPC are more permeable than ordinary concretes.

A relevant pore sub-space corresponds to pores larger than 0.1 µm. The evolution of this sub-space and microcracking are responsible on permeability variations.

Experimental data are compared to the prediction of three models which calculate the transport coefficients. This comparison shows consistent results but brings to light the limits of topographic and geometric representation of pore space, used in mass transport modelling.

2 - HYDROLOGIE DE LA ZONE NON SATUREE

Personnels impliqués

Nom	Statut	% temps	Remarque
Permanents			
Rafaël ANGULO-JARAMILLO	CR/CNRS	50	
Stéphane BOUBKRAOUI	ADJT/UJF	25	recruté le 3/01/96
Fayçal BOUROUI	IE/CDI	100	IR/CEMAGREF depuis le 1/04/98
Isabelle BRAUD	CR/CNRS	80	Mise à disposition du CRA/Mendoza (1/09/97-30/04/98)
Hervé DENIS	AI/CNRS	20	
Lucien FELIX	AI/UJF (50 %)	30	retraite le 1/12/95
Sylvie GALLE	CR/Orstom (80 %)	100	affectée au LTHE le 1/07/97
Jean-Paul GAUDET	IR/UJF	20	
Jean-Michel GRESILLON	PR/INPG	10	depuis le 1/09/97
Randel HAVERKAMP	DR/CNRS	80	Resp. Equipe depuis le 3/03/97
Robert LATY	IE/INPG	100	jusqu'au 1/02/96
Jean-Michel TAUNIER	IE/CNRS	50	
Jean-Louis THONY	MC/UJF	80	
Georges VACHAUD	DR/CNRS	100	Resp. Equipe jusqu'au 2/03/97
Jean-Pierre VANDERVAERE	MC/UJF	20	recruté le 1/09/96
Michel VAUCLIN	DR/CNRS	70	
Robert WOUmeni	MC/INPG	100	
Non permanents			
Tao CHEN	IE/CDD	100	depuis le 1/10/95
Visiteurs longue durée			
Richard CUENCA (V)	Univ. Oregon (CNRS-NSF)	100	1 mois
Elisabeth LEWAN (V)	Univ. Uppsala	100	7 mois
Andréas LUCKE (V)	UE/CHM	100	6 mois
Lester SIMMONDS (V)	Univ. Reading/ Bourse Haut niveau MESR	100	4 mois
Scott TYLER (V)	Univ. Nevada/Invité LTHE	80	10 mois
Marnik VANCLOOSTER (P)	Univ. Leuven/UE-CHM	100	5 mois
Doctorants			
Gilles BOULET	AMN	100	depuis le 1/10/94 (interruption SN Mexique/Orstom)
Eugénio CARILLO-AVILA	Doctorat : 3/03/95	-	chercheur Mexique
Jean-Louis CHOPART	Ingénieur CIRAD	100	depuis le 1/10/96
Céline DUWIG	Bourse Région/Nle Calédonie/Orstom	100	depuis le 1/10/94
Stéfano FERRARIS	Chercheur Univ. Turin	100	depuis le 1/12/95
Catherine FREISSINET	Doctorat : 11/04/97	-	Ingénieur LHF
Franck GANDOLA	Alloc. Ecole des Mines de Douai	100	Depuis le 1/12/1995
Enrique GONZALEZ-SOSA	BETRAN/CONACYT	100	
Vincent GUINOT	Doctorat : 7/07/95	-	Ing. LHF puis MC/Univ. Delft
Babacar N'DIAYE	Ens. Univ. Dakar/Orstom-Sénégal	100	depuis le 1/11/97
Béatrice NORMAND	Doctorat : 24/10/96	-	ATER/IUT Grenoble puis post-doc BRGM
Luis PEREIRA dos SANTOS	Doctorat : 28/11/97	-	Enseignant-Brésil
Christophe PEUGEOT	Doctorat : 19/10/95	-	Post-doc CCR/UE-ISPRA (It) puis CR Orstom
Pierre RUELLE	Doctorat : 23/03/95	-	Ingénieur Cemagref
Emmanuelle SAUBOUA	Allocataire MENRT	100	depuis le 1/09/97
Jean-Pierre VANDERVAERE	Doctorat : 9/10/95	-	Post-doc CRC/Melbourne puis MC/UJF depuis le 1/09/96

OBJECTIF

L'équipe "*Hydrologie de la Zone Non Saturée*" étudie les phénomènes de transferts de masse et de chaleur dans les couches superficielles des sols pris dans leur contexte pédo-édapho-climatique naturel, en interaction avec les aquifères d'une part, avec l'atmosphère d'autre part. Il s'agit de développer et de valider des outils expérimentaux et des modélisations permettant d'analyser et de prédire, à différentes échelles d'observation les phénomènes d'écoulement et de transport dans la zone non saturée des sols en vue :

- de quantifier les différentes composantes du cycle de l'eau dans le continuum sol-végétation-atmosphère
- d'estimer l'impact des actions anthropiques et/ou d'éventuels changements climatiques sur l'évolution quantitative et qualitative des ressources en eau souterraine.

Sur la période de référence, trois axes ont été plus particulièrement privilégiés :

- les interactions atmosphère-biosphère continentale en liaison avec le problème de la paramétrisation et de la spatialisation des flux de surface (évapo(transpi)ration, infiltration, ruissellement).
- la caractérisation du comportement hydrodynamique des sols partiellement saturés en eau.
- les transferts hydro-chimiques dans les sols s'inscrivant dans la problématique "Eau-Agriculture-Protection de l'Environnement".

Une attention particulière est portée à la prise en compte de la variabilité spatiale et temporelle des milieux tant au niveau de la quantification expérimentale des transferts que de leur modélisation.

MOYENS ET METHODES

La démarche scientifique suivie est (et a toujours été) de mener de front deux approches complémentaires :

- d'une part, *des études en laboratoire* (en liaison très étroite avec l'Equipe TMP) mettant en jeu des métrologies précises (voir la contribution de l'Equipe correspondante) afin de **caractériser de façon fine** (à l'échelle de l'Élément de Volume Représentatif) et en conditions contrôlées les transferts (et leur degré de couplage) dans des échantillons ou des colonnes de sol prélevé in-situ et de **valider des modèles déterministes**.
- d'autre part, *des études de terrain* (expérimentations spécifiques, suivi spatio-temporel des variables d'état) avec une méthodologie conduisant certes à des résultats moins fins au niveau du volume de mesure mais permettant des répétitions spatiales des observations (humidimètre neutronique, réflectométrie temporelle, gamma-densimètre, tensiomètres, cellules de prélèvement de la solution du sol, infiltromètres portables, conductivimètre thermique, etc...) afin de **caractériser à grande échelle** de temps (plusieurs années) et d'espace (de l'hectare à la dizaine de milliers de km²) les fluctuations des flux dans le sol ou du sol vers l'atmosphère et de **développer** des modélisations dont certaines présentent un caractère **stochastique**, prenant en compte les incertitudes sur la connaissance réelle des milieux et conduisant à exprimer les réponses en termes **probabilistes**, donc in-fine de **risques**.

Ainsi, durant la période écoulée, l'Equipe s'est impliquée, dans le cadre de Programmes nationaux et/ou internationaux (notamment européens), de conventions bilatérales d'échanges ou d'accords contractuels sur **4 sites expérimentaux** (voir paragraphe "Participation à des campagnes de mesures") aux typologies contrastées et représentatifs de problèmes scientifiques ou environnementaux différents : bassin versant du Ringelbach/Vosges, parcelles agricoles conduites en jachère longue durée (opération MUREX/Toulouse) ou cultivées (opération ALPILLES/Saint Rémy de Provence), Observatoire Rhône-Alpes des pollutions diffuses (nitrates et produits phytosanitaires) de la Côte-Saint André/Isère.

Une place spéciale doit être accordée à ce dernier dispositif. Créé en 1990 et piloté par l'Equipe depuis cette date, il assure la quadruple fonction de **laboratoire de terrain, d'observatoire du milieu, de site de validation** de modèles et de **lieu de formation** (Lycée Agricole, Universités grenobloise, lyonnaise et chambérienne). Il sert également de site d'accueil à des recherches **interdisciplinaires** associant notamment sciences physiques (hydrodynamique, géophysique), sciences chimiques (physico-chimie et chimie du sol), Sciences du Vivant (microbiologie des sols, agronomie et physiologie végétale) et Sciences de l'Homme et de la Société (économie du développement et sociologie). Sur la période de référence, il a bénéficié de soutiens financiers européens (Programme "Environnement et Climat" de l'UE/DG XII), ministériels (Recherche, Environnement, Agriculture/DERF) et régionaux (XI Contrat de Plan Etat-Région Rhône-Alpes/Programme fédérateur "Environnement", DIREN, Conseil Général de l'Isère). Il a également servi de **support expérimental** à des recherches **spécifiques** s'inscrivant dans des actions programmatiques du CNRS (PIR-EVS/SEAH et MMT) et de l'INSU (DBT II et PNRH). Enfin, en 1996, il a été labellisé "Zone Atelier" du GIP "HydrOSystèmes Continentaux" et fait l'objet depuis 1997 d'un Programme Pluri-Formations du MENRT, via l'UJF, associant le LTHE, le Laboratoire de Physiologie Cellulaire et Végétale de Grenoble et le Lycée Agricole de la Côte-Saint André.

Toutes ces opérations mettent en oeuvre des méthodologies et métrologies comparables mais bien entendu adaptées à la spécificité des objectifs poursuivis et des problèmes posés. Elles permettent d'acquérir des informations permettant une meilleure compréhension du fonctionnement des systèmes en vue de leur modélisation qui est menée en parallèle. Il est clair qu'elles mobilisent des ressources humaines importantes qui se trouvent valorisées notamment par la constitution de **banques de données** relatives aux différents aspects étudiés qui sont mises à la **disposition de l'ensemble de la Communauté** (e.g. banque "GRIZZLY" des propriétés hydrodynamiques des sols, banque des données de l'Observatoire de la Côte-Saint André, toutes deux disponibles sur site Web).

Dans le même ordre d'idée et de façon symétrique, l'Equipe a poursuivi son **effort de valorisation** (par la modélisation et la publication des résultats correspondants) **d'opérations passées** dans lesquelles elle a été fortement impliquée (EFEDA I et II/Espagne, HAPEX-Sahel/Niger), grâce à l'exploitation des bases de données correspondantes et ce, en collaboration étroite avec les principaux partenaires qui y étaient associés.

RESULTATS

1. Etude des interactions atmosphère-biosphère continentale.

D'une façon générale, il s'agit d'estimer les flux de surface (chaleur sensible et latente dans l'air, chaleur sensible dans le sol) par la mesure et la modélisation mécaniste des transferts hydriques et de chaleur dans la zone non saturée du sol couplés aux échanges turbulents avec les basses couches atmosphériques. Cette thématique de recherche s'inscrit dans le thème global de l'amélioration des paramétrisations des flux de surface dans les modèles atmosphériques et climatiques, en prenant mieux en compte la variabilité spatiale des processus de surface (sol et ses états de surface, végétation, pluviométrie et sa partition entre infiltration et ruissellement).

On présente ci-dessous les principaux résultats acquis dans cet axe.

a) Modélisation de l'évapotranspiration.

- *Une modélisation mécaniste* des transferts unidirectionnels verticaux de masse (eau liquide et vapeur) et de chaleur (avec la présence possible d'une végétation se traduisant par un terme puits distribué le long du profil racinaire) couplés aux échanges surface (sol nu et canopée)-atmosphère a été développée (Braud et col., 1995). Ce modèle, dénommé **SiSPAT** (**Simple Soil Plant Atmosphere Transfert**, voir figure HZNS-1, tirée de Braud, 1998) a été évalué dans ses différents compartiments (sol, atmosphère, interface et éventuellement végétation éparsée ou continue) sur des jeux assez complets de données (voir figure HZNS-2 qui résume les caractéristiques des points d'appui expérimentaux, indique les principales publications afférentes et rappelle le cadre des collaborations et les supports financiers).

La confrontation calculs/observations, outre le fait qu'elle a permis de substantielles améliorations à la version initiale de SiSPAT (Braud et col., 1995), a mis en évidence les résultats suivants :

i) L'aptitude du modèle à simuler très correctement l'évolution spatio-temporelle des flux hydriques et thermiques de surface et dans le sol (voir figure HZNS-3, tirée de Braud et col., 1997) d'une part, des variables d'état (température, pression, teneur en eau) d'autre part, **après une phase de calage** rendue nécessaire par la non-disponibilité de certains paramètres (en particulier ceux relatifs à la végétation), ou de leurs variations temporelles.

ii) L'utilisation de la variable **potentiel matriciel** pour décrire l'état hydrique du sol permet (contrairement à la concentration en eau, plus classiquement utilisée) de prendre en compte la présence de **stratifications pédologiques** (ce qui constitue le cas général, l'homogénéité verticale étant l'exception), de **croûtes superficielles d'épaisseur millimétrique** (cas d'HAPEX-Sahel) ou de débris végétaux formant un "**much**" épais de **quelques centimètres** (cas de MUREX) dont l'influence est primordiale sur la répartition des précipitations entre infiltration et ruissellement (voir ci-dessous Vandervaere et col., 1998 pour la zone sahélienne) et sur la reprise par évaporation de l'eau infiltrée.

iii) La nécessité de prendre en compte le transport de la phase vapeur en conditions arides ou semi-arides (cas d'EFEDA) et de considérer dans l'expression des flux de surface des longueurs de **rugosité aérodynamique et thermique différentes**. Cela conduit à :

- améliorer très significativement le schéma ISBA développé par le CNRM/Toulouse pour la paramétrisation des processus de surface.
- identifier, quantifier in-situ les processus de thermo-migration dans les horizons superficiels du sol et mettre en évidence l'existence de fronts d'évaporation situés non pas à la surface mais en profondeur (voir figure HZNS-4, tirée de Boulet et col., 1997).

iv) L'utilisation de SiSPAT en vue de tester la robustesse de relations empiriques de type ETR/ETP en fonction de l'humidité de surface du sol pour des végétations éparsées (voir figure HZNS-5, tirée de Braud et Chanzy, 1996) a permis de dégager un certain nombre de règles simples pour assimiler des données de télédétection (notamment de radiométrie micro-onde) dans des modèles d'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR), à l'échelle du pixel.

SiSPAT scheme

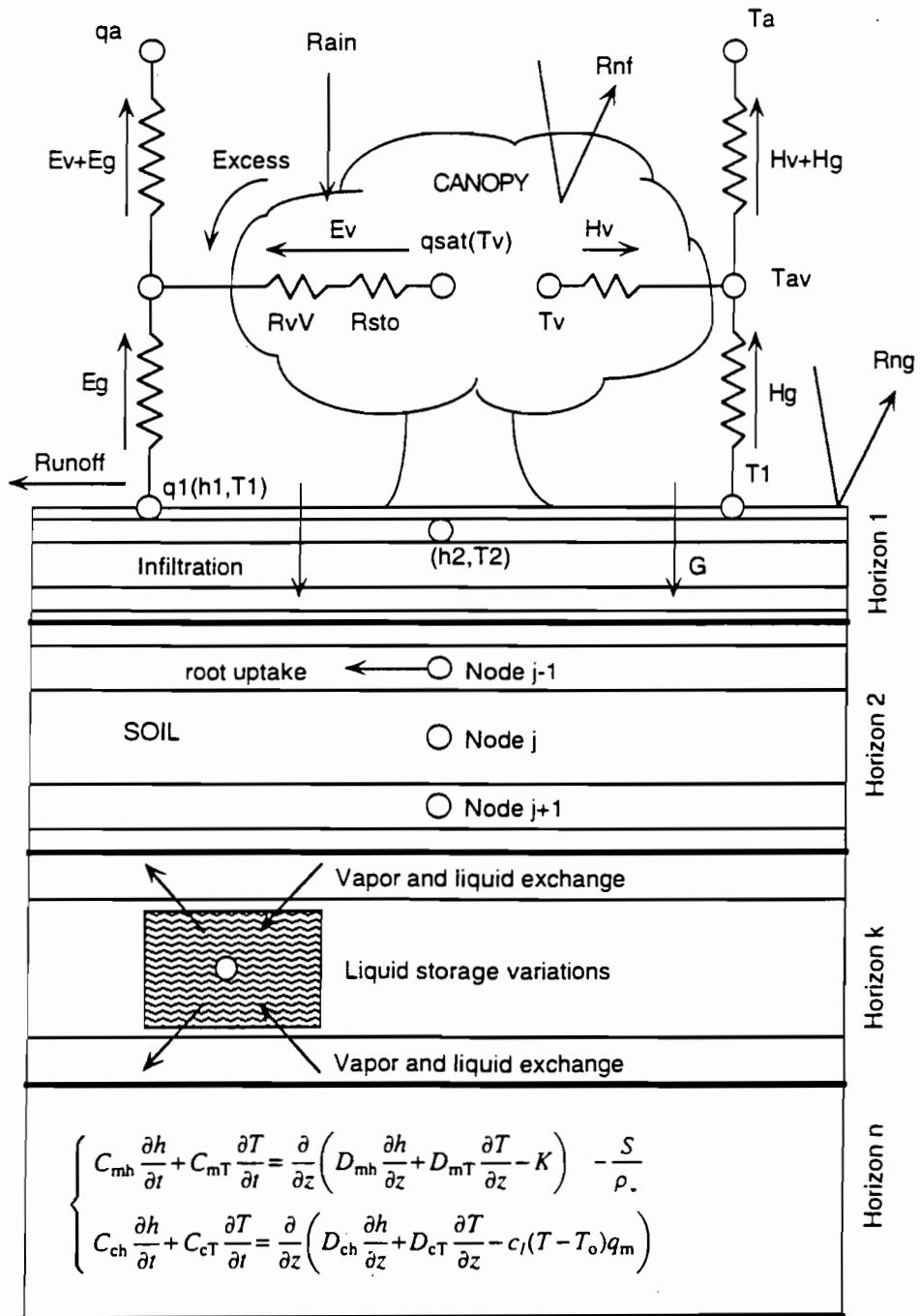


Fig. 2. Schematic of the main features of the SiSPAT model.

Figure HZNS-1 : Schéma de principe du modèle SiSPAT (Braud, 1998).

Sites/Base de données	Caractéristiques			Echelle d'étude		Principales Références	Collaborations
	Sol	Couverture	Climat	Espace	Durée		
La Valette/Montpellier	limon	soja irrigué	méditerranéen	Parcelle 0,76 ha	P.O.I. 12 jours	Braud et col., 1995 (2 x)	CEMAGREF (A.I.)
Castilla La Mancha/ Espagne - EFEDA I, II	limon/silt sable+cailloux	nu, maïs irrigué, vigne, garrigue	semi- aride/aride	Plusieurs ha répartis sur 100 x 100 km.	P.O.I. 2x1 mois	Braud et col., 1995 Braud-Boulet, 1996 Braud et col., 1997 Linder et col., 1998	CNRM/Toulouse CSIC/Saragosse (Prog. UE)
Niger HAPEX-SAHÉL	sable sablo-limoneux + croûtes de surface	jachère mil	semi-aride	Parcelles réparties sur 100 x 100 km	P.O.I. 2 mois	Braud-Vauclin, 1995 Noilhan-Braud, 1996 Chanzy et col., 1996 Braud et col., 1997 Goutorbe et col., 1997 Braud, 1997 et 1998	CNRM/Toulouse INRA/Avignon Orstom (Prog. PATOM/PNTS)
Lockyersleigh/Australie	limono-sableux	pâturages forêts éparées	méditerranéen/ semi-aride	Bassin versant 26 km ²	14 mois	Boulet et col., 1995 Kalma-Boulet, 1996 Boulet-Kalma, 1997 Boulet et col., 1998	Univ. Newcastle (Coopération MAE/INSU France-Australie)
Ringelbach/Vosges	limon à matière organique élevée	pâturages forêt	océanique/ tempéré de montagne	Bassin versant 0,36 km ²	8 ans	Fouché-Roguez et col., 1996 et 1998	CEREG/Strasbourg CNRM/Toulouse (Prog. PNRH)
Région toulousaine MUREX	argilo-limoneux	jachère longue durée	océanique	20 ha	P.O.I. 36 mois	Bessemoulin et col., 1996 Gonzalez-Sosa et col., 1997 et 1998 Bessemoulin et col., 1998	CNRM/Toulouse CESBIO/Toulouse (Prog. PNRH)
Région provençale ALPILLES	limono argileux + fissures	blé, luzerne, tournesol	méditerranéen	Plusieurs ha répartis sur 24 km ²	P.O.I 10 mois	Braud et col., 1998	CETP/Vélizy CNRM/Toulouse INRA/Avignon (Prog. PNRH/PNTS)

Figure HZNS-2 : Sites de mise en oeuvre et d'évaluation du modèle SiSPAT.

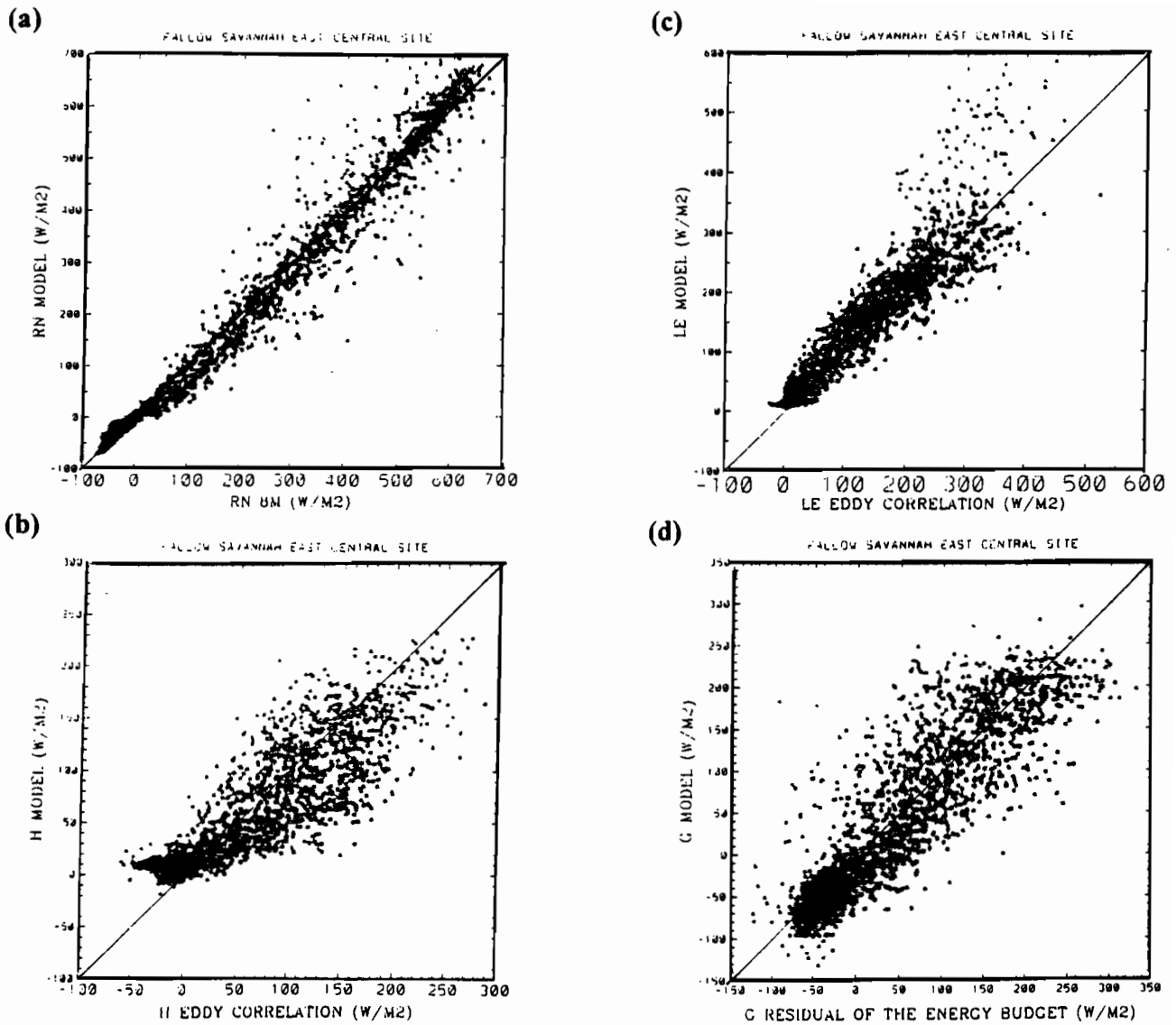


Fig. 5. Scattergrams of modelled versus observed 20-min time interval (a) net radiation, (b) sensible heat flux, (c) latent heat flux and (d) soil heat flux-turbulent flux.

Figure HZNS-3 : Comparaison entre valeurs calculées (par SiSPAT) et mesurées des flux de surface lors de la P.O.I d'HAPEX-Sahel (Braud, Bessemoulin, Monteny, Sicot, Vandervaere, Vauclin, 1997).

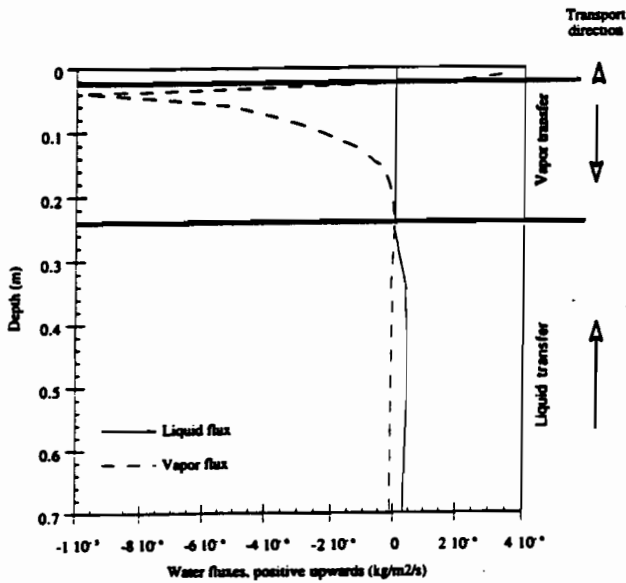


Fig. 8. Variations of liquid and vapor fluxes along the soil profile on 22 June 1991 at 12:00 GMT. Arrows indicate the direction of the fluxes (positive upwards). In the shaded area, vapor flux is dominant.

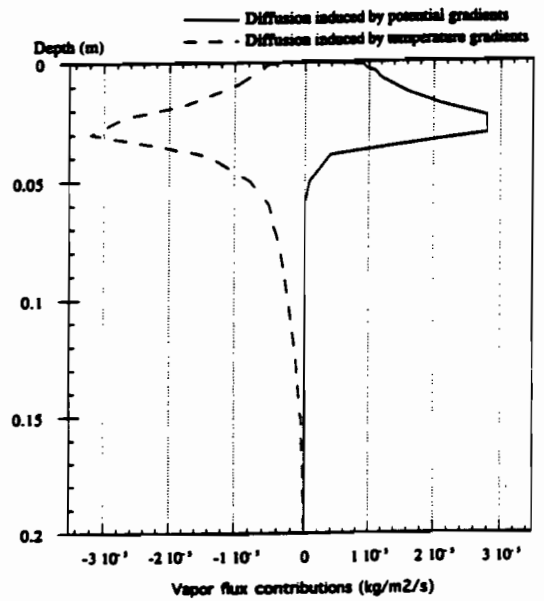


Fig. 9. Variations of vapor flux produced by potential and temperature gradients along the soil profile. Positive fluxes are directed upwards.

Figure HZNS-4 : Analyse du processus de thermo-migration d'humidité dans la couche superficielle d'un sol nu. La position du front de vaporisation est estimée à 24 cm de profondeur (Boulet, Braud, Vauclin, 1997).

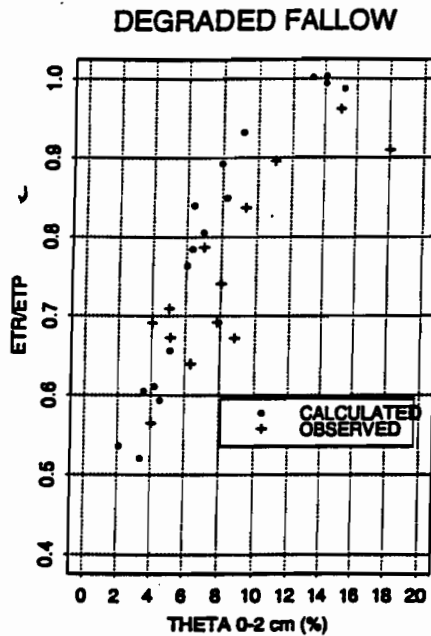


Figure HZNS-5 : Relation ETR/ETP en fonction de l'humidité de surface calculée (par SiSPAT) et mesurée in-situ sur une jachère dégradée du carré d'HAPEX-Sahel (Braud, Chanzy, 1996).

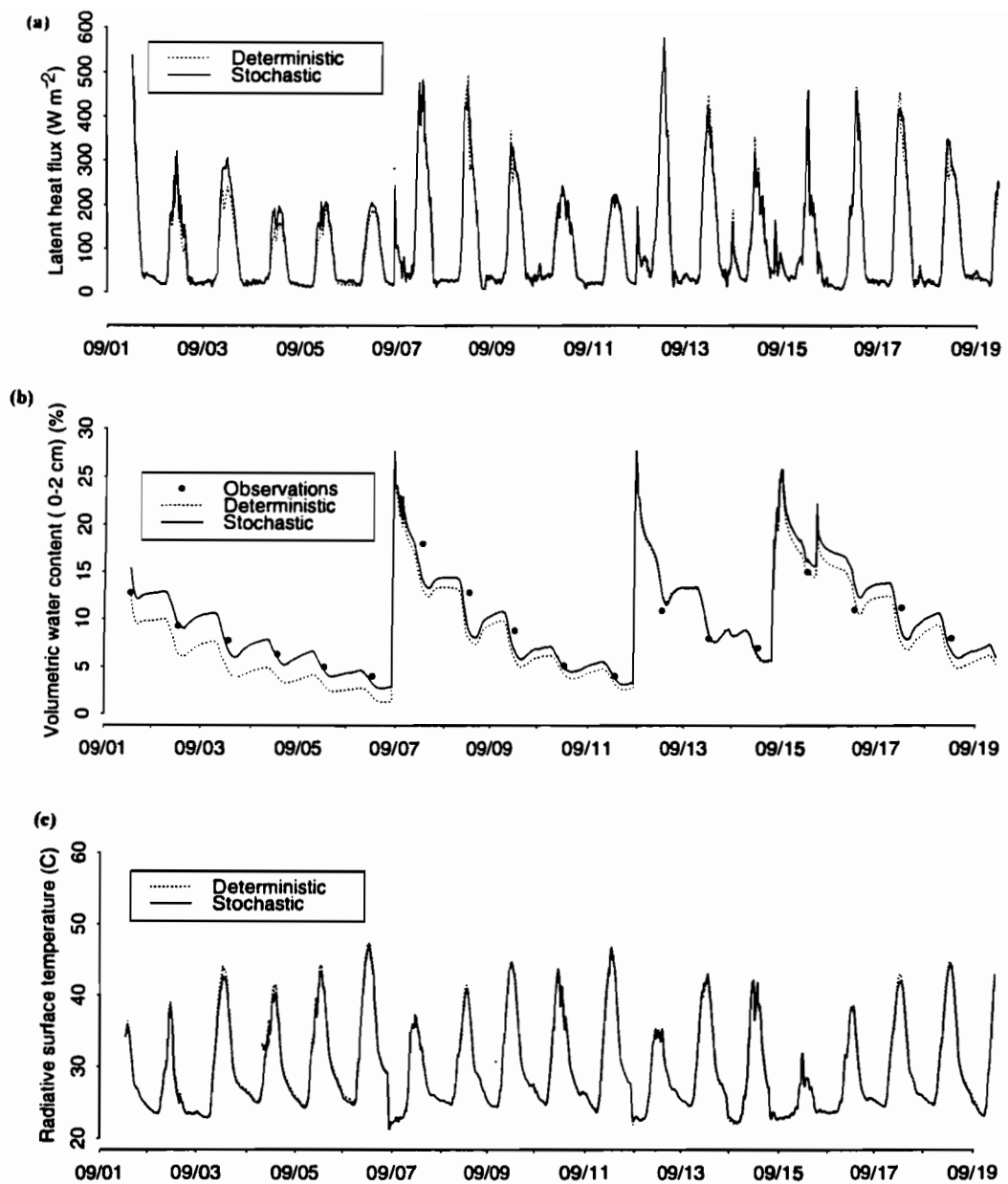


Fig. 7. Variation of the stochastic (mean of 10 soil columns) (full line) and deterministic (1-D simulation with the median value of the parameter) (dotted line) solutions for (a) latent heat flux (W m^{-2}) (b) surface volumetric water content (0-2 cm) (%) and (c) surface radiative temperature ($^{\circ}\text{C}$) for the period September 1-19, 1992. The stochastic parameter is the Miller and Miller scaling factor with distribution described in Table 3.

Figure HZNS-6 : Exemples de comparaison entre solutions stochastique et déterministe de SiSPAT sur une jachère dégradée du carré d'HAPEX-Sahel. Les calculs ont été réalisés en considérant :

- une loi log-normale (moyenne 1 ; coefficient de variation 100 %) pour le facteur d'échelle des caractéristiques hydrodynamiques
- une loi normale (moyenne 80 s.m^{-1} , coefficient de variation 25 %) pour la résistance stomatique minimale (Braud, 1998).

- Une version stochastique de SiSPAT a également été développée (Braud et col., 1995) afin :
 - d'étudier de façon théorique l'influence de la variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques du sol [décrite dans le cadre de la théorie de la similitude géométrique des milieux poreux (Miller et Miller, 1956 ; Vaucelin et col., 1983 ; Boulier et Vaucelin, 1987) par une loi de distribution du facteur d'échelle) et de certains paramètres de la végétation (indice foliaire, résistance stomatique minimale) sur les flux de surface et les composantes du bilan hydrique ou hydrologique.
 - d'apprécier la pertinence du concept de propriétés "effectives" visant à assimiler le milieu hétérogène à un milieu homogène équivalent susceptible d'être modélisé par une approche strictement déterministe.

Sa mise en oeuvre sur différents sites (Lavalette/Montpellier, HAPEX-Sahel/Niger, Lockyersleigh/Australie) montre qu'en raison du caractère **non linéaire des processus** et donc du modèle, les paramètres les plus sensibles sont différents selon les conditions climatiques et d'humidité, le pourcentage de couverture végétale du sol, les composantes du bilan hydrique d'intérêt (et qui peut être différent en météorologie, climatologie, agronomie ou hydrologie), les échelles de temps et d'espace.

Les grandes tendances sont résumées ci-dessous :

- i) Il apparaît que l'approche **déterministe** (obtenue par des paramètres "moyens") semble **adéquate pour une végétation bien couvrante et correctement alimentée en eau** (cas du site montpellierain), cette dernière ayant tendance à lisser l'influence de la variabilité des sols. En revanche, elle n'apparaît pas pertinente pour la modélisation des flux de surface, dans le cas d'un sol nu (Braud et col., 1995).
- ii) En présence de végétations éparées (cas d'HAPEX-Sahel) et pour une variabilité modérée (CV < 50 %), l'utilisation de paramètres "effectifs" peut conduire à une estimation non biaisée de la solution et plus particulièrement des flux de surface. Au-delà (voir figure HZNS-6, tirée de Braud, 1998), des biais entre solution déterministe et stochastique apparaissent (notamment pour l'humidité du sol) et atteignent leur maximum dans des situations hydriques intermédiaires (de 2 à 4 jours après une pluie).
- iii) dans le cas du bassin versant de Lockyersleigh, une modélisation déterministe utilisant comme paramètres effectifs la valeur **médiane** du facteur de mise en échelle des propriétés hydrodynamiques du sol et la **moyenne harmonique** de la résistance stomatique minimale semble pertinente pour simuler l'ETR régionale en périodes sèches (absence de pluies significatives) mais inadéquate dès qu'apparaît un ruissellement de surface dont l'estimation est très sensible à la variabilité spatiale du sol, en raison d'un effet "**seuil**" (Boulet et Kalma, 1997 ; thèse G. Boulet en cours).

De ses études et d'autres actuellement menées (MUREX, ALPILLES, les VOSGES) il ressort que, dans la mesure où il prend en compte de façon mécaniste, l'essentiel des processus physiques, un **modèle de type SiSPAT** est un bon candidat comme "**référence**" pour tester des approches plus simples ou paramétrisées. En revanche, sa **gourmandise en paramètres** et dont un grand nombre sont peu ou difficilement observables et en tout cas accessibles à une échelle locale, constitue à l'évidence un handicap à son utilisation en mode opérationnel. Un effort est actuellement entrepris sur la recherche de méthodes d'estimation des caractéristiques du sol et de la végétation à l'échelle où la modélisation est souhaitée, et donc en fonction des objectifs visés.

b) Modélisation de l'infiltration.

Outre la valorisation par des publications des acquis précédents (dont la plupart ont été obtenus en collaboration avec l'Université Cornell/USA et le CSIRO/Townsville-Australie) sur l'analyse théorique de l'infiltration (1D ou 2D) sous différentes classes de conditions initiales et aux limites (Barry et col., 1995 (2x) ; Smettem et col., 1995 ; Lin et col., 1995 ; Ross et col., 1995 et 1996 ; Hogarth et col., 1995 ; Parlange et col., 1996 et 1997 ; Haverkamp et col., 1998), nos recherches dans ce domaine se sont focalisées sur le problème de la **mise en échelle de l'infiltration** dans les sols, par essence hétérogènes. En effet, il existe actuellement, au sein de la communauté scientifique, un débat sur la compatibilité entre l'échelle "locale" d'obtention des caractéristiques hydrodynamiques du sol (qui souligne la variabilité spatiale sous-jacente du processus) et celle (méso/macro-échelles) de la modélisation hydrologique. De plus, la paramétrisation des flux dépend du choix des fonctionnelles utilisées pour représenter les relations conductivité hydraulique (K)-pression capillaire (h)-teneur en eau (θ). Dans le but de surmonter ces difficultés, une méthode fondée sur la **théorie de la similitude dynamique** a été proposée pour l'adimensionnalisation de l'équation d'écoulement d'eau dans la zone non saturée du sol. Il a été montré l'existence d'un spectre de classes de similitude du flux d'infiltration entièrement définies par **trois paramètres** d'échelle, ayant un sens physique et étant fonction du type de sol et des conditions initiales et aux limites. Ces classes sont comprises entre deux comportements extrêmes : le sol de type "Green et Ampt" (où la diffusivité capillaire est un Dirac) et le sol de type "Gardner" pour lesquels il existe une parfaite similitude se traduisant par une courbe invariante (définie par deux paramètres d'échelle) valable pour tout sol et quelles que soient les conditions initiales et aux limites. Ainsi, en utilisant l'approche de Green et Ampt et en l'adaptant aux conditions réelles de terrain, une solution de l'équation de l'infiltration permettant d'estimer le flux **indépendamment de l'échelle spatiale** a été proposée (Haverkamp et col., 1997 et 1998). A titre d'exemple, la figure HZNS-7, montrant 100 courbes d'infiltration cumulée (mesurées par la méthode du cylindre sur une grille 1x1 km sous culture de vigne du site d'EFEDA/Espagne) avant et après leur mise en échelle, illustre la pertinence de l'approche proposée.

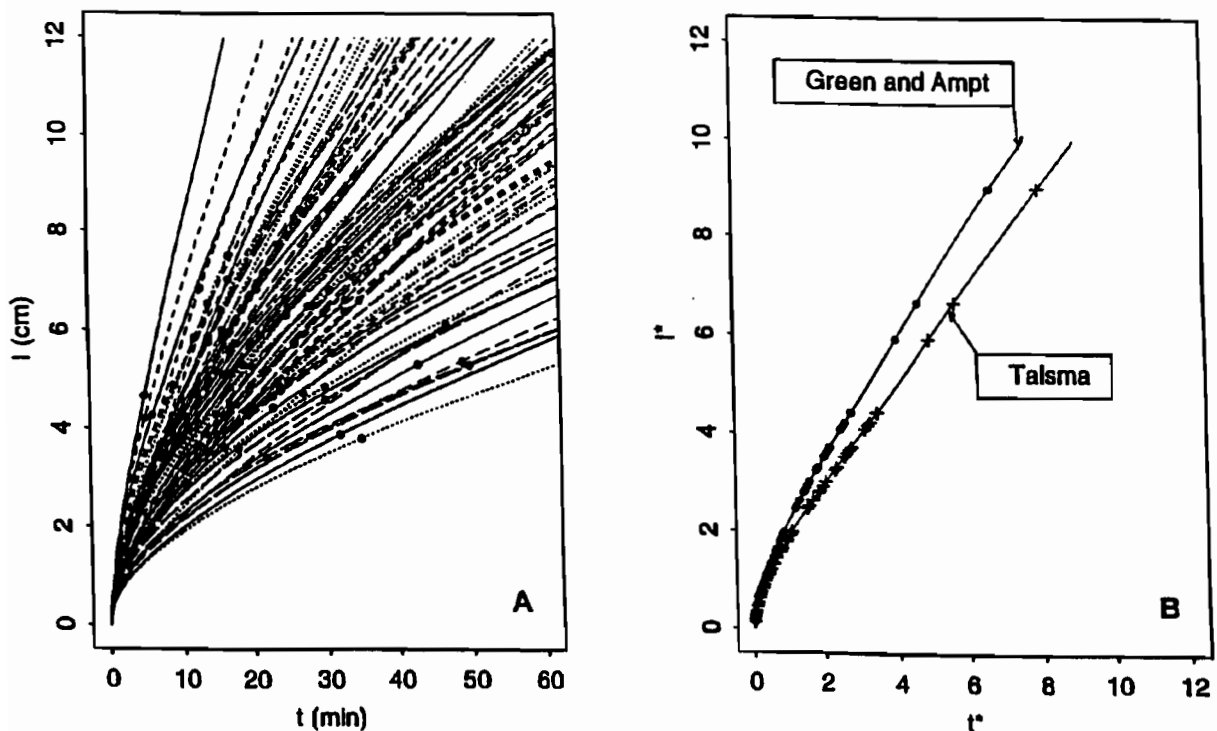


Figure HZNS-7 : Lames d'eau infiltrées mesurées en 100 points répartis régulièrement sur une surface de 100 km² avant (A) et après (B) leur mise en échelle (Haverkamp, Parlange, Cuenca, Ross, Steenhuis, 1998).

2. Caractérisation hydrodynamique des sols non saturés.

Dans de nombreuses applications intéressant le domaine des Sciences et Techniques de l'Environnement, la connaissance des propriétés hydrodynamiques des sols constitue un préalable indispensable pour :

- établir un diagnostic sur leur comportement hydraulique en relation avec les contraintes naturelles et/ou anthropiques qu'ils subissent,
- modéliser les processus mis en jeu afin d'émettre un pronostic sur l'importance des flux hydriques pouvant convecter également des flux de matière susceptibles d'engendrer des pollutions localisées ou diffuses du milieu souterrain.

Notre effort dans ce domaine a porté sur deux approches complémentaires :

- *La voie expérimentale* avec :
 - la poursuite du développement de l'infiltrométrie et de son utilisation extensive pour la détermination in-situ des paramètres tels que la conductivité hydraulique et la sorptivité capillaire au voisinage de la saturation.
 - la mise en oeuvre et l'évaluation in-situ d'une nouvelle méthode d'estimation directe du flux hydrique.
- *La voie théorique* visant à développer des modèles prédictifs des relations conductivité $K-h-\theta$ et à en effectuer une analyse critique.

Les résultats les plus notoires sont synthétisés ci-dessous.

a) Caractérisation hydrodynamique des sols par l'infiltrométrie multi-disques.

Parmi les différentes techniques plus ou moins classiquement utilisées, l'infiltrométrie multi-disques est séduisante dans la mesure où elle permet de déterminer simultanément, de façon simple et non destructive la conductivité hydraulique et la sorptivité capillaire en fonction de la pression de l'eau du sol, et ce au voisinage de la saturation. On rappelle que le système de base appelé TRIMS (Triple Ring Infiltrometers at Multiple Suctions) développé au sein du LTHE en collaboration avec B.E. Clothier/Hort Research-Palmerston North-NZ, lors de son congé sabbatique (Thony et col., 1991 ; Vauclin et Chopart, 1992) est constitué de 3 disques de diamètres différents (250, 80 et 48 mm) munis d'une membrane perméable à l'eau qui, mis en contact avec le sol, permettent un apport contrôlé d'eau sous différentes succions imposées par l'intermédiaire d'un dispositif de Mariotte.

La mesure du flux en régime permanent d'infiltration (atteint au bout d'un temps variant entre quelques dizaines de minutes à plusieurs heures selon le caractère plus ou moins filtrant du sol) permet d'avoir accès à deux grandeurs essentielles : la conductivité hydraulique et la sorptivité capillaire à la pression imposée à partir desquelles il est possible d'inférer d'autres grandeurs telles qu'une dimension caractéristique de pores hydrauliquement fonctionnels, les facteurs d'adimensionnalisation de l'équation d'infiltration (voir ci-dessus), le temps d'apparition de la saturation du sol sous une pluie d'intensité donnée et l'estimation subséquente de la lame d'eau ruisselée, sous l'hypothèse d'un processus hortonien.

De plus, la réalisation d'essais avec **traçage chimique** (chlorure, bromure, H₂¹⁸O) permet d'obtenir dans le même volume de mesure certaines propriétés hydro-dispersives du sol telles que dispersivité, pourcentage d'eau mobile et stagnante et de mettre en évidence les écoulements préférentiels susceptibles d'être induits par la présence de macroporosités d'origine structurale et/ou biotique.

Ce dispositif original, dont le transfert vers d'autres organismes/équipes de recherche françaises ou étrangères et le secteur aval est assuré par une PME, a été utilisé, en ce qui nous concerne et pour nos besoins scientifiques dans les conditions hydro-pédo-climatiques variées suivantes (voir Vauclin et Angulo-Jaramillo, 1996 pour une revue de l'état de l'art et une synthèse) :

- sol gravillonnaire d'origine fluvio-glaciaire de l'Observatoire de la Côte-Saint André/Isère (Angulo-Jaramillo et col., 1996, voir figure HZNS-8) ;
- sol sablo-limoneux du bassin de Coria del Rio/Espagne (Angulo-Jaramillo et col., 1997, voir figure HZNS-9 ; collaboration avec l'IRNA/Séville, convention CNRS/CSIC) ;
- sol sablo-limoneux du bassin des Maurêts/Réal Collobrier (Taha et col., 1997, voir contribution de l'Equipe HSURF et figure HSURF-3) ;
- sol limoneux à teneur élevée en matière organique du bassin versant du Ringelbach/Vosges (Gaudet col., 1995 ; Roulier et col., 1996, voir figure TMP-11 ; collaboration : LBI-Paris, CEREG-Strasbourg ; programme DBT II "Ruissellement et Erosion") ;
- sol argilo-limoneux sous-jachère longue durée de l'expérience MUREX (Gonzalez-Sosa et col., 1997 ; collaboration CNRM/CESBIO-Toulouse ; programme PNRH) ;
- sol limono-argileux fissuré sous différentes cultures de l'opération ALPILLES (Braud et col., 1998 ; collaboration INRA-Avignon ; programmes PNRH et PNTS) ;
- sol ferralitique de l'Ile de Maré (Nouvelle Calédonie) (Duwig et col., 1996 et 1998 ; collaboration Orstom) ;
- sol sableux encroûté présent sur le degré carré HAPEX-Sahel.

Dans ce dernier cas, la présence de croûtes, de **quelques millimètres d'épaisseur** et de faible perméabilité conduit à l'invalidation de la méthode classique d'analyse des essais reposant sur l'existence d'un régime permanent d'écoulement. Cela nous a amené à développer une **nouvelle approche** fondée :

i) au plan expérimental sur l'utilisation du TRIMS couplée à un micro-tensiomètre implanté à l'interface croûte/sol sous-jacent (Vandervaere et al., 1997) permettant d'estimer la conductivité hydraulique et la sorptivité capillaire des croûtes.

ii) au plan théorique sur la conception, en collaboration avec P.J. Ross/CSIRO, d'un **nouveau modèle analytique d'infiltration 3D transitoire** qui constitue une généralisation de la loi de Parlange et col., (1982) à 2 paramètres par l'introduction d'un terme supplémentaire lié à la géométrie de l'apport (Parlange et col., 1996 ; Ross et col., 1998).

Sur la base des données ainsi obtenues, un modèle d'infiltration en sol encroûté, ne nécessitant pas de calibration a été développé et validé sur des mesures fines des lames d'eau ruisselées sur des parcelles présentant une large diversité typologique de croûtes (Peugeot et col., 1997 ; collaboration Orstom). Il a été montré (Vauclin, 1996, voir figure HZNS-10 tirée de Vandervaere et col., 1998) que dans le contexte sahélien où le processus hortonien est dominant, la non prise en compte de ces croûtes pouvait conduire à une sous-estimation du ruissellement allant de 40 à 100 %. Ce résultat a été complété par une étude

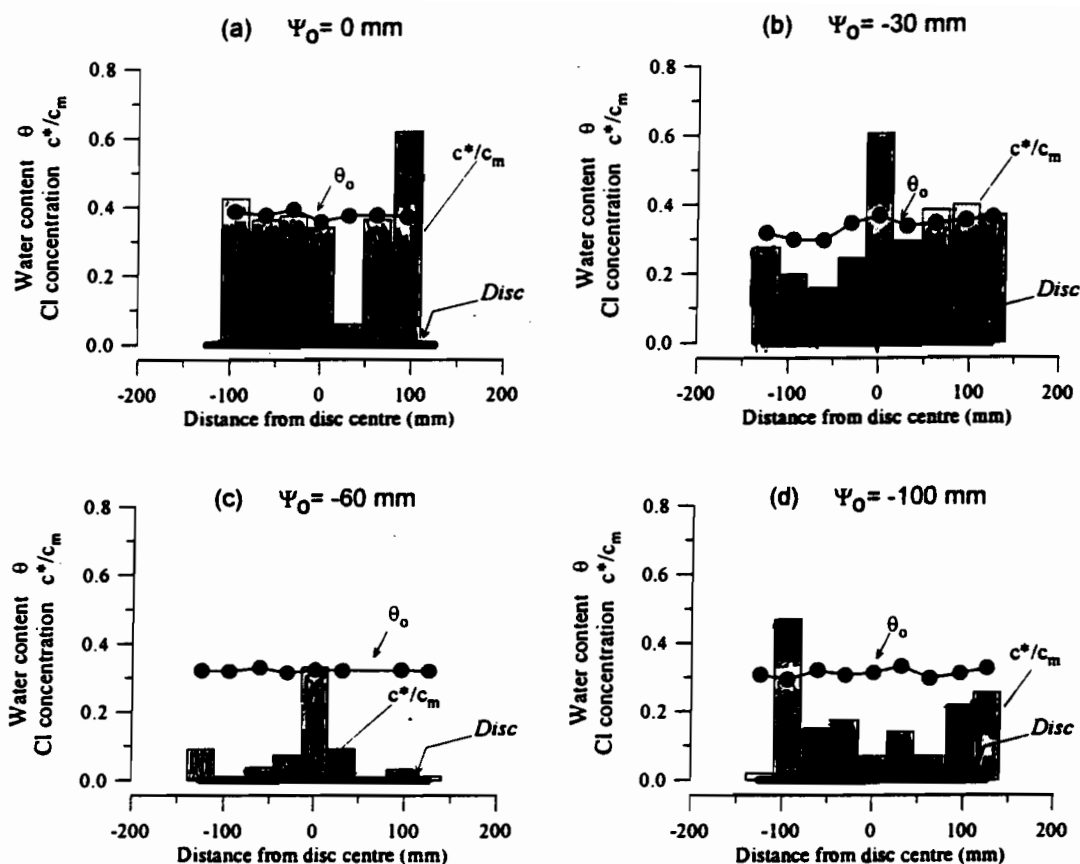
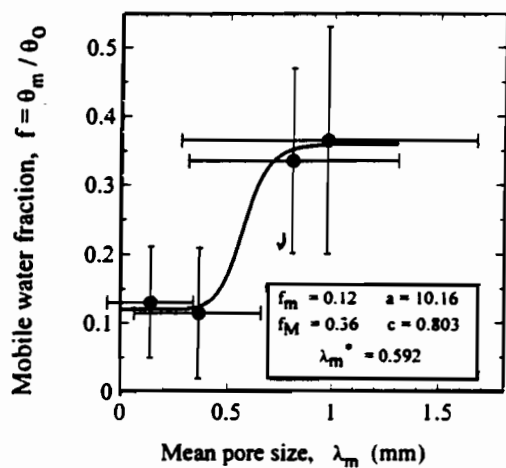


Fig. 1. Volumetric water content (θ) and relative concentration of Cl^- (C^*/C_m), measured underneath the disk at different supply water pressure heads.



$$\frac{f(\lambda_m) - f_m}{f_M - f_m} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\lambda_m^*}{\lambda_m} \right)^a \right]}$$

Fig. 4. Variation of the mobile water content ratio as a function of the mean pore size. Fitting curve corresponds to Eq. [7].

Figure HZNS-8 : Mise en évidence par infiltrométrie TRIMS et traçage chimique d'une fraction d'eau mobile en fonction du diamètre des pores hydrauliquement fonctionnels, donc de l'état hydrique du sol (Angulo-Jaramillo, Gaudet, Thony, Vauclin, 1996).

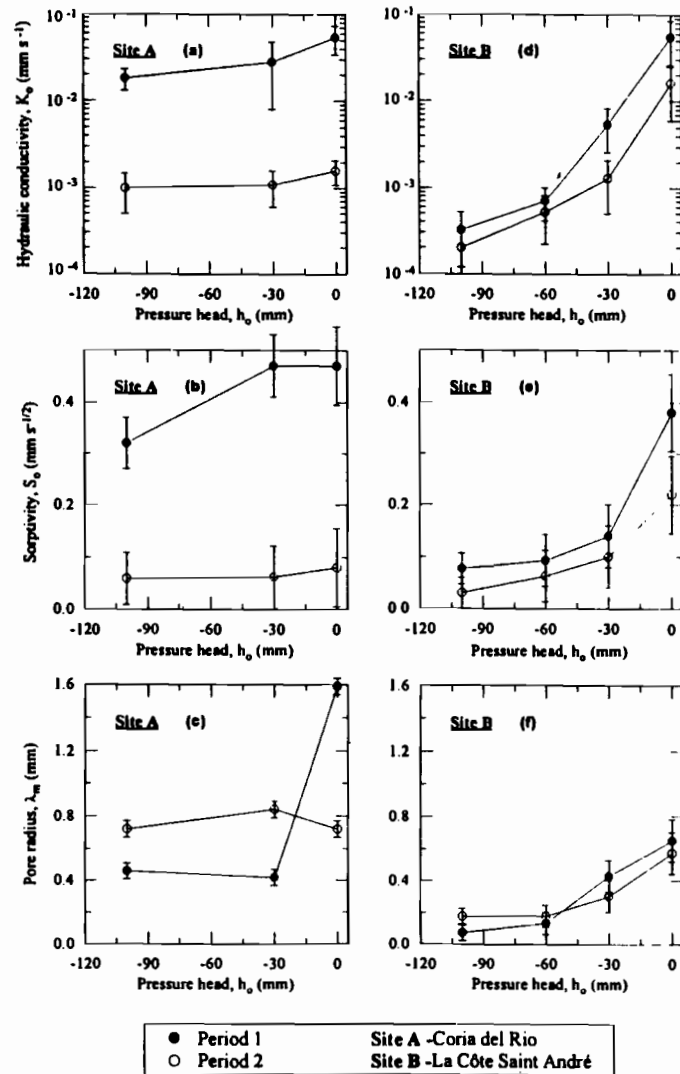


Fig. 2. The hydrodynamic characterization of Sites A and B for Periods 1 and 2: variation with the imposed water pressure head of the (a, d) hydraulic conductivity, (b, e) sorptivity, and (c, f) mean porous radius.

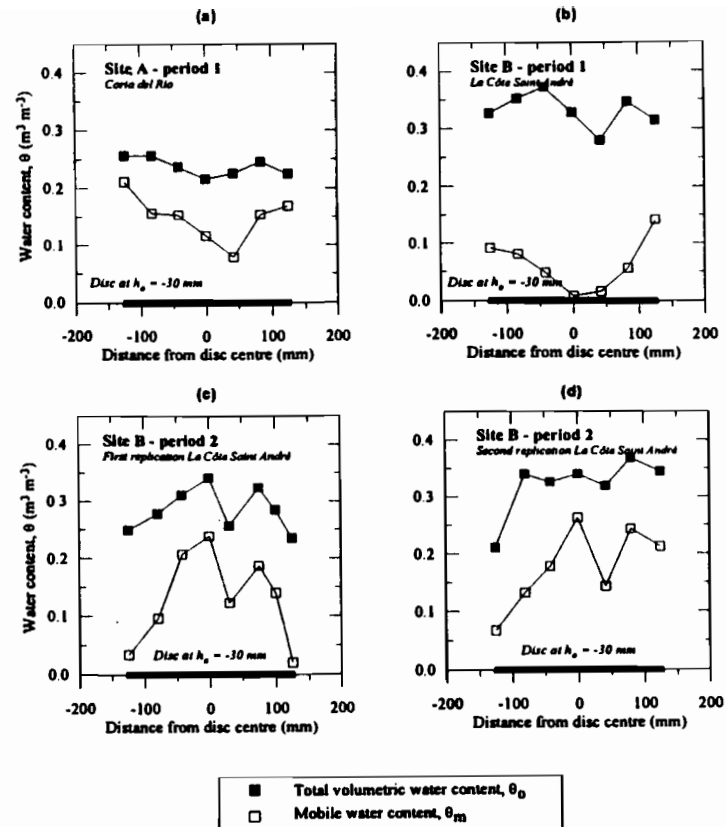


Fig. 3. Mobile and total volumetric water content sampled from the soil surface at the end of infiltration with KCl solution, Period 1, Sites (a) A and (b) B, and (c, d) Period 2, two replications in the Site B (A = pressure head).

Figure HZNS-9 : Mise en évidence par infiltrométrie TRIMS et traçage chimique de la variabilité temporelle des caractéristiques hydrodynamiques des couches superficielles de 2 sols. Période 1 : émergence du maïs ; Période 2 : à la récolte (Angulo-Jaramillo, Moreno, Clothier, Thony, Vachaud, Fernandez-Boy, Cayuela, 1997).

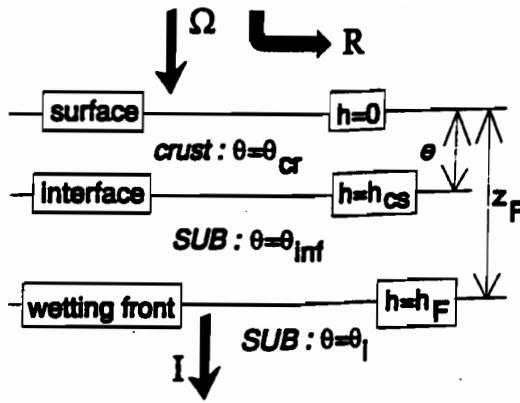


Fig. 1. General scheme of the model.

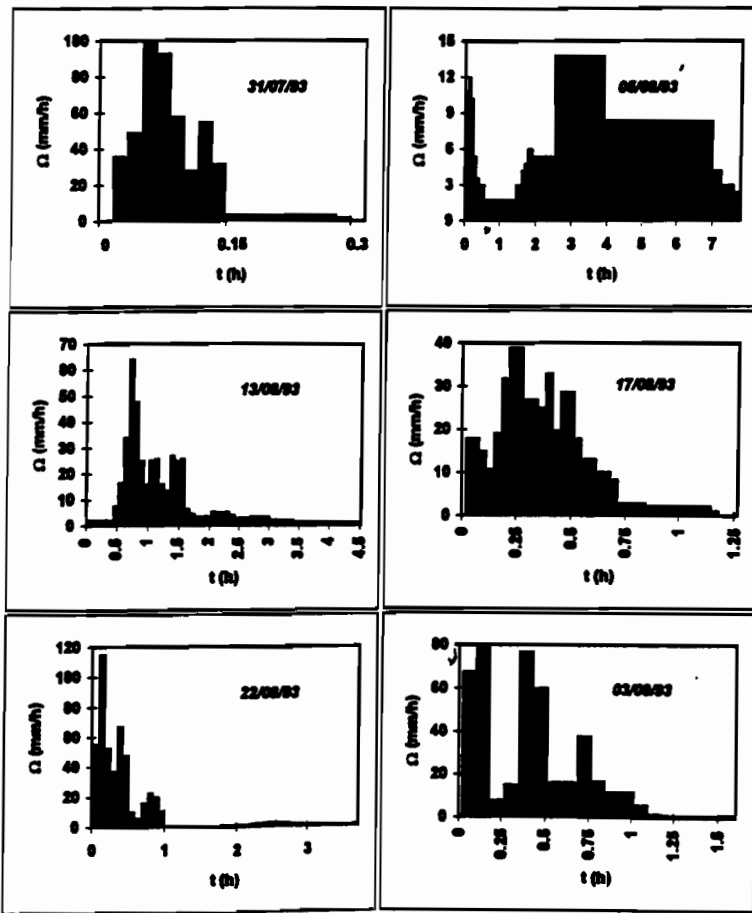


Fig. 4. Histograms of six representative rainfall events considered in the study.

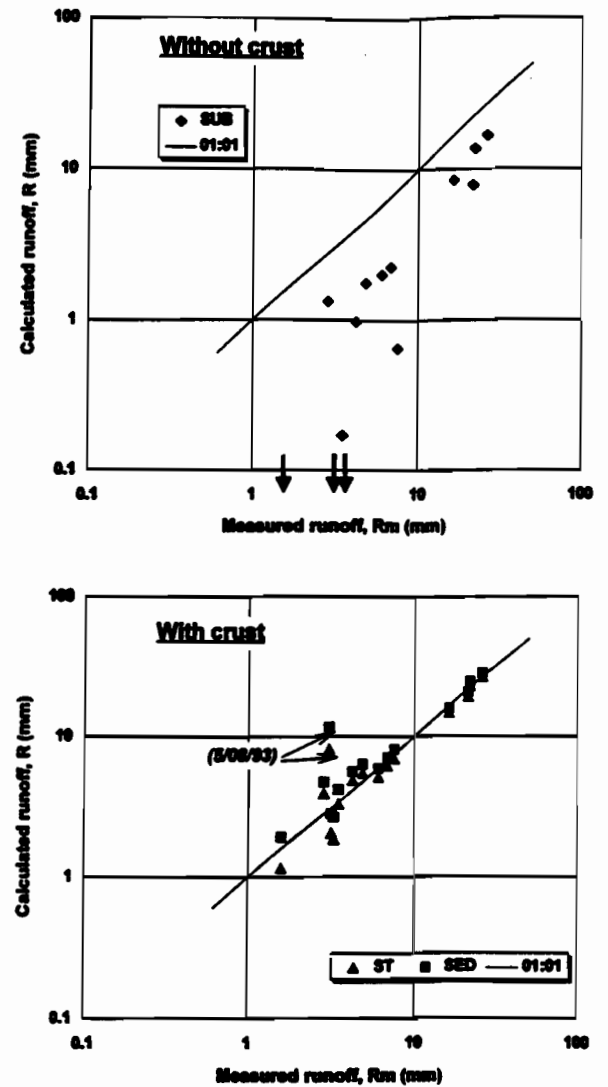


Fig. 6. Calculated versus Measured cumulative runoff for subsoil without crust (top) and for ST and SED crusts (bottom); plain line is the one-to-one line (arrows indicate points for which $R = 0$).

Figure HZNS-10 : Détermination des caractéristiques hydrodynamiques des sols encroûtés par infiltrométrie TRIMS couplée à un mini-tensiomètre. Validation sur la comparaison entre ruissellements calculés par un modèle de type Green-Ampt modifié et observés (Vandervoere, Vaulin, Haverkamp, Peugeot, Thony, Gilfedder, 1998).

de sensibilité du modèle SiSPAT et dont les résultats mettent en évidence également une forte influence de la présence ou absence de croûtes superficielles sur la reprise par évaporation de l'eau infiltrée.

On notera également que cette méthode mise en oeuvre sur la brousse tigrée du carré d'HAPEX-Sahel, couplée à un suivi hydrique du sol sous-jacent a permis d'évaluer l'impact de la structure de ce type de végétation sur la redistribution des ressources en eau souterraine. Il a notamment été montré (Galle et col., 1997) que les bandes de sol nu séparant deux fourrés arborés ont un rôle déterminant sur la croissance de la végétation (60 % de l'eau utilisée par la végétation provient du ruissellement généré par le sol nu). Il en ressort qu'il est inutile, voire néfaste, d'essayer de reboiser les bandes de sol nu, contrairement aux initiatives développées par certains Organismes Non Gouvernementaux : le sol nu ne doit pas être considéré comme de la forêt dégradée, mais plutôt comme faisant partie d'une unité fonctionnelle globale "sol nu-fourré" (Seghieri et col., 1997 ; Galle et col., 1998).

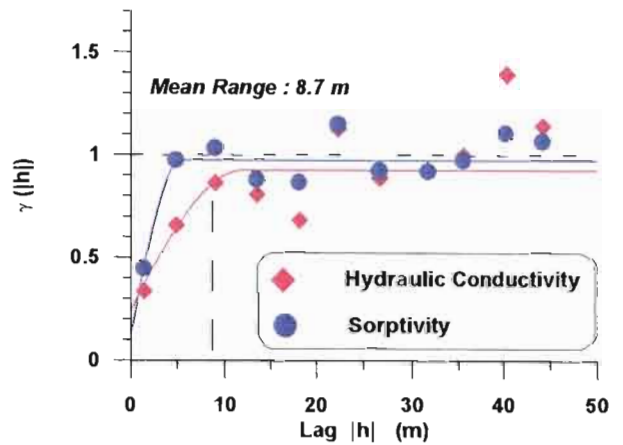
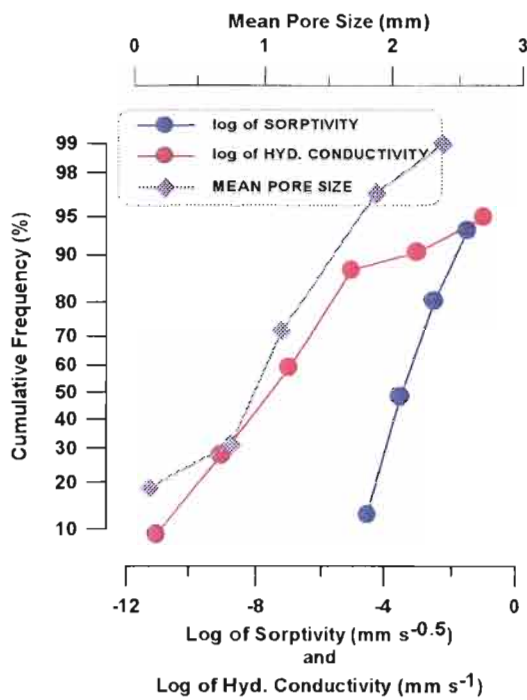
- Lors de l'expérience BOREAS/Canada, la portabilité de l'infiltrométrie TRIMS a permis une reconnaissance assez détaillée de la variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques des sols, qui a été réalisée par R. Cuenca/Université d'Orégon et interprétée (à l'aide des méthodes de l'analyse objective) en collaboration avec nous-mêmes dans le cadre d'une convention d'échanges CNRS/NSF. Les résultats obtenus (Cuenca et col., 1996, voir figure HZNS-11, tirée de Angulo-Jaramillo et col., 1996) ont permis également la validation statistique de la procédure de spatialisation des flux d'infiltration (Haverkamp et col., 1998, voir ci-dessus).

De l'ensemble de ces études réalisées dans des environnements hydro-pédo-climatiques variés, il ressort que la méthode TRIMS et ses développements récents (analyse du régime transitoire 3D d'infiltration, traçage chimique, utilisation d'un mini-tensiomètre, etc...) apparaît suffisamment fiable et précise pour contribuer à une meilleure compréhension et caractérisation du fonctionnement hydrologique des couches superficielles des sols **en place**, sa "versatilité" et sa portabilité permettant d'en quantifier de façon assez simple et peu coûteuse la variabilité spatio-temporelle et de tester certaines théories de spatialisation de l'infiltration.

b) Estimation directe du flux hydrique par mesure du champ électrique induit.

Les flux hydriques en sol non saturé sont classiquement estimés de façon **indirecte** (via la loi de Darcy) par l'analyse des mesures de profils de teneur en eau (humidimétrie neutronique, TDR) et de charge hydraulique (tensiométrie). L'expérience montrant que les valeurs résultantes sont souvent entachées d'incertitudes importantes, l'intérêt de développer des nouvelles méthodes apparaît évident.

Dans cet esprit, et dans le cadre du projet PNRH "Apport des méthodes géophysiques à l'étude des circulations de fluides en subsurface" (coordonné par J.P. Pozzi/ENS-Paris, et mené en collaboration avec l'IPG-Paris) une étude de faisabilité d'estimation directe du flux hydrique par la mesure du champ électrique induit par le phénomène d'électrocinétisme a été conduite sur l'Observatoire de la Côte-Saint André. Le suivi temporel (sur 10 jours successifs après une pluie de 24 mm) des différences de potentiel électrique mesurées entre des électrodes Pb/PbCl₂ non polarisables, implantées verticalement à plusieurs profondeurs, couplé au suivi hydrique (humidimètre neutronique et tensiomètres) a clairement montré (figure HZNS-12, tirée de Thony et col., 1997) une relation **linéaire causale** entre le flux calculé par la loi de Darcy et le **gradient de potentiel électrique** dont dérive le champ. Alors que de nombreuses études (de laboratoire, sur échantillons saturés soumis à de fortes contraintes mécaniques ; in-situ dans différents contextes géologiques profonds) avaient mis en évidence des relations entre écoulement d'eau et génération d'un signal électrique, c'est à notre connaissance la **première fois** qu'une telle liaison quantitative a pu être établie pour la **zone non saturée du sol**, en conditions naturelles. Ces résultats préliminaires ont été jugés suffisamment encourageants pour justifier des études plus exhaustives, actuellement en cours (Thony et col., 1998).



Semivariogramme expérimental de la conductivité hydraulique et de la sorptivité capillaire, approximation par un modèle sphérique.

Diagramme de fréquences de la conductivité hydraulique, la sorptivité capillaire et le rayon de pores hydrauliquement fonctionnels obtenus au voisinage de la saturation partir de l'analyse transitoire de 35 essais d'infiltration TRIMS, site Old Jack Pine, BOREAS.

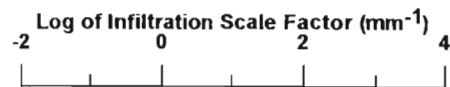


Diagramme de fréquences des paramètres de mise en échelle calculés à partir des mesures d'infiltration

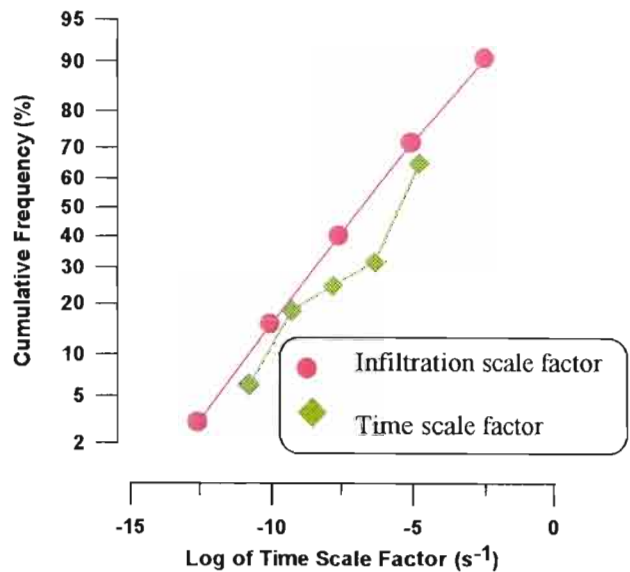


Figure HZNS-11 : Vérification in-situ de la mise en facteur d'échelle de l'équation d'infiltration par comparaison entre la variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques (conductivité hydraulique, sorptivité capillaire, rayon de pores hydrauliquement actifs) et celle des facteurs d'échelle (Angulo-Jaramillo, Haverkamp, Zammit, Vauclin, Cuenca, 1996).

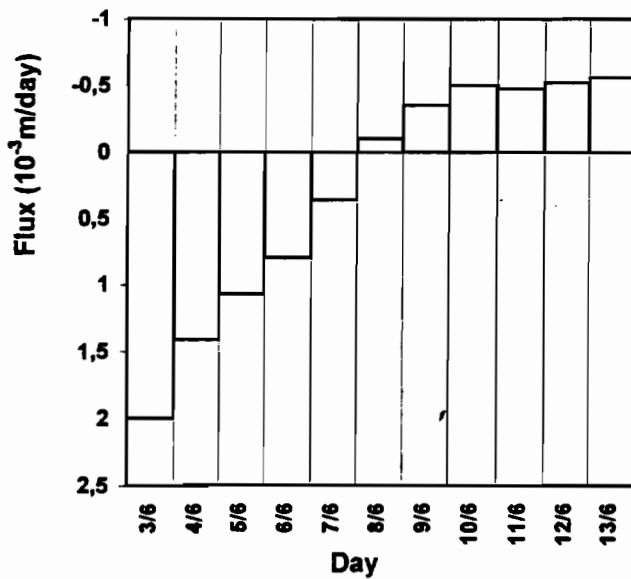


Figure 2. Time distribution of daily values of soil water flux at $z = 0.4$ m (positive values refer to downward oriented flow).

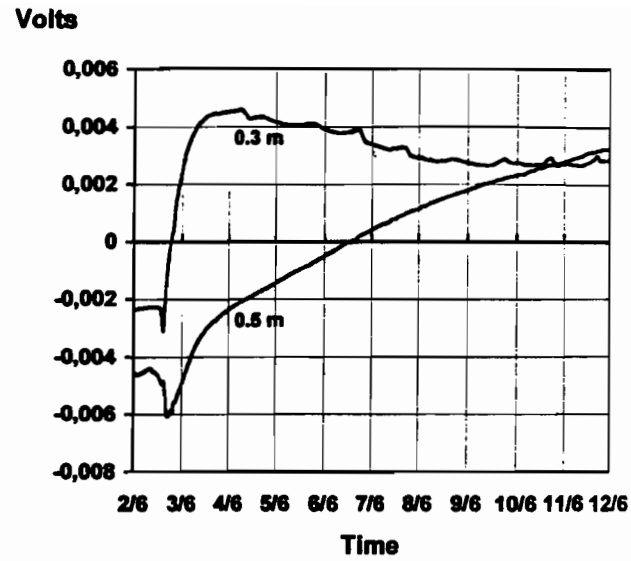


Figure 3. Changes of electrical potential (relative to 0.8 m) measured at 0.3 and 0.5 m.

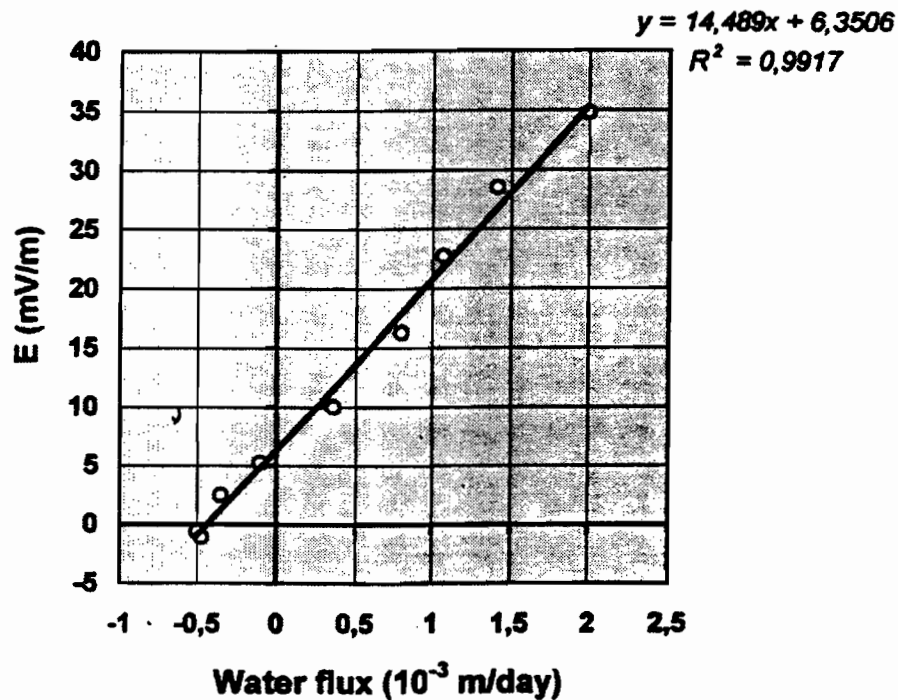


Figure 4. Relationship between daily values of vertical flux of water q and the electric field E at 0.4 m in the soil.

Figure HZNS-12 : Mise en évidence expérimentale d'une relation linéaire causale entre flux de Darcy et champ électrique, observée in-situ dans la zone non saturée d'un sol (Thony, Morat, Vachaud, Le Mouël, 1997).

c) *Caractérisation hydrodynamique des sols par la voie de la modélisation.*

Un examen de la littérature spécialisée met en évidence un effort important, voire effréné de la Communauté des Physiciens du sol pour développer, parallèlement aux méthodes expérimentales, **des modèles prédictifs** des relations non linéaires conductivité hydraulique-pression capillaire-teneur en eau.

Le choix optimal des fonctionnelles décrivant ces relations a pu être identifié à partir de la théorie de la mise en facteur d'échelle de l'équation du transfert (Haverkamp et col., 1998). Les cinq paramètres intervenant dans ces fonctionnelles peuvent être séparés en deux paramètres de forme (très fortement liés aux propriétés texturales du sol) et trois paramètres d'échelle (liés aux propriétés structurales du sol). Pour leur identification **deux approches différentes** ont été explorées :

- **Les méthodes directes** qui visent à prédire les paramètres d'une manière explicite à partir de l'information texturale et structurale du sol. A cet égard, **une banque de données** (GRIZZLY) comprenant les caractéristiques physiques (texture et structure) et hydrodynamiques de plus de 700 sols provenant de divers pays a été constituée (Haverkamp et col., 1996). Un logiciel permettant de visualiser les paramètres hydrodynamiques, les courbes de rétention en eau et de conductivité hydraulique ainsi que les données expérimentales, a été créé pour la plupart des systèmes d'exploitations PC et est disponible sur site Web. Deux approches complémentaires des méthodes directes ont été ou sont encore en phase exploratoire :

i) la voie théorique avec deux approches :

- d'une part, **l'approche fractale** dont on a montré (Fuentes et col., 1996 ; Fuentes et col., 1997) l'intérêt (mais aussi les limites), tant au plan conceptuel avec la généralisation des résultats fragmentaires précédemment obtenus par de nombreux auteurs, qu'au plan expérimental pour la description de la variabilité spatiale des propriétés hydrodynamiques des sols. Les résultats montrent un bon accord entre valeurs expérimentales et prédites par **des modèles pseudo-empiriques** (Van Genuchten, pour la pression ; Brooks et Corey pour la conductivité), dont les paramètres de forme sont obtenus à partir de considérations géométriques sur la porosité fondées sur une approche fractale de la granulométrie et à condition de caler les facteurs d'échelle (conductivité à saturation, pression d'entrée d'air, teneur en eau à saturation).
- d'autre part, le développement d'un **modèle de prédiction** à base physique fondé sur l'hypothèse de la similarité de forme entre la courbe de rétention (pression-teneur en eau) et la courbe de fréquence cumulée de la distribution de la taille des grains (caractéristique texturale du sol). Il a été montré (Zammit et Haverkamp, 1997 ; Zammit et col., 1998) que les paramètres de forme des propriétés hydrodynamiques du sol sont très fortement liés aux caractéristiques texturales du sol, permettant ainsi la prédiction de ces paramètres à partir de la connaissance de la seule courbe granulométrique (thèse C. Zammit, en cours).

ii) la voie pragmatique qui vise à simplifier l'approche précédente en vue d'alimenter en paramètres les modèles hydrologiques régionaux (MHR) à base physique, et pour lesquels les informations disponibles à cette échelle sont forcément limitées et se réduisent bien souvent à la seule carte pédologique. La méthode de type **PTF** (Pedo Transfer Function) consiste à prédire les paramètres de forme des fonctionnelles décrivant les courbes de rétention en eau et de conduction hydraulique à partir de la connaissance des teneurs en argile, en limon et en éléments grossiers plus ou moins perméables. Fondée sur une base physique, elle présente l'avantage de s'affranchir des limites classiques d'utilisation des approches de type statistique couramment utilisées jusqu'à maintenant (e.g. Rawls et

Brakensiek, 1989). Les premiers résultats (Bouraoui et col., 1997 et 1998 ; Haverkamp et col., 1998) validés sur une base de données (plus de 3000 sols différents) indépendante de celle qui a servi à son élaboration, montrent que l'approche est particulièrement prometteuse notamment dans l'optique d'assimilation de données dans les MHR.

- **Les méthodes indirectes** qui consistent en l'identification des caractéristiques hydrodynamiques par inversion d'un modèle de transfert hydrique. Elles présentent l'avantage potentiel d'estimer simultanément les 5 paramètres décrivant les fonctionnelles $K(\theta)$ et $h(\theta)$ ainsi que les conditions initiales et aux limites, souvent inconnues sur le terrain. En utilisant comme données de calage, des mesures de l'infiltration cumulée en fonction du temps deux approches ont été développées et évaluées :
 - le modèle adjoint de l'équation de Richard's (1D) transitoire, élaboré en collaboration avec le LMC/IMA-Grenoble, dans le cadre du projet PNRH coordonné par R. Mosé/IMF-Strasbourg "Les modèles hydrologiques spatialisés : identification des paramètres par approche inversé", a montré (Jorgensen et col., 1997) que, malgré des moyens importants de calcul, l'utilisation de la seule courbe d'infiltration ne permet pas d'identifier de manière unique plus de 3 paramètres. Ainsi, des contraintes supplémentaires (données complémentaires, relations théoriques entre paramètres d'échelle) doivent être considérées ;
 - l'inversion du modèle numérique d'infiltration TRIMS (équation de Richard's 2D-axisymétrique) contraint par des observations de la lame d'eau infiltrée des teneurs volumiques en eau initiale et finale (et de la pression à l'interface croûte/sol dans le cas des milieux encroûtés) a conduit à des résultats très encourageants (voir Simunek et col., 1998) qui montrent un bon accord entre les valeurs expérimentales et calculées de la conductivité hydraulique en fonction de la pression capillaire.

Dans le même esprit, et dans le cas des profils verticaux homogènes, l'inversion d'un modèle analytique (plus rapide et aisé à mettre en oeuvre que les modèles numériques) a été proposée (Connell et col., 1998 ; collaboration MAE/INSU France-Australie).

3. Eau, agriculture et protection de l'environnement souterrain.

Dans ce troisième axe, il s'agit de mettre en oeuvre les connaissances acquises sur les transferts de masse (eau et substances chimiques) dans les sols non saturés pour aborder les problèmes de la gestion des ressources en eau dans une optique de développement durable et plus particulièrement celui d'une agriculture économiquement rentable, mais plus soucieuse de la protection de l'environnement contre les pollutions diffuses.

Outre la valorisation par des publications des acquis théoriques et expérimentaux précédents portant sur l'alimentation hydrique des cultures et la maîtrise des systèmes d'irrigation [Ibrahima et col., 1995 ; Moreno et col., 1995 ; Tabuada et col., 1995 ; Fuentes et col., 1995 ; Revol et col., 1996 ; Andreu et col., 1996 ; Revol et col., 1997 (2x)], l'activité de l'Equipe s'est focalisée sur les aspects **quantitatifs et qualitatifs** du cycle hydrologique à différentes échelles spatio-temporelles, l'accent étant mis sur le devenir de la **fertilisation azotée** et des **produits phytosanitaires**.

a) *Etude de la pollution azotée.*

Elle a eu pour cadre principal (mais non exclusif) l'Observatoire Rhône-Alpes des pollutions diffuses de la Côte-Saint André sur lequel les études ont été menées à 3 échelles d'espace différentes, mais complémentaires.

- *l'échelle lysimétrique* (1 m²) pour l'étude fine des mécanismes d'écoulement de transformation et de dégradation de l'azote et de l'atrazine, herbicide couramment utilisé sur maïs (voir contribution de l'Equipe TMP). On notera que le dispositif expérimental a permis également de valider l'estimation des flux hydriques par la loi de Darcy appliquée aux différentes stations de mesure du bilan hydrique et azoté implantées sur des parcelles d'essais (thèse B. Normand, 1996).
- *l'échelle parcellaire* (2x1ha) pour les suivis annuels des bilans et flux hydriques et azotés en conditions naturelles et leur modélisation.
- *l'échelle régionale* du bassin versant environnant de la Bièvre (180 km²) pour étudier l'effet des pratiques culturales actuelles sur la ressource en eau souterraine et prévoir son évolution future dans la perspective de modifications anthropiques ou climatiques. Ces études ont été complémentées par un volet agronomique et économique (Vauclin-Vachaud-Mollard, 1997).

Les principaux résultats sont résumés ci-dessous :

- i) **La métrologie non destructive** mise en œuvre à l'échelle parcellaire (humidimétrie neutronique pour le suivi hydrique dans la zone racinaire du maïs irrigué, tensiométrie pour la mesure de la pression capillaire, cellules poreuses de prélèvement de la solution du sol pour la mesure des concentrations en éléments chimiques) a permis **un suivi fin pluriannuel** des dynamiques et des bilans hydriques et azotés, sous différents traitements agronomiques, incluant le sol nu (thèse B. Normand, 1996 ; Normand et col., 1996 ; Gabrielle et Kengni, 1996).
- ii) L'utilisation d'apports d'engrais marqué en 15N a permis d'effectuer des bilans azote détaillés. Il apparaît clairement (Normand et col., 1997 ; collaboration avec l'INRA-Laon) que les irrigations sont **correctement valorisées** par la culture et la lixiviation des nitrates négligeable durant le cycle cultural. En revanche, les pertes d'eau par percolation profonde qui se produisent à l'interculture (jusqu'à 90 % des pluies) convectent les reliquats azotés présents dans le sol à la récolte. Il a ainsi été montré qu'une **diminution de 80 kg/ha d'apport en azote** par rapport à la pratique courante de 260 kg/ha **réduisait drastiquement** les pertes en nitrates au-delà de la zone racinaire **sans pour autant affecter notablement la production** (dont l'optimum est obtenu, d'après l'AGPM, pour 180 kg/ha environ). On notera que ces résultats ont fait l'objet d'un transfert vers le secteur aval puisque les agriculteurs de la région ont maintenant adopté cette stratégie.
- iii) Les données expérimentales ont servi de support à la **modélisation des transferts hydriques** (thèse de E. Carrilo-Avila, 1995) et de nitrates (thèse de B. Normand, 1996). A titre d'exemple, la figure HZNS-13, tirée de B. Normand, 1996 montre la comparaison entre les valeurs mesurées et calculées [par le modèle WAVE (Water and Agrochemicals in the soil, crop and Vadose Environment) développé en collaboration avec KU Leuven, Vanclouster et col., 1997/programme UE/DG XII "EUGREP"] des composantes du bilan hydrique, du stock de nitrates dans les 80 premiers centimètres du sol et des pertes par lixiviation.
- iv) La **non disponibilité** de l'ensemble des paramètres nécessaires à la modélisation mécaniste des transferts et du transport conduit bien souvent à **une phase de calage des modèles**. Il a été montré **tout l'intérêt de conduire des expérimentations parallèles sur sol nu et cultivé** (avec et sans fertilisation) afin de discriminer les processus et de caler les paramètres sol et plantes indépendamment.

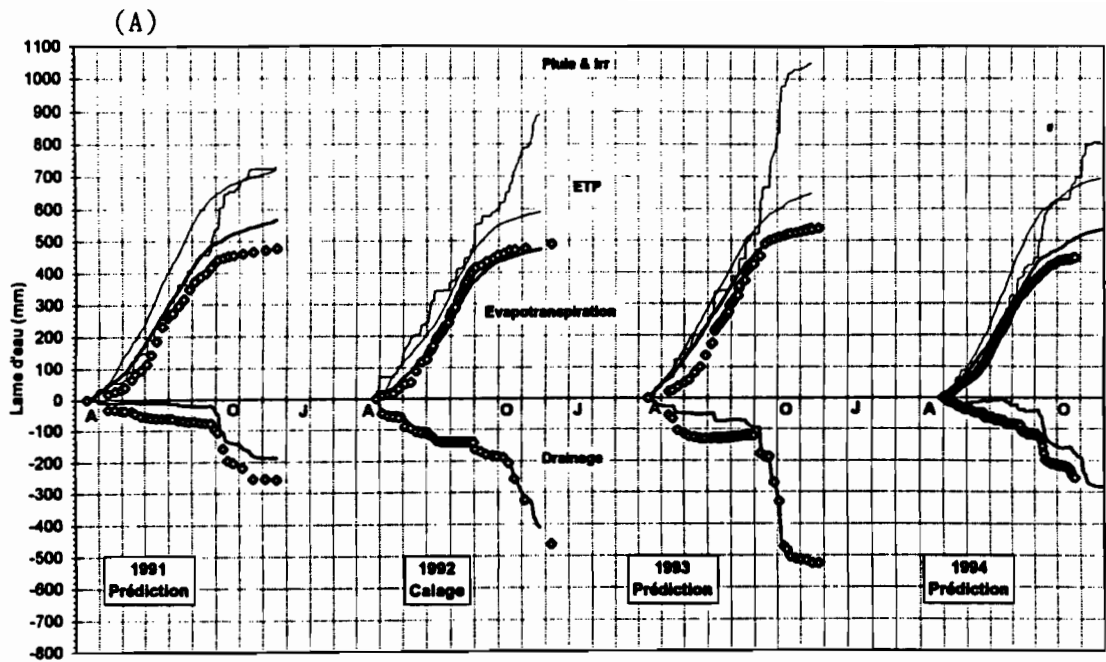
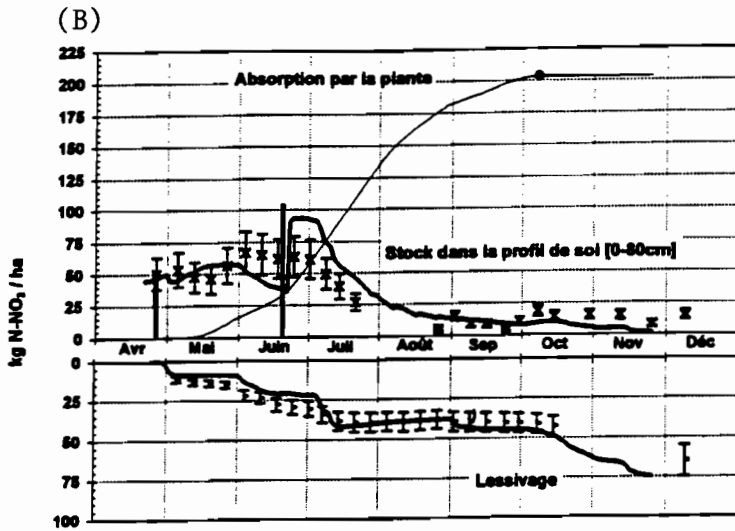


Figure VI-21 : Principaux termes du bilan hydrique, site cultivé fertilisé (T4).
 Comparaison drainage et évaporation estimés et simulés.

Calage en 1992 et prédiction/extrapolation les trois autres années.
 Pluie, irrigation et ETP sont fournies en entrée.



Evolution temporelle du stock d'azote nitrique présent dans la zone racinaire, lessivage cumulé au-delà de cette zone, et absorption d'azote par la plante. Site cultivé fertilisé (T4), 1992.
 Comparaison mesures et simulations.

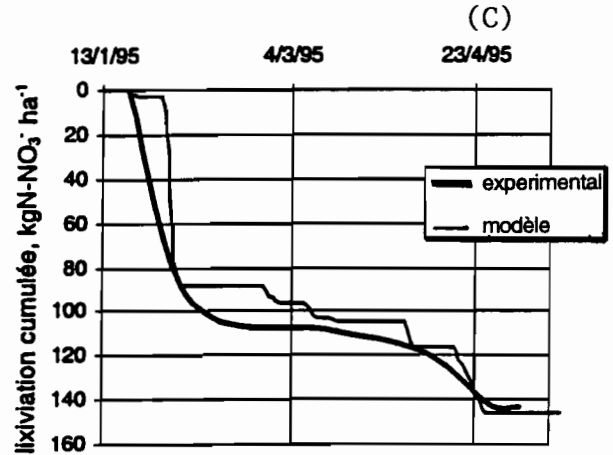


Figure HZNS-13 : Evaluation du modèle WAVE dans 2 contextes différents : la Côte-Saint André/Isère (figures A et B, tirées de la thèse de B. Normand, 1996) et l'île de Maré/Nouvelle Calédonie (figure C, tirée de la thèse de C. Duwig, 1998).

v) **La méthodologie développée** sur l'Observatoire de la Côte-Saint André pour le suivi pluriannuel des dynamiques des bilans hydriques et azotés a été également **mise en oeuvre en Nouvelle-Calédonie** dans le cadre de la thèse de C. Duwig (collaboration Orstom/LTHE ; Duwig et col., 1996 et 1998) dont l'objectif est ici l'estimation des flux de nitrates susceptibles d'atteindre, donc de polluer les aquifères et in fine l'océan côtier

La encore, le modèle WAVE a conduit à des résultats tout à fait satisfaisants, comme le montre à titre d'exemple l'encart C de la figure HZNS-13 tiré de la thèse de C. Duwig, 1998.

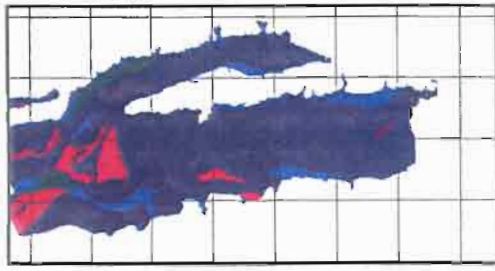
vi) A l'échelle du bassin versant de la Bièvre, **une modélisation distribuée** combinant un SIG (GRASS/mode raster en l'occurrence) et le modèle mécaniste ANSWERS [Areal Non point Source Watershed Environment Response Simulation (Bouraoui et Dillaha, 1996)] - moins "gourmand" en paramètres que WAVE - a été développée pour simuler dans une première phase l'évolution spatio-temporelle des composantes du bilan hydrologique, en liaison avec les pratiques culturales. Elle s'appuie sur un Modèle Numérique de Terrain, sur la carte des sols et de la végétation sur les champs spatiaux de précipitation et d'Evapotranspiration Potentielle et sur la piézométrie de l'aquifère (voir schéma de principe, figure HZNS-14, tirée de Bouraoui et col., 1997). Cette approche a pu être validée (figure HZNS-15) :

- à l'échelle locale par comparaison avec des valeurs d'évapotranspiration et drainage observées sur les parcelles (2x1ha) en sol nu et sous culture de maïs irrigué, du site de la Côte-Saint André et ce, sur 3 années consécutives.
- à l'échelle du bassin versant environnant (180 km²) sur la piézométrie de la nappe, mesurée en 5 puits différents.

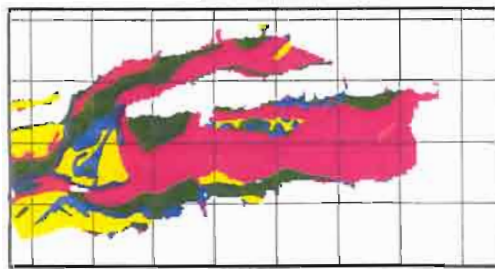
On notera que ce travail se poursuit actuellement dans trois directions :

- *Intégration dans le modèle ANSWERS* du module de calcul des écoulements 2D dans les aquifères HYDRONAP (Woumeni, 1998) et application à 3 bassins européens (Grande Bretagne, Grèce-Crête et Espagne) allant de 17 à 16 000 km² (collaboration Institut d'Hydrologie/Wallingford, UE/DG XII "GRAPES").
- *Adaptation du modèle* (notamment par amélioration de sa résolution spatiale) pour la simulation des crues rapides sur des bassins versants à topographie marquée (collaboration avec le Centre Régional Andin de Mendoza/Argentine, congé sabbatique d'I. Braud).
- *Prise en compte des aspects qualitatifs* (cycle de l'azote et devenir des produits phytosanitaires) pour prédire l'évolution temporelle de la qualité de l'aquifère de la Plaine de la Bièvre en fonction des pratiques culturales sur le bassin (thèse E. Sauboua, en cours ; programme UE/DG XII "CAMSCALE").

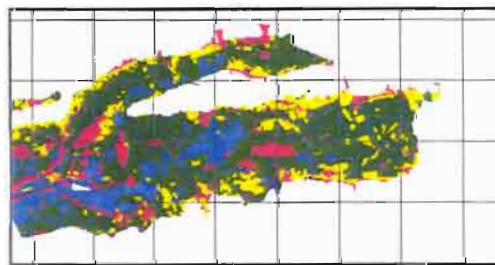
vii) Le modèle ANSWERS, préalablement validé a été utilisé à titre **exploratoire** pour prédire l'**impact d'un changement climatique** (scénario classique de doublement du CO2 atmosphérique) sur l'évolution de la **ressource en eau souterraine** (collaboration LMD-Paris, Programme UE/DG XII "ECRASE" et PIR-EVS/CNRS). Pour ce faire, une méthode de désagrégation des sorties (pluies, température) du MCG du LMD a été proposée afin de les rendre spatialement compatibles avec le modèle hydrologique et de générer de longues séries temporelles (30 ans) climatiques (Bouraoui et col., 1997).



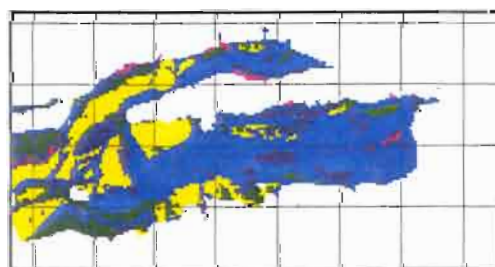
CARTE TEXTURALE, PLAINE DE LA BIEVRE



CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE A SATURATION (mm/hr)

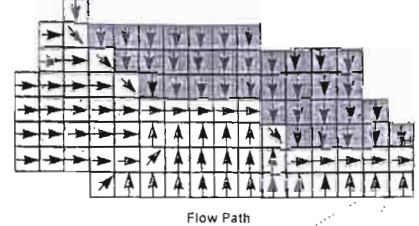


OCCUPATION DES SOLS, PLAINE DE LA BIEVRE



DRAINAGE MOYEN (1991,1992,1993) SOUS LA ZONE RACINAIRE (MM/AN)

- A argileuse
- Als argile limono-sableuse
- LAS limono-argilo-sableuse
- La limon argileux
- SaI sable argilo-limoneux
- Lsa limon sablo-argileux
- L limoneuse
- LL limon
- SS sable



- 0-2
- 2-4
- 4-6
- 6-8
- 8-10
- 10-12
- 12-14
- >14

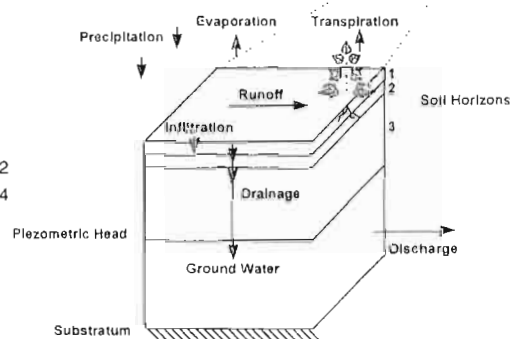


Fig. 1. Representation of the hydrologic cycle as simulated by the ANSWERS model.

- Prairie
- Cultures seches
- Mais irrigue
- Arboriculture
- Forets
- Zone urbaine

- 220-250
- 250-280
- 280-310
- 310-340
- 340-370

Figure HZNS-14 : Modélisation distribuée du cycle hydrologique par ANSWERS (Bouraoui, Vachaud, Haverkamp, Chen, 1997).

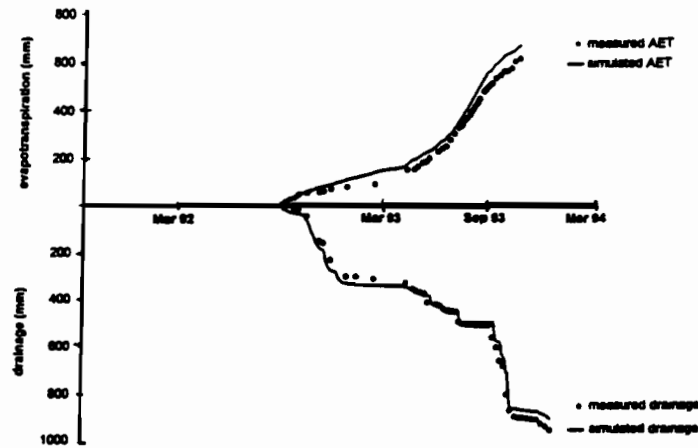


Fig. 4. Measured vs predicted drainage and AET for the lysimeter.

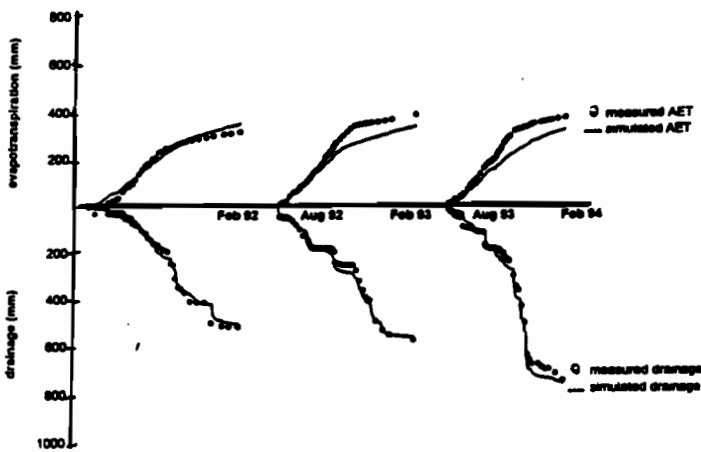


Fig. 5. Measured vs predicted drainage and AET for the bare soil plot.

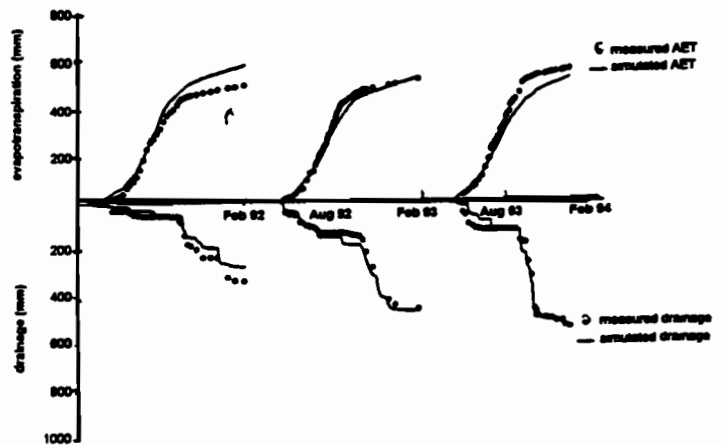


Fig. 6. Measured vs predicted drainage and AET for the corn plot.

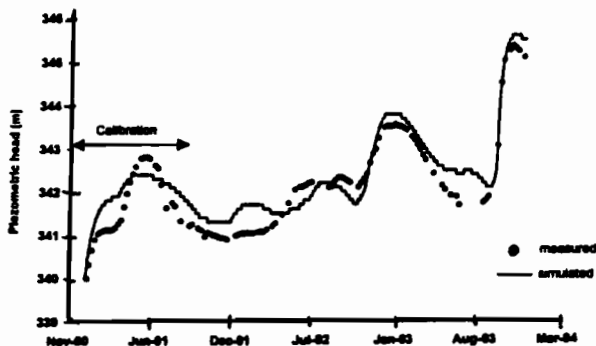


Fig. 8. Predicted vs measured piezometric level for the 'Feuges' well (soil surface elevation 350.10 m).

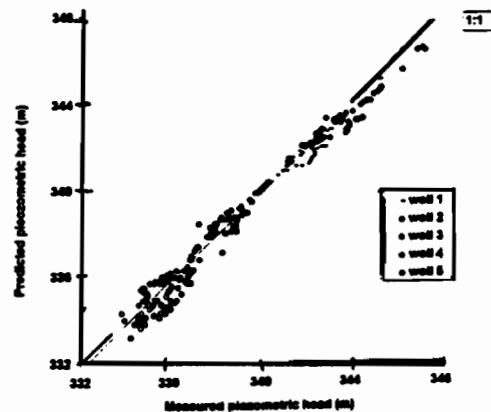
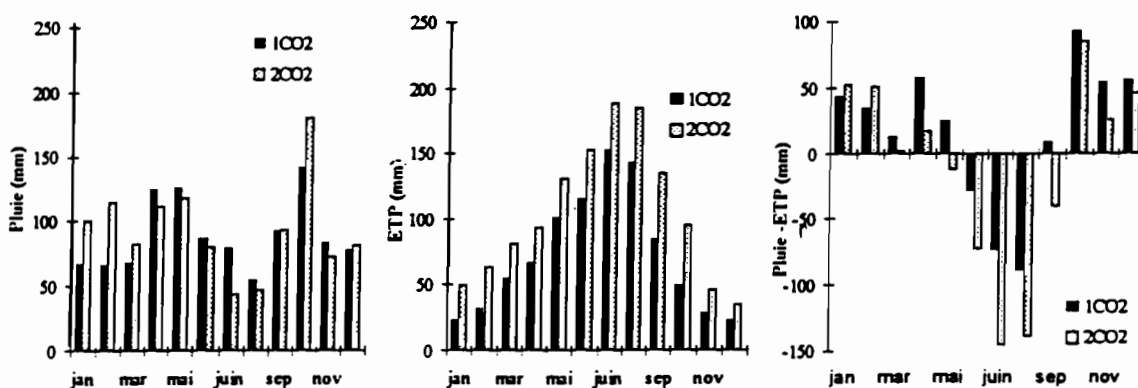


Fig. 9. Predicted vs measured piezometric level for the five validation wells.

Figure HZNS-15 : Evaluation du modèle ANSWERS sur des valeurs des composantes du bilan hydrique (sol nu et cultivé) et de la piézométrie mesurées sur l'Observatoire de la Côte-Saint André (Bourauoi, Vachaud, Haverkamp, Normand, 1997).

Les résultats de la comparaison entre 2 scénarii (pérennité du climat actuel, doublement de CO₂) mettent en évidence pour le bassin de la Bièvre (voir figure HZNS-16, tirée de Bouraoui et col., 1997) :

- une incidence faible du réchauffement sur la pluviométrie moyenne annuelle (1100 mm à comparer à 1050 mm observés), mais très importante sur l'ETP : 1260 mm au lieu de 860 mm pour les conditions actuelles.
- un fort déficit hydrique, l'été, période de plus forte demande en eau par la végétation.
- un abaissement très significatif du niveau piézométrique de l'aquifère résultant d'une plus forte extraction d'eau pour l'irrigation et de plus faibles valeurs des flux en-dessous de la zone racinaire, susceptibles de recharger la nappe.
- la nécessité d'utiliser de nombreuses réalisations afin de séparer l'effet de la variabilité interannuelle de la pluie et celui induit par le changement climatique.
- un risque important de diminution très significative des réserves en eau souterraine, en l'absence de modifications des pratiques culturales actuelles : remise en cause des cultures irriguées, au profit d'itinéraires techniques plus économes en eau, développement de variétés offrant une meilleure résistance à la sécheresse.



Pluie (a), ETP (b) et déficit climatique (c) moyens sur 30 ans.

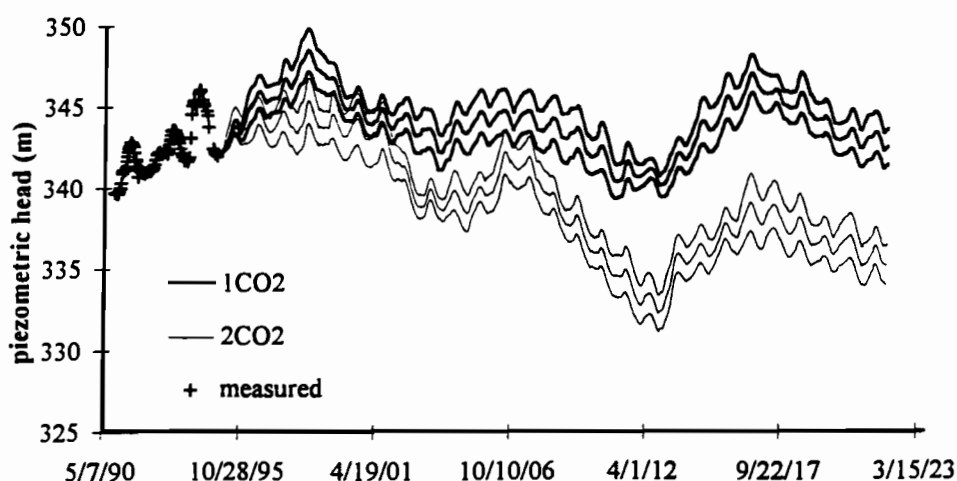


Figure HZNS-16 : Impact d'un doublement du CO₂ atmosphérique sur la pluviométrie, la demande évaporative de l'atmosphère et du déficit hydrique dans la région de la Côte-Saint André et conséquence possible sur le niveau piézométrique de la nappe (Bouraoui, Vachaud, Chen, Li, Le Treut, 1997).

b) Etude de la pollution par des produits phytosanitaires sur le site test du Vannetin
(sous-bassin du Grand Morin)

- En s'appuyant sur les bases de données disponibles sur ce bassin versant (35 km²) une **nouvelle approche de la prévention de la contamination des aquifères a été proposée** dans le cadre du projet EUREKA/ISMAP (collaboration avec le LHF/Grenoble). Fondée sur une décomposition inverse "ascendante" des phénomènes de transport de substances chimiques en milieu souterrain (aquifère et zone non saturée du sol vus comme un continuum), elle permet de relier la concentration admissible au niveau de la nappe (par exemple un puits de captage), à la quantité de produit qu'il convient d'épandre à la surface du sol pour ne pas la dépasser. La méconnaissance relative du milieu (incertitudes expérimentales sur les paramètres, variabilité spatiale des propriétés physiques et physico-chimiques du sol) a nécessité le développement d'une modélisation **stochastique** conduisant à exprimer la réponse en **termes probabilistes** et donc in fine à une **analyse de risques** (thèse de V. Guinot, 1995 ; Guinot et Vauclin, 1996 et 1998).

Les résultats relatifs à l'atrazine ont conduit à **remettre en cause** la définition réglementaire des périmètres de protection des captages qui veut que les points les plus proches soient ceux où la concentration tolérée d'épandage doit être la plus faible. Ils montrent également (figure HZNS-17, tirée de Guinot et Vauclin, 1998) que **l'incertitude sur les concentrations est fortement conditionnée par la structure spatiale** des paramètres qu'il convient donc d'identifier au préalable par un schéma d'échantillonnage adéquat.

- Afin de pallier la lourdeur des méthodes stochastiques, une **méthode originale** fondée sur des concepts issus de la **logique floue** a été développée, à titre **exploratoire** (thèse de C. Freissinet, 1997) pour estimer le degré de confiance que l'on peut accorder à la solution (analytique ou numérique) d'un problème de transport compte-tenu des imprécisions sur les variables d'entrée, sur les paramètres et sur la pertinence du modèle retenu à représenter la réalité physique. Le principe général est donné figure HZNS-18 (tirée de Freissinet et col., 1998). Les valeurs d'entrée du modèle considérées comme imprécises sont assimilées à des nombres flous représentés ici par des fonctions triangulaires d'appartenance. L'utilisation de règles de logique floue et leur combinaison par différents opérateurs permettent d'estimer **l'imprécision sur les variables de sorties**. Cette méthode a été appliquée :

- *au calcul analytique* d'indices (DRASTIC et Attenuation Factor) de vulnérabilité d'un aquifère à une pollution par les pesticides. Les résultats (Freissinet et col., 1997) montrent clairement que les **classements** résultants imposés par l'EPA-USA (peu vulnérable, vulnérable, très vulnérable, etc...) peuvent être **complètement différents** selon que l'on prend en compte ou pas une imprécision sur les paramètres explicatifs tels que le facteur retard, le temps de demi-vie du produit, ou la conductivité hydraulique du sol.
- *au calcul numérique* des flux de produit phytosanitaire advectés dans la zone non saturée. A titre d'exemple, est reporté sur la figure HZNS-18 (tirée de Freissinet et col., 1998) le **flux maximum** d'atrazine susceptible d'être convecté dans les couches superficielles du sol du bassin versant du Vannetin (compte-tenu de la climatologie et des pratiques culturales de ces 20 dernières années) ainsi que la **bande d'imprécision** dont l'épaisseur est fonction de la coupure α qui correspond au degré de confiance que le décideur souhaite accorder aux résultats.

Cette méthode, aux résultats prometteurs et simples à obtenir (contrairement aux simulations de Monte Carlo, un seul calcul suffit pour estimer les imprécisions), est en cours d'application aux bio-indicateurs environnementaux dans le cadre d'un projet soutenu par le PIR-EVS/CNRS "Méthodes, Modèles et Théories" (collaboration avec le LHF-Grenoble). Elle a également suscité l'intérêt de certaines Agences de l'Eau, en liaison avec la qualité physico-chimique des eaux de surface.

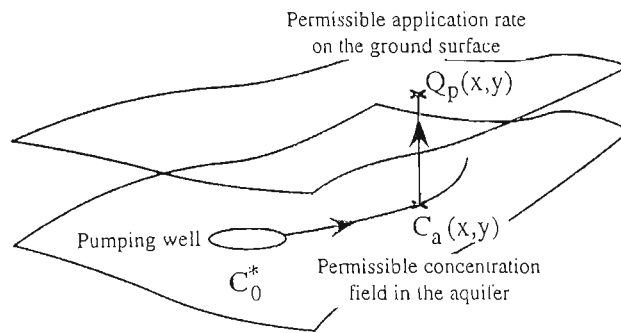


Fig. 1 : inverse transport problems in saturated and unsaturated zones
 C_0^* is the maximum value of concentration assigned at a pumping well located at coordinates (x_0, y_0)

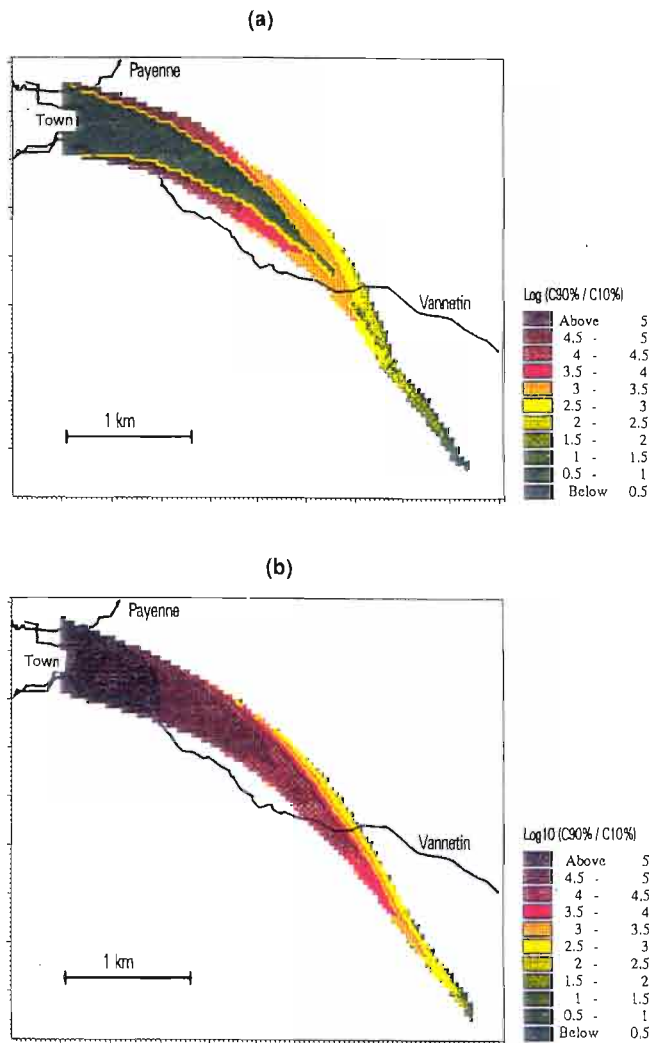


Fig. 12: Ratio of the 10th to the 90th percentile of the permissible concentration $C_a(x, y)$ in the aquifer calculated for two correlation lengths of hydraulic conductivity and Atrazine half-life: 200 m (a) and 7500 m (b). Maximum limit value $C_0^* = 0.1 \mu\text{g.l}^{-1}$ is assigned at the town pumping wells.

Figure HZNS-17 : Principe de calcul du transport d'un contaminant dans le continuum nappe-zone non saturée et exemple d'influence de la structure spatiale des paramètres sur l'incertitude affectant les concentrations de l'aquifère du Vannetin (Guinot et Vauclin, 1998).

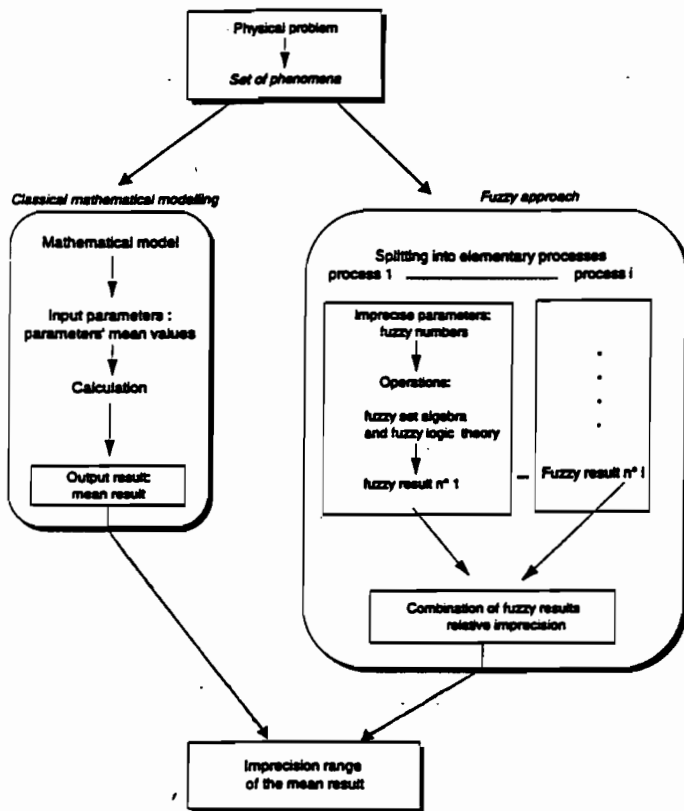


Figure 1. Principal components of the methodology

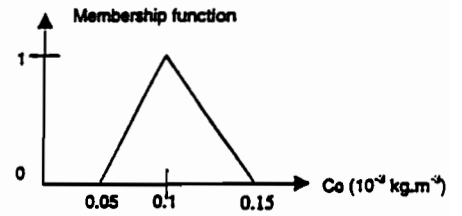
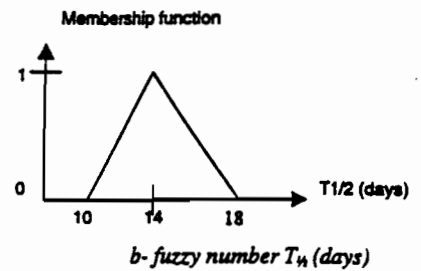


Figure 2 - a- fuzzy number $Co (10^3 \text{ Kg.m}^{-3})$,



b- fuzzy number $T_{1/2}$ (days)

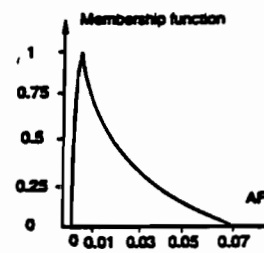


Figure 2: Output fuzzy results

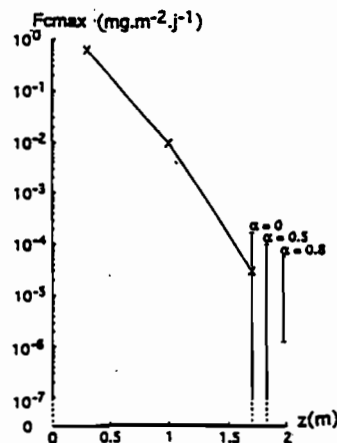


Figure 3 : F_{cmax} and its imprecision for different α -cuts.

Figure HZNS-18 : Principe de l'approche de type "logique floue" pour estimer les imprécisions relatives à la modélisation du transport d'un contaminant dans le sol et application au flux d'atrazine sur le bassin du Vannetin (Freissinet, Erlich, Vauclin, 1998).

PERSPECTIVES

Les perspectives se situent tout naturellement dans les efforts de recherche de la communauté nationale et internationale, visant à mieux estimer par des mesures fiables les évolutions spatio-temporelles des ressources hydriques quantitatives et qualitatives du sol et du sous-sol et à mieux les représenter par des modèles pertinents. Pour chacun des trois axes précédemment définis, elles s'articulent autour de la problématique de la "**spatialisation des flux**" et s'intègrent dans les priorités thématiques soutenues par des Programmes nationaux (PNRH, PNTS), européens (projets GRAPES et CAMSCALE de l'UE/DG XII) et internationaux (MAP, SALSA/Mexique, GEWEX/Bénin) dans lesquels nous avons déjà des engagements contractuels. Elles sont synthétisées ci-après.

1. Interactions atmosphère-surface continentale

L'essentiel de l'effort portera sur la **valorisation par la modélisation** des données issues de plusieurs campagnes de mesures dans lesquelles de nombreux membres du LTHE ont été impliqués ces dernières années (voir paragraphe correspondant). Les aspects suivants seront plus particulièrement étudiés.

a) Aptitude du modèle SiSPAT à la simulation longue durée (3 ans) des flux de surface et comparaison avec d'autres schémas plus paramétrisés (thèse de E. Gonzalez-Sosa, en cours, collaboration avec Météo-France/CNRM et CESBIO-Toulouse dans le cadre de l'opération MUREX).

b) Couplage numérique entre le modèle de désagrégation des précipitations récemment développé par l'Equipe HMET (Lebel, Braud, Creutin, 1998) et SiSPAT pour tester, dans le contexte d'HAPEX-Sahel, l'influence de la forte variabilité spatiale des pluies sur la capacité des sols et de la végétation à répondre à la demande évaporative de l'atmosphère.

c) Recherche des invariants d'échelle relatifs aux différentes composantes du bilan hydrologique : **l'infiltration** (EFEDA II/Espagne), **l'évapotranspiration** (ALPILLES, en collaboration avec Météo-France/CNRM et CESBIO-Toulouse, INRA-Avignon et CETP-Vélizy ; SALSA/Mexique, thèse G. Boulet en cours, en collaboration avec l'Orstom et l'USDA et Université d'Arizona), et le **ruissellement** (site grenoblois piloté par l'Equipe HSURF), dans le but d'exprimer la variabilité spatiale des flux par un nombre réduit de paramètres, rendant ainsi plus aisée la mise en oeuvre des méthodes d'inversion. On notera que cette approche sera également mise en oeuvre et testée par S. Galle, sur le bassin du Haut Ouémé (Bénin) dans le cadre du programme CATCH de l'Orstom, qui s'inscrit dans la problématique GEWEX.

d) Influence de la couche limite atmosphérique sur la demande évaporative en région montagneuse. La montagne est certainement la zone où l'effet de la circulation atmosphérique sur les échanges d'humidité entre le sol et l'atmosphère est le plus complexe en raison notamment de la présence simultanée des forçages thermodynamique et orographique et d'une rugosité très hétérogène. Cette voie d'étude sera ouverte par S. Anquetin (CR CNRS, actuellement au LEGI et qui souhaite rejoindre le LTHE). Menée en collaboration étroite avec l'Equipe HMET dans le cadre de l'AMHYE, elle s'appuiera sur le travail de thèse de C. Guilbaud (1996), côté dynamique atmosphérique (code SUBMESO, développé au LEGI) et sur la Modélisation SiSPAT pour les interactions surface-atmosphère. Il s'agira de simuler la variabilité spatio-temporelle des couches

d'inversion dans les vallées encaissées, dans le but de mettre en évidence les échelles caractéristiques des mouvements de masses d'air associées.

Par ailleurs des collaborations seront développées avec :

- D. Whiteman (Battelle Northwest Labs/Univ. Richland qui dispose d'une base de données sur l'évolution des inversions dans les vallées du Colorado,
- le CEREG-Strasbourg qui a mené des expérimentations sur l'évapotranspiration dans les bassins vosgiens.

Le co-encadrement d'une thèse avec Mathias Rotach (Swiss Federal Institute of Technology, Zurich) dont la proposition de financement vient d'être soumise au Fond National Suisse permettra, dans le cadre du programme MAP, d'étudier la **structure turbulente dans une vallée alpine** et d'utiliser les simulations aux grandes échelles comme support d'analyse des observations.

2. Caractérisation hydrodynamique des sols

Outre la poursuite de l'analyse critique des données issues des opérations MUREX, ALPILLES et SALSA, et notre participation au développement du site expérimental grenoblois dans le cadre du projet MInHYE du Laboratoire (voir contribution de l'Equipe TMP), notre activité dans ce domaine sera essentiellement orientée vers le développement de méthodologies d'estimation des paramètres hydrodynamiques des sols partiellement saturés, à une échelle qui soit compatible avec celle de la modélisation régionale.

Deux approches, dont il est permis de penser qu'in fine elles seront complémentaires, seront développées :

a) Les méthodes directes de type PTF (Pédo Transfer Function) qui visent à estimer les paramètres à partir d'informations texturales et structurales des sols, d'acquisition aisée et plus facilement spatialisables que les caractéristiques hydrodynamiques elles-mêmes. A cet égard, les résultats préliminaires déjà obtenus (voir paragraphe "Résultats") sont assez prometteurs et nous encourage à poursuivre dans cette voie, afin d'en apprécier plus complètement la pertinence et en préciser les éventuelles limites.

b) Les méthodes indirectes qui consistent à estimer les paramètres par **inversion** de modèles de transfert, qu'ils soient analytiques, quasi-analytiques (quand ils existent) ou numériques (cas général). Les expériences ALPILLES et SALSA (thèse G. Boulet, en cours) serviront de support à cette étude en couplant données de télédétection (aéroportées et satellitaires, dans différents domaines spectraux) et modèle SVAT de degrés différents de complexité (collaboration Orstom, INRA, CETP et LMC-IMAGrenoble notamment dans le cadre des Programmes PNRH et PNTS). Conférer à la méthode une robustesse certaine conduit à la réduction du nombre de paramètres indépendants ce que permet a priori la mise en échelle des caractéristiques hydrodynamiques des sols, mentionnée ci-dessus et qu'il conviendra de vérifier.

Dans la même ligne, l'Equipe s'est récemment engagée à participer au pré-projet CNES "RAMSES" (pilote par Y. Kerr/CESBIO) sur la possibilité d'inférer l'humidité des couches superficielles du sol et à partir de données radiométriques satellitaires (bande L) et d'utiliser cette information spatialisée par le senseur lui-même dans des modèles régionaux. Une pré-étude de faisabilité (placée sous la responsabilité de S. Galle) est envisagée dans le cadre du projet MInHYE par l'installation d'un radiomètre sur une tour implantée sur le site grenoblois et la réalisation de suivis microclimatique d'une part, et hydro-thermique du sol, d'autre part.

3. Eau, agriculture et protection de l'environnement souterrain

Nos perspectives, dans cet axe visent à la poursuite du développement d'une approche modélisatrice à l'échelle du bassin versant couplant les transferts hydriques et le transport de substances chimiques dans le continuum zone non saturée du sol-aquifère à surface libre et à sa validation. Trois sites et les bases de données correspondantes serviront de support :

a) *L'observatoire de la Côte St. André*, pour lequel la démarche suivante sera développée (thèse E. Sauboua, en cours, projet CAMSCALE de l'UE (DG XII) :

- élaboration d'un modèle distribué permettant de caractériser les flux d'eau et de nitrates, pour différents modes d'utilisation des sols. Il s'agit d'introduire, dans le modèle ANSWERS, validé pour la partie hydrodynamique (voir paragraphe "Résultats"), un sous-modèle décrivant le cycle de l'azote et le transport des nitrates dans le sol (collaboration INRA-Laon).
- développement d'un modèle 2D de type HYDRONAP, conçu par R. Wouméné, pour simuler l'évolution quantitative (piézométrie, débit) et qualitative (concentration en nitrates) de la nappe. On s'attachera plus particulièrement à caractériser l'importance et l'influence des incertitudes régnant sur l'estimation du temps de transfert, la distribution spatiale des champs polluants, et les conditions aux limites de l'aquifère.

b) *La Vallée du fleuve Sénégal*, sur laquelle intervient une équipe Orstom (L. Barbiéro, P. Boivin, C. Hammecker), scientifiquement rattachée à l'UMR-LTHE, depuis le 1/01/97. Il s'agit de valoriser par la modélisation l'importante base de données relative au suivi hydro-salin du sol et de la nappe réalisé sur plusieurs sites d'une part, aux campagnes de caractérisation hydro-chimique du milieu complétées par des expériences de laboratoire d'autre part, dans le but d'étudier et si possible de prévoir l'évolution physique et chimique des sols irrigués et ce dans une perspective du développement d'une agriculture durable (collaboration avec l'Equipe TMP).

c) *La savane sèche du Burkina Faso* où O. Ribolzi, chercheur Orstom, également rattaché au LTHE depuis mai 1997 conduit, sur deux bassins versants à topographie peu marquée situés en milieu sahélien et soudano-sahélien, une étude hydro-chimique visant à identifier, quantifier, puis modéliser les processus hydrologiques en relation avec les modes d'occupation des terres et de leur évolution dans le temps.

CARRILO AVILA Eugénio

Modélisation des transferts hydriques dans le système sol-plante-atmosphère. Application à la Plaine de la Bièvre (Isère).

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.

3 mars 1995

Jury : Président : LE DIMET F.X.

Rapporteurs : ACKERER Ph., MEROT, Ph.

Examineurs : FUENTES-RUIZ C., VACHAUD G., VAUCLIN M.

Résumé

Le mémoire est relatif à la modélisation mécaniste des transferts hydriques dans le système sol-plante-atmosphère. Dans une première partie (chapitre I), sont présentés les considérations théoriques sur lesquelles est fondé le modèle utilisé, qui est ensuite décrit en détails dans le chapitre II. Le chapitre III présente l'étude expérimentale qui a servi de support à la détermination des paramètres du modèle et à sa validation sur de longues séries chronologiques de données. Par ailleurs le manque d'informations sur certains paramètres relatifs à la plante et aux caractéristiques hydrodynamiques du sol, ainsi que le souci d'améliorer les résultats de la modélisation, nous ont conduit à développer et à mettre en oeuvre une procédure de détermination des paramètres du modèle par méthode inverse. Ainsi, le chapitre IV est dédié à la description succincte des principes de la méthode utilisée et à la présentation des résultats obtenus lors de son application aux sites étudiés : parcelles de sol nul et cultivées en maïs irrigué.

Pour le cas des sites sol nu, l'application de la méthode a permis la détermination des paramètres sol pour lesquels le modèle a reproduit de façon acceptable la variation spatio-temporelle des variables d'état mesurées : profils de teneur en eau et de potentiel matriciel dans le sol, composantes du bilan hydrique. En outre, en fixant les paramètres des relations potentiel matriciel - teneur en eau du sol, la méthode a permis l'estimation de la conductivité hydraulique du milieu en fonction de son humidité.

Pour le cas des sites cultivés, la méthode inverse s'est avérée être un outil assez performant pour la détermination des paramètres décrivant le développement de la culture, en évitant les difficultés inhérentes à leur estimation par tâtonnement.

L'ensemble des résultats montre que le modèle utilisé, complété par un algorithme d'estimation inverse de certains paramètres, conduit à des estimations tout à fait raisonnables tant des composantes du bilan hydrique que des variations spatio-temporelles annuelles de l'état hydrique du sol, et ce aussi bien sur sol nu que sur sol cultivé. Il a également montré son aptitude à des simulations longue durée, rendues possibles par une paramétrisation simple des données climatiques de forçage.

Mots clés : Transferts et bilans hydriques. Caractéristiques hydrodynamiques. Modèle mécaniste LEACHW . Système sol-plante-atmosphère. Méthode inverse. Comparaison modèle-observations.

Abstract

Modelling of the water transfer in the soil-plant-atmosphere continuum. Application to the Bièvre plain (Isère).

The study deals with the mechanistic modelling of the water transfer in the soil-plant-atmosphere system. Chapter I presents the theoretical considerations on which the model is based. In chapter II the model is described in details. Chapter III presents the experimental study which has served for the model's parameter determination and its validation against long chronological series of data. Furthermore, lack of information about some parameters related to the plant and to the soil hydraulic properties, as well as the need to improve the modelling results, leads to develop and implement a procedure to determine these parameters by inverse method. Chapter IV is dedicated to a brief description of the inverse methodology and to the presentation of the results obtained by applying such a method on bare soil and cultivated soil with irrigated corn plots.

For the bare soil case, application of the indirect method allows the determination of the soil hydraulic properties for which the model has fairly well reproduced the spatio-temporal variations of the measured state variables : soil water content and soil water pressure head profiles, components of the water balance. Besides, by fixing the parameters of the water content versus pressure head functions, the method has permitted the estimation of the soil hydraulic conductivity as a function of water content.

For the cultivated soil case, the inverse method has been proved to be a powerful tool for the determination of the parameters which describe the development of the crop, avoiding the difficulties inherent to their estimation by trial and error method.

The overall results show that the model, coupled with an inverse estimation of parameters, leads to reasonable predictions of the time and space variations of the water balance for both bare and cultivated soil. The model has also demonstrated its ability for long term simulations, made possible through a simple parametrisation of the climate forcing data.

RUELLE Pierre

Variabilité spatiale à l'échelle de parcelles de cultures : étude expérimentale et modélisation des bilans hydriques et des rendements.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.

(Thèse en collaboration entre le LTHE et le CEMAGREF/Montpellier).

23 mars 1995

Jury : Président : CHARLET L.

Rapporteurs : BALDY C., FEYEN J.

Examineurs : POCHAT R., THONY J.L., VAUCLIN M.

Résumé

La parcelle de culture, unité caractéristique du paysage et échelle opérationnelle pour l'agriculteur, constitue la surface élémentaire de gestion de l'eau et de l'environnement. Aussi ce mémoire s'attache à caractériser à cette échelle variabilité des rendements des cultures et des bilans hydriques en confrontant approche expérimentale et modélisation.

Une même méthodologie a été appliquée sur deux sites méditerranéens : en Tunisie pour trois cultures pluviales et en France pour deux essais de sorghos irrigués par aspersion. La variabilité spatiale des rendements, de l'humidité du premier mètre de sol et de l'irrigation est étudiée par la géostatistique. Puis les bilans hydriques locaux in situ sont établis sur des stations tensio-neutroniques représentatives.

La modélisation stationnelle est réalisée en utilisant un modèle déterministe simplifié du bilan hydrique de type capacitif, "Pilote" et dans le cas de Montpellier, une fonction de rendement. En complément, une étude de sensibilité du modèle a montré l'importance de l'estimation de la réserve mobilisable et de la variable réserve initiale.

La variabilité simultanée, à l'échelle parcellaire, du sol (Réserve mobilisable RM et Réserve initiale RI) et de l'irrigation I a été prise en compte grâce à une version stochastique du modèle, en utilisant la méthode des "bandes tournantes". Il a ainsi été mis en évidence que : la variabilité du sol a une influence prépondérante sur l'ETR et le rendement ; la variance maximale de l'ETR est observée en début de stress ; les variogrammes des sorties du modèle ont des structures emboîtées fortement dépendantes de la corrélation entre Ri et RM.

L'approche développée ici est la seule qui appréhende l'effet de la variabilité simultanée du sol et de l'irrigation sur le bilan hydrique et le rendement.

Mots clés : Variabilité spatiale, parcelle, humidité, rendement, irrigation, évapotranspiration, modélisation stochastique, réserve hydrique, région méditerranéenne, vesce-avoine, blé dur, sorgho.

Abstract

Spatial variability in crop fields : experimental study and modeling of soil water balance and yield.

In landscape and farming systems, a crop field is the basic unit to improve water management and avoid environmental problems. This dissertation is a contribution to the characterisation of spatial variability in yield and water balance at the field level (one hectare) using both experimental and modeling approaches.

The same methodology was applied on two mediterranean test sites, in Tunisia for three rainfed crops (wheat, vetch-oat, and durum wheat) and in France for two experimentations of sprinkler-irrigated sorghum. Geostatistical concepts were used to analyse the spatial variability in yield, soil moisture content within the first meter depth, and irrigation depth. Soil water balance was also calculated on representative plots using neutron probe and tensiometers measurements.

Soil water balance was simulated using a simplified deterministic model, called Pilote. It showed good agreement with experimental data. A model sensitivity analysis pointed out the need of a good estimation of available water holding capacity (AWC) and of initial water storage (IWS).

A stochastic version of this model was developed using turning band method. It was used to study the impact, at the field level, of spatial variability in soil AWC and IWS, and in irrigation depth. Spatial variability in actual evapotranspiration E_a and in yield was mostly affected by soil variability. E_a maximum variance was observed at the beginning of the water stress period. Variograms of yield and E_a were highly dependent on the correlation coefficient between IWS and AWC.

This methodology is, presently, the only one taking into account, simultaneously, the impact of soil and irrigation variability on soil water balance and yield.

GUINOT Vincent

Modélisation mécaniste du devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement souterrain. Application à la protection des captages en aquifères.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.

(Thèse en collaboration entre le LTHE et le LHF/Grenoble).

7 Juillet 1995

Jury : Président : CHARLET L.
Rapporteurs : DELMAS A., SCHMITZ E.
Examineurs : ELRICK M., FEIX I., VAUCLIN M.
Invité : FAUCHON N.

Résumé

La contamination des captages d'eau potable en aquifère par les produits phytosanitaires pose le problème de la modification des pratiques agricoles. Par son caractère prédictif, la modélisation de l'hydrologie et des transferts de substances dissoutes est amenée à jouer un rôle important dans les études d'impact de ces modifications. Elle est utilisée ici dans un but de prévention du risque de contamination des captages.

On présente une méthodologie fournissant des valeurs admissibles de taux d'épandage des produits phytosanitaires à la surface du sol. Elle s'articule sur les points suivants :

- détermination de l'hydrodynamique du site étudié à l'aide d'un outil de modélisation mécaniste de l'hydrologie ;
- calculs inverses de la dégradation et du transport dans les zones saturée et non saturée, à partir de l'hydrodynamique déterminée précédemment.

Cette méthodologie a été appliquée à un bassin de la région parisienne, le bassin du Grand Morin (Seine-et-Marne), pour dresser une carte des taux d'épandage admissibles en Atrazine au voisinage des captages de la nappe de Champigny. La modélisation hydrologique de ce site a fourni matière à une réflexion sur les critères de réglage et de validation des modèles hydrologiques (pertinence des critères et des échelles de temps).

Une analyse d'incertitude sur les caractéristiques des sols et des produits a également été effectuée sur ce site. La description en termes statistiques des conductivités hydrauliques et des durées de vie de l'Atrazine dans les zones saturée et non saturée mène, à l'aide de simulations de type Monte-Carlo, à une description probabiliste des taux d'épandage admissibles en Atrazine. Des simulations supplémentaires permettent de montrer la grande sensibilité des résultats obtenus à la structure spatiale des champs de conductivité hydraulique et de durée de vie de l'Atrazine dans l'aquifère, ce qui peut avoir des conséquences sur la conception des schémas d'échantillonnage.

Mots clés : Produits phytosanitaires - Aquifère - Zone non saturée - Modèles mécanistes - Modèle hydrologique - Variabilité spatiale - Analyse d'incertitude - Méthode Monte Carlo.

Abstract

Physically-based mathematical modelling of pesticide behaviour in groundwater. An application to groundwater pumping wells protection.

The necessity of the protection of drinking water wells against contamination by pesticides addresses the problem of modifying agricultural practices. Due to its predictive power, mathematical modelling of hydrodynamics and solute transport may play an important role in impact studies of such modifications. In the present dissertation, the use of mathematical modelling aims at an assessment of contamination risk of groundwater pumping wells.

A methodology is presented, that allows computation of permissible pesticide application rates on the ground surface. This methodology consists in the following approach :

- hydrodynamic modelling in a given catchment, using a physically-based, water cycle modelling system ;
- reverse transport computation in both saturated and unsaturated zones, starting from previously computed hydrodynamical fields.

This methodology is applied to the Grand Morin basin (Paris suburbs region) and a map of permissible application rates of Atrazine is generated nearby groundwater pumping wells located in the Champigny aquifer. Hydrological modelling of the catchment gives way to various methodological considerations about calibration and validation of hydrological models (relevance of criteria and time scales).

An uncertainty analysis of soil and product characteristics is carried out. Statistical description of hydraulic conductivities and Atrazine half-life in both saturated and unsaturated zones leads to a probabilistic description of permissible application rates on the ground surface. Further simulations reveal important sensitivity of computational results to the structure of soil conductivity and Atrazine half-life fields in the aquifer - which may have consequences upon sampling network design.

VANDERVAERE Jean-Pierre

Caractérisation hydrodynamique du sol in situ par infiltrométrie à disques. Analyse critique des régimes pseudo-permanents, méthodes transitoires et cas des sols encroûtés.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.

9 Octobre 1995

Jury : Président : AURIAULT J.L.

Rapporteurs : PARLANGE J.Y., RIEU M.

Examineurs : CLOTHIER B.E., FIES J.C., HAVERKAMP R., VAUCLIN M..

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire est consacré à la caractérisation hydrodynamique in situ des sols, au voisinage de la saturation, par l'utilisation des infiltromètres à disques à succion contrôlée. L'étude s'articule autour de trois parties.

La première partie fait l'inventaire des méthodes existantes fondées sur l'analyse des régimes permanents d'infiltration axisymétrique appliquée à la solution de Wooding. On montre que celle reposant sur l'application d'une série de potentiels imposés est la plus stable et n'est pas limitée aux sols quasi-linéaires.

La deuxième partie montre comment exploiter, dans la pratique, une équation simple du régime transitoire axisymétrique pour déterminer la sorptivité capillaire et la conductivité hydraulique des sols non saturés sans atteindre le régime permanent. Dans cet objectif, une nouvelle méthode de détermination de la sorptivité aux temps courts est proposée, prenant en compte les effets de la couche de sable de contact. Diverses méthodes sont ensuite proposées testées numériquement et comparées avec l'approche classique, pour l'estimation de la conductivité. On montre que les ordres de grandeur comparables entre effets gravitaire et capillaire latéral sur l'écoulement, pour la plupart des sols "en place", autorise la détermination à la fois de la sorptivité et de la conductivité. Une nouvelle échelle de temps caractéristique, prenant en compte la combinaison de ces deux effets, peut être calculée pour les infiltromètres à disque.

La troisième partie traite le cas des sols encroûtés pour lesquels les méthodes classiques ne peuvent être appliquées. L'utilisation d'un minitensiomètre couplé avec l'infiltromètre permet de discriminer les phases d'infiltration dans la croûte et dans le sol sous-jacent. La conductivité hydraulique de la croûte est ensuite estimée à partir d'une série de mesures de sorptivité. Les valeurs ainsi obtenues sont validées, par comparaison de mesures de ruissellement, avec les prédictions fournies par un modèle d'infiltration bi-couche reposant sur le principe de Green et Ampt. On montre l'impact considérable de la présence de croûtes d'épaisseur centimétrique sur les volumes ruisselés.

Mots clés : Caractérisation hydrodynamique des sols - Infiltration - Infiltromètres à disque - Ecoulement axisymétrique. Mesure in situ. Sorptivité. Régime transitoire. Sols encroûtés.

Abstract

In situ hydrodynamic characterization of soils using tension disc infiltrimeters. Critical analysis of quasi-steady state regimes, transient methods and extension to crusted soils.

The work presented here is related to the in situ hydrodynamic characterization of near-saturated soils using tension disc infiltrimeters. The study is organized in three parts.

The first part review existing methods based on the analysis of steady state of axisymmetric infiltration using Wooding's equation. It is shown that techniques which combine information from measurements at a range of surface matric potentials are the most stable and are not limited to quasi linear soils.

The second part shows how, in practice, to make use of a simple equation for transient axisymmetric flow to determine capillary sorptivity and hydraulic conductivity without the attainment of steady conditions. A new method for determining sorptivity during the early stages is proposed taking into account the sand contact layer. Several methods are then proposed for estimating unsaturated conductivity, which are numerically tested and compared with classical approaches. It is shown that, for most field situations, the influences of gravity and lateral capillary flow on infiltration are of a similar order of magnitude, which enables both sorptivity and conductivity to be estimated. One of the consequences of the analysis is the proposal of a new time scale for disc infiltrimeters that takes account of both gravitational and geometric effects.

The third part concerns crusted soils, for which classical methods fail. The use of a minitensiometer coupled with the infiltrimeter allows differentiation between infiltration into the crust and into the underlying soil. Using this information, the hydraulic conductivity of the crust is estimated from sorptivity measurements. Values obtained in this way were validated by comparing measured values of runoff with predictions using a two-layer infiltration model based on the assumptions of Green and Ampt. It is shown that crusts around one centimeter thick have a large impact on the amount of runoff.

PEUGEOT Christophe

Influence de l'encroûtement superficiel du sol sur le fonctionnement hydrologique d'un versant sahélien (Niger). Expérimentations in situ et modélisation.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.

(Thèse en collaboration entre le LTHE et l'ORSTOM/Montpellier)

19 Octobre 1995

Jury : Président PERRIER G.
Rapporteurs : AMBROISE B., CHEVALLIER P.
Examineurs : VALENTIN C., VAUCLIN M., MOREL-SEYTOUX H.J.

Résumé

Cette étude a pour objectif la caractérisation du fonctionnement hydrologique d'une toposéquence sahélienne de l'ouest Nigérien en prenant en compte la description des états de surface (type de croûte, micro-relief, végétation), le déterminisme de l'encroûtement superficiel du sol sur le ruissellement et l'infiltration en zone sahélienne étant un résultat avéré. Les données expérimentales issues de parcelles de ruissellement (cent mètres carrés), représentative d'un type d'état de surface, montrent que l'infiltration est faible sur les zones à encroûtement permanent (sol nu de plateau, jachère) ; le ruissellement y représente 50 à 25 pourcent, respectivement, de la pluie annuelle. Sur les surfaces cultivées, la destruction des croûtes par le sarclage et leur reconstitution ultérieure induisent une forte variabilité temporelle de l'infiltration et le ruissellement est estimé à moins de 12% de la pluie. A l'échelle de la toposéquence, on montre que l'infiltration est limitée aux premiers mètres du sol excepté dans les zones d'accumulation d'eau (végétation de plateau, zone d'épandage des crues, ravine) dans lesquelles la lame infiltrée peut dépasser 2 à 3 fois la pluie annuelle. Le stockage d'eau dans le sol est nul d'une saison à l'autre sur l'ensemble des sites étudiés et seules les zones d'accumulation d'eau sont susceptibles d'alimenter le drainage profond en direction de l'aquifère. Pour compléter les résultats expérimentaux et établir un bilan hydrologique saisonnier à l'échelle de la toposéquence, le modèle hydrologique SWATC (distribué, à bases physiques) a été modifié pour simuler l'infiltration par une approche bi-couche des transferts (croûte/sol sous-jacent). Le modèle est tout d'abord calé à l'échelle de la parcelle, supposée représentative des processus de versants. Les paramètres du modèle définis sur les parcelles (i.e. pour chaque état de surface) sont ensuite affectés aux unités à état de surface homogène définies sur les bassins par cartographie. Cette représentation simplifiée du milieu permet une reconstitution satisfaisante des crues observées à l'exutoire des bassins après calage des paramètres du transfert en chenal. La lame infiltrée en profondeur en fin de saison des pluies est évaluée à 12 pourcent de la pluie sur le plus grand des bassins (0,9 km carré) à partir des résultats de la modélisation. Une partie de cette eau est évaporée en saison sèche et l'on estime que la contribution de ce type de toposéquence à la recharge de la nappe est marginale par rapport à l'apport des mares, étudié par ailleurs.

Mots clés : Sahel, Ruissellement, Bilan hydrologique, Sols encroûtés, Infiltration, Parcelle de ruissellement, Modélisation hydrologique.

Abstract

Hydrologic behavior of a sahelian hillslope (Niger) as affected by soil surface crusting. In the field experiment and modeling.

The aim of this study is to characterise the hydrologic behavior of a sahelian catena (western Niger) taking into account the description of soil surface features (crust type, micro-relief, vegetation), the dependance of infiltration and runoff on soil crusting in the sahelian zone being a testified result. Experimental data from runoff plots (hundred square meters), representative of one type of soil surface feature, show that infiltration is low on areas with permanent crusting (plateau bare soil, fallow) ; runoff is estimated respectively to 50 and 25 percent of the annual rainfall. On cultivated areas, crusts destruction by the weeding operations and subsequent restoration induce a high temporal variability of infiltration, and runoff is estimated to less than 12 percent of the rainfall depth. On the catena, infiltration is limited to the first meters of the soil, except in the areas fed with high quantities of water (plateau vegetation, flood spreading zone, gully) where the infiltration depth is higher than 2 to 3 times the rainfall depth. There is no water storage in the soil from one season to the next, and only the zones of water accumulation are likely to feed deep drainage towards the aquifer. In order to strenghten the experimental results and to establish a season water balance on the catena, the physically based, distributed, SWATC hydrologic model was modified to allow for simulating infiltration in a two-layer soil system (crust/subsoil). The model is first calibrated at the plot scale, assumed to be representative of the hillslope processes. The model parameters defined on each plot (i.e. for each soil surface feature) are then affected to zones of homogeneous surface feature defined on the catchments from a surface feature map. After calibration of the chanel transfer parameters, this simplified representation of the watersheds lead to a satisfactory simulation of observed discharges. From the modeling results, the infiltration depth over the wider catchment (0,9 squared km) at the end of the rainy season is estimated to 12 percent, of the rainfall depth. Part of this water amount is evaporated in dry season, and it is estimated that the contribution of such a catena to groundwater recharge is low regarding that provided by the pools, studied elsewhere.

NORMAND Béatrice

Etude expérimentale et modélisation du devenir de l'azote dans le système sol-plante atmosphère.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.

24 Octobre 1996

Jury : Président : CHARLET L.
Examineurs : RECOUS S., VANCLOOSTER M., VACHAUD G.
Rapporteurs : ACKERER Ph., MERMOUD A.
Invité : GRIGNANI Carlo

Résumé

Cette thèse concerne les résultats d'une expérimentation intensive et pluridisciplinaire, mise en place en 1991 à la Côte St. André (Isère) sur une parcelle de 2 ha, afin de caractériser la réponse d'une culture de maïs à l'irrigation et à la fertilisation en situation de techniques culturales traditionnelles. Le but est de proposer des modifications permettant de limiter les pertes en eau et en nitrates, tout en maintenant un niveau de rendement économique. Elle comporte deux volets : expérimentation et modélisation.

La mise en oeuvre d'une métrologie non destructive (humidimétrie neutronique, tensiométrie et bougies poreuses d'extraction de solution du sol) a permis un suivi pluriannuel (1991-1994) des bilans hydriques et azotés sous différents traitements agronomiques. Les principaux résultats sont : i) les risques importants d'entraînement des matières solubles ne se manifestent que lors d'épisodes pluvieux en début ou en fin de cycle cultural, ii) la dose optimale d'engrais se situe autour de 180 kgN/ha ; elle permet d'éliminer pratiquement les risques de pollution pendant la saison culturale et d'atteindre le seuil de rendement maximal (13 Mg/ha), enfin, iii) grâce au traçage isotopique de l'azote, on peut obtenir une bonne évaluation du bilan de l'engrais entre le semis et la récolte.

Les données acquises ont permis d'évaluer les capacités de reproduction et de prédiction du modèle mécaniste monodimensionnel WAVE. La difficulté de caractériser in situ l'ensemble des paramètres, nous a conduit à élaborer une procédure de type systémique de découplage des processus élémentaires, basée sur l'utilisation de données issues de plusieurs sites de mesure : maïs ou sol nu, avec ou sans apport d'engrais. Le calage progressif du modèle a été réalisé avec succès sur les données de la saison 1992, permettant de simuler correctement la situation la plus complexe : maïs fertilisé. Dans l'ensemble, les paramètres ainsi obtenus permettent de prédire assez bien les résultats des autres années.

Mots clés : Agriculture ; Pollution ; Maïs ; Eau ; Azote ; Isotope ; Modèle ; Bilans.

Abstract

Experimental study and modelisation of the nitrogen behavior in the soil-plant-atmosphere system.

An intensive multidisciplinary experiment is presented. It has been set up at La Cote St. André, close to Grenoble (France) in 1991, in order to characterize the response of maize crop to irrigation and fertilization. The main objective was to determine an optimal fertilizer application scheme in an intensive agricultural system with the following aims : to maintain water quality and to permit a sustainable level of crop production. Two parts are presented : field experiment results and modelisation.

The use of a non destructive instrumentation (neutron probe, tensiometer and suction cups for extraction of soil solution), coupled with soil and plants sampling at harvest, allowed us to determine water and nitrogen flux and budget during four consecutive years (1991-1994) at several locations on a 2 ha plot with different treatments. The main results are the following : i) important risks of drainage and nitrate leaching arise during rainfall events at the beginning or at the end of the crop cycle when the soil is bare, ii) the optimal fertilizer amount of 180 kgN/ha leads to almost no nitrate leaching during the crop cycle and to the maximal grain yield (13 Mg/ha), and iii) the use of 15-N tracer permits to determine the fertilizer balance from sowing to harvest.

Measurements have provided enough material to run numerical simulation, and to evaluate a model's capability to fit field measurements and to predict system behavior. The model selected was WAVE, an integrated mechanistic 1-D model. In 1992, instrumented sites with different crop cover (maize/bare soil) or amount of fertilizer were used to progress step by step in the model calibration, until the most complicated situation : maize crop fertilized. This set of calibrated parameters leads to quite good predictions for the three other years.

FREISSINET Catherine

Estimation des imprécisions dans la modélisation du devenir des produits phytosanitaires dans les sols : une méthode fondée sur la logique floue.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.

(Thèse en collaboration entre le LTHE et le LHF/Grenoble).

11 avril 1997

Jury : Président : LE DIMET F.X.
Examineurs : CUNGE J., BARDOSSY A., VAUCLIN M.
Rapporteurs : MUSY A., ACKERER Ph.

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire a pour principal objectif d'établir une méthodologie permettant d'évaluer les imprécisions sur les résultats de modélisation et de l'appliquer à l'estimation de la vulnérabilité de la ressource en eau face à des pollutions diffuses d'origine agricole. *Dans une première partie*, nous présentons les principaux phénomènes physiques liés au devenir des produits phytosanitaires dans les sols (transport, rétention, transformation, volatilisation, reprise par les plantes...) et nous ne manquerons pas de rappeler les différentes imprécisions concernant les caractéristiques chimiques des produits phytosanitaires, les propriétés du sol et les équations utilisées pour modéliser ces différents phénomènes. Puis, après avoir mis en évidence l'importance de la prise en compte de ces différentes imprécisions pour évaluer celles sur les résultats de modélisation, et avoir montré les limites des méthodes classiques d'analyse d'incertitude, nous développons une méthode fondée sur les sous-ensembles flous et sur la logique floue. Cette méthode permet de quantifier les imprécisions sur les résultats issus des modèles mathématiques et d'évaluer la confiance que l'on peut accorder à ces derniers. Plusieurs applications, utilisant des modèles simples de diagnostic, sur le bassin versant du Grand Morin (région parisienne) et sur celui de Pearl Harbor (Hawaï), permettent de comparer les imprécisions sur les résultats obtenues d'une part avec des méthodes classiques et d'autre part avec la méthode fondée sur les sous-ensembles flous. Ces comparaisons mettent en avant les avantages de cette dernière par rapport aux méthodes classiques, présentent différents indices d'évaluation de la vulnérabilité (DRASTIC, AF) et du potentiel à la lixiviation (RF) pour deux produits phytosanitaires (atrazine et diuron), et soulignent à nouveau l'importance de la prise en compte des imprécisions dans les résultats de modélisation. *La dernière partie* de ce travail consiste à valider notre méthodologie fondée sur la logique floue sur une application consistant à calculer le flux convectif d'atrazine dans la zone non saturée du bassin du Grand Morin en utilisant le modèle mathématique LEACHMP. Il ressort de cette application, qu'il est fondamental d'associer à la valeur moyenne issue d'un modèle mathématique, un intervalle de variation de cette valeur défini par une coupe de niveau alpha et le degré d'appartenance minimum des valeurs de l'intervalle au sous-ensemble flou des solutions.

Mots clés : Pollution diffuse d'origine agricole, Vulnérabilité d'un aquifère, Produits phytosanitaires, Modèles mathématiques, Imprécisions, Flux convectif, Sous-ensemble flou, Logique floue.

Abstract

Estimation of the imprecisions of pesticide modelling results in the soils : a methodology based on fuzzy logic.

The main aim of the work presented in this thesis is to establish a methodology for evaluating the imprecision of modelling results and applying it to the estimation of water resources vulnerability with regard to non-point source of agricultural pollution. The first section discusses the main physical phenomena affecting pesticides during the time they are in the soil (transport, retention, transformation, volatilisation, uptake by plants, etc...), and recalls the various areas of imprecision surrounding the chemical characteristics of pesticides, soil properties and the equations used to model these various phenomena. Then after demonstrating the importance of taking these various imprecisions into account to evaluate those connected with modelling results, and having shown the limits of the classical uncertainty analysis methods, a new method is developed, based on fuzzy sub-sets and fuzzy logic. This method can be used to quantify imprecisions surrounding the results obtained with mathematical models and to evaluate the confidence that they can be given. On the basis of several applications using simple diagnosis models, concerning the Grand Morin catchment area in the Paris region and the Pearl Harbor catchment in Hawaii, it is possible to compare the imprecision of results obtained with classical methods and with the method based on fuzzy sub-sets. These comparisons demonstrate the advantages of this method over the classical ones, present various indices for evaluating vulnerability (DRASTIC, AF) and leaching potential (RF) for two pesticides (atrazine and diuron), and once again underline the importance of taking into account imprecisions in modelling results. The last part of this work is concerned with the validation of this methodology based on fuzzy logic. This involves an application in which the advective flux of atrazine is calculated in the non-saturated zone of the Grand Morin catchment using the LEACHMP mathematical model. This application clearly shows that it is vital to assign a variation interval to the mean value derived from a mathematical model. This interval is defined by an alpha-cut and the minimum degree of membership of the interval values to the fuzzy sub-set of solutions.

3 - HYDROMETEOROLOGIE

Personnels impliqués

Nom	Statut	% temps	Remarque
Permanents			
Philippe BOIS	PR/INPG	60	
Isabelle BRAUD	CR/CNRS	20	Mise à disposition du CRA/Mendoza (Argentine) du 1-09/97 au 30/04/98).
Frédéric CAZENAVE	AI/Orstom	100	
<i>Jean-Dominique CREUTIN</i>	DR/CNRS	100	Responsable Equipe
Guy DELRIEU	CR/CNRS	100	
Lucien FELIX	AI/UJF (50 %)	5	départ à la retraite 1/12/95
Marielle GOSSET	CR/Orstom	100	disponibilité le 1/12/95
Robert LATY	IE/INPG	5	jusqu'au 31/01/96
Jean-Paul LAURENT	CR/CNRS	10	depuis le 1/10/97
Henri LAURENT	CR Orstom	100	Rattachement scientifique au LTHE depuis le 1/01/97 en poste à Montpellier.
Thierry LABEL	DR/Orstom	100	
Charles OBLED	PR/INPG	20	
Jean-Michel TAUNIER	IE/CNRS	20	
Jean-Denis TAUPIN	CR/Orstom	100	affecté le 1/11/96
Non-Permanents			
Abou AMANI (P)	AUPELF ; Orstom	100	26 mois ; Ing. AGRHYMET depuis le 1/04/98
Sophie GUILBAUD (P)	ATER/INPG	100	depuis le 1/09/97
Vijaj GUPTA (V)	DRA/CNRS	100	3 mois
Soumia SERRAR (P)	LTHE/UE	100	depuis le 1/05/96
Jutta THIELEN (P)	UE/CHM	100	15 mois
Remko UIJLENHOET (P)	UE/CHM	100	depuis le 1/05/97
Bruno VERSIANI (V)	Univ. Belo-Horizonte/ CAPES-COFEUCB	100	12 mois
Doctorants			
Emmanuel BERTHIER	Fonctionnaire LCPC	100	depuis le 1/11/94
Sophie CAUDAL	Doctorat : 22/10/96	-	post-doc LTHE puis Metéo-France (au 1/03/97)
Philippe CROCHET	Doctorat : 23/03/95	-	post-doc/Univ. Oslo puis Ing. à l'Institut de la Météorologie (Norvège).
Abdelatif DJERBOUA	BETRAN	100	depuis le 1/10/97
Leslie DOLCINE	Doctorat : 3/04/97	-	post-doc Univ. Louisville (USA)
Sophie GUILBAUD	Doctorat : 30/10/97	-	ATER/INPG depuis le 1/09/97
Jean LECOCQ	Doctorat : 4/05/97 (Univ. Montpellier)	-	
Thierry PELLARIN	Allocataire MENRT	100	depuis le 1/11/97
Samia SAIDI	Doctorat : 27/09/96	-	Retour Algérie
Christian SALLES	Doctorat : 20/12/96	-	ATER/Univ. Montpellier puis Post-doc Univ. Louvain
Thomas SKAUGEN	Doctorat 14/1/97 (Univ. Oslo)	-	Ing. HydroNorsk
Bertrand VIGNAL	Doctorat 27/02/98	-	post-doc Service Météorologique Locarno (Suisse)
Anne WEISSE (KIEFFER)	BDI/CNRS	100	depuis le 1/09/95

OBJECTIF

L'équipe "*Hydrométéorologie*" étudie les précipitations atmosphériques afin de comprendre leur impact sur les systèmes hydrologiques. Elle s'intéresse en particulier aux moyens expérimentaux et théoriques permettant de caractériser la distribution des précipitations dans l'espace et le temps. Les domaines d'application privilégiés sont les bassins montagneux ou urbains capables de créer un risque hydrologique à dynamique rapide et les régions climatiques où le régime pluviométrique subit des changements affectant la ressource en eau.

MOYENS ET METHODES

Fondées sur un bon équilibre entre les aspects expérimentaux et théoriques, les activités de l'équipe s'appuient sur :

1. Des équipements mi-lourds

- deux radars bandes X (3 cm, 10 Ghz) appartenant au CETP et au LTHE
- une balise réceptrice (LTHE)
- des pluviomètres optiques (CETP)

qu'elle s'efforce de faire évoluer au gré des besoins en recherche et des progrès technologiques.

a) Nous avons promu depuis 1991 l'idée de recourir à de la *détection radar dans des longueurs d'ondes atténuées* en hydrologie dans les régions montagneuses et urbaines pour lesquelles les distances utiles de détection peuvent ne pas dépasser quelques dizaines de kilomètres. Au prix d'une dégradation de cette dernière due à l'atténuation, ce type de radar apporte une légèreté sans commune mesure avec les systèmes existants : facilité de transport et d'installation, souplesse de l'évolution électronique et logicielle, coûts d'achat et de fonctionnement réduits, etc.. Dans cet esprit, l'acquisition en 1992 d'un prototype de radar bande X de la société Gematronik (voir l'illustration donnée au chapitre "Réalizations technologiques"), nous a permis de réaliser différentes expériences (4 articles publiés pendant la période de référence sont directement issus de son utilisation) mais sa technologie informatique est aujourd'hui dépassée. C'est la raison pour laquelle deux actions ont été entamées, dont le but à terme, est de mettre à la disposition de la communauté hydrologique un dispositif de mesure **mobile performant et léger**, capable d'intervenir sur différents sites expérimentaux :

- la *modernisation du logiciel* de pilotage est en cours de réalisation par F. Cazenave, en collaboration avec la Société Gamic, spécialisée en informatique, le produit attendu devant permettre :
 - l'utilisation complète des possibilités mécaniques du radar jusqu'ici sous-employées
 - la mise en conformité des deux radars de ce type à disposition du LTHE (un radar jumeau du notre a été construit pour le CRPE-CNET en 1992 et le LTHE dispose de ce deuxième radar depuis le printemps 1997).
- La *définition d'un nouveau prototype à diversité de polarisation* fait l'objet d'un projet de recherche soutenu par le MATE. Ce projet, coordonné par J.D. Creutin, regroupe d'une part le

CETP qui apporte sa compétence en conception de systèmes radars et de différents algorithmes adaptés à la diversité de polarisation et d'autre part le LCPC/Division Eau-Nantes et le LTHE qui apportent leur expérience en hydrologie radar (quantification de la pluie aux longueurs d'ondes atténuées, mode d'échantillonnage, validation). L'objectif est de proposer à horizon de 3-4 ans un cahier des charges à un industriel qui aura participé au développement du concept. Actuellement les Sociétés Thomson et Gamic se déclarent intéressées. Ce projet devra s'harmoniser avec deux projets similaires engagés par H. Sauvageot au Laboratoire d'Aérodynamique de Toulouse et par I. Zawadski à l'Observatoire de l'Université de Mac Gill au Québec.

b) Le développement en parallèle d'une balise de contrôle en bande X, destinée à recevoir le signal radar à distance, a été poursuivi. Construit en collaboration avec la Société SC/Electronique, ce dispositif permet de :

- contrôler l'émission radar
- mesurer l'atténuation totale sur le trajet radar-balise.

L'évolution envisagée porte sur une augmentation de la dynamique de réception et de la sensibilité et devrait déboucher à court terme sur la conception d'un véritable transpondeur (dispositif actif permettant également le contrôle de la réception radar).

c) Un système de traitement numérique du signal du spectro-pluviomètre optique du CETP a été élaboré. Il permet de disposer d'une information détaillée de la microphysique de la pluie au sol : taille, vitesse de chute et heure d'arrivée des gouttes de pluie (utile pour tester les hypothèses d'homogénéité de répartition des gouttes dans l'espace). Cette information est utilisée dans l'interprétation du signal radar (5 articles publiés pendant la période de référence sont directement issus de son utilisation). Elle doit également être prise en considération dans une expérience à venir sur l'interception de la pluie par les bâtiments (voir contribution de l'Equipe TMP et paragraphe sur les Perspectives).

2. Des expériences hydrométéorologiques spécifiquement dédiées à l'hydrologie et à la physique de la mesure.

Sur la période de référence, deux expériences, l'une à *Marseille* et l'autre à *Grenoble*, ont été conduites :

a) L'expérience de Marseille 1995-97 s'inscrit dans le cadre du réseau européen "Hydrologie Radar". Il s'agit d'établir sur un site pilote, l'intérêt d'un suivi radar pour la conduite opérationnelle d'un réseau d'assainissement urbain. La Ville de Marseille offre un bon exemple de gestion moderne à travers un système très dense de télésurveillance (près de 200 capteurs hydrométriques répartis sur l'agglomération) et un régime pluviométrique méditerranéen potentiellement violent. Organisée conjointement par le LTHE et le LCPC/Division Eau avec l'appui technique des Services Techniques de la Ville, cette expérience a mobilisé (voir paragraphe "Les campagnes de mesures") le radar bande X du LTHE, le radar bande S (10 cm, 3 Ghz) de Météo-France à Nîmes et des moyens sol (spectro-pluviomètre, disdromètre et pluviomètres). Malgré les difficultés inhérentes à ce type d'activité (faiblesse des systèmes d'acquisition du radar Gematronik, incendie de l'été 1997 au site du radar au Vallon Dol), l'expérience menée a permis de mettre au point des méthodes originales de correction de l'atténuation. Elle sera complétée en 1998 dans le cadre du projet européen HYDROMET (Universités de Bristol, Padoue, Barcelone et Athènes, Université Polytechnique de Catalogne) à la fois dans le sens d'une meilleure observation météorologique (intervention du radar à pointage vertical de l'Université de Bristol qui permet d'établir un lien entre le radar local et le radar de Nîmes) et d'une mise en évidence de l'impact de la variabilité des précipitations sur le comportement du réseau de drainage.

b) L'expérience de Grenoble réalisée aux printemps 1997 et 1998 (Resp. G. Delrieu) dans le cadre d'une collaboration entre le CETP, le LTHE et l'Orstom a été spécifiquement construite pour tester différents algorithmes de correction de l'atténuation en distinguant les effets au site même du radar et les effets "en ligne". Le radar explore verticalement l'atmosphère (RHI) dans la direction d'un relief marqué sur lequel est installée la balise de réception. Une dizaine de pluviomètres sont implantés au fil des 12 km séparant le radar de la balise (voir l'illustration schématique donnée au chapitre "Réalizations technologiques"). La balise peut aussi être installée à proximité immédiate du radar afin de documenter d'éventuelles déformations du diagramme de rayonnement de l'antenne lors de précipitations intenses au site du radar (configuration 1998).

3. Des bases de données hydrométéorologiques.

Les bases de données utilisées sont directement issues de nos expérimentations ou bien obtenues auprès d'autres organismes de recherche ou de gestion de l'eau.

a) L'expérience Cévennes 86-88 menée avec le LCPC et le LAMP continue d'être à la source de différentes recherches (5 articles publiés pendant la période de référence). Le milieu concerné (montagne méditerranéenne), les mesures réalisées (cumul pluviométrique de l'ordre de 1000 mm en zone orographique vu par un radar à diversité de polarisation) et les applications hydrologiques potentielles (bassins versants à réaction très rapide) font de ce jeu de données une référence dans notre domaine. Il a été diffusé par les soins du LCPC à 6 laboratoires européens.

b) Les données de l'expérience Epsat-Niger menée de 1990 à 1996 par l'Orstom (Resp. Th. Lebel) ont été intégrées dans nos analyses. Les données sol recueillies par un réseau d'une centaine de pluviomètres enregistreurs sont à la source de nombreuses recherches relatives au régime pluviométrique sahélien (7 publications sur la période de référence). D'autre part, les données radar bande C (5 cm, 6 GHz) ont permis d'amorcer concrètement une réflexion sur les moyens de contrôle au sol des systèmes de télédétection en milieu tropical continental et sur les possibilités d'expérimentation en hydrologie radar en Afrique.

c) Diverses bases de données telles que :

- les maxima pluviométriques dans les Alpes issus des réseaux de EDF, Météo-France et des DIREN pour l'analyse climatologique des pluies extrêmes,
- les champs de géopotential du modèle météorologique européen pour l'établissement de liaisons entre champs synoptiques de pression et répartition des pluies,
- les mesures hydrométriques de la Direction de l'Eau et de l'Assainissement du Département de la Seine Saint-Denis pour une opération pilote de couplage entre modèles météorologique et hydrologique.

4. Des méthodes d'analyse et des modèles très divers.

La démarche théorique vise essentiellement à synthétiser et à mettre en cohérence les observations disponibles par différentes méthodes et modèles.

a) Les méthodes utilisées sont de nature stochastique au sens où elles prennent en compte un certain nombre d'incertitudes qui peuvent être liées aux mesures ou au modèle utilisé. Elles sont issues de l'analyse statistique classique (ajustement et interprétation des paramètres de fonctions de

répartition théorique, analyse de la variance) et de l'analyse **géostatistique** (identification de fonctions aléatoires, estimation de scalaires ou de vecteurs). Ce sont aussi les méthodes **inverses** qui permettent l'identification des paramètres d'un modèle à partir d'un ensemble de données.

b) Les modèles utilisés et/ou développés sont de nature diverse :

- *Des relations linéaires (ou multi-linéaires)* permettent de dresser des **cartographies** (e.g. carte des risques de précipitations extrêmes sur les Alpes), d'établir des **estimations** (validation de la mesure satellitaire de la pluie au Sahel) ou de **désagréger des valeurs moyennes** issues de modèles maillés (simulateur numérique de lignes de grain par exemple).
- *Les fonctions aléatoires réelles* servent à analyser la structure temporelle ou spatiale des processus étudiés. Leur combinaison avec des **fonctions aléatoires binaires** pour représenter l'intermittence des champs de pluie notamment ont conduit à des modèles **non linéaires** (application à l'étude des pluies extrêmes moyennes sur un bassin versant par exemple).
- *Des relations d'invariance d'échelle* ont été développées avec succès pour décrire les propriétés microphysiques de la pluie (généralisation à travers **une formulation unique** de toutes les fonctions existantes de répartition de la granulométrie de la pluie) comme leur répartition spatio-temporelle (partition géométrique de la pluie moyenne spatiale suivant une règle simple de type Cascade).
- *Des modèles plus classiques de bilan de rayonnement électromagnétique* sont utilisés pour interpréter les mesures radar, notamment dans le cas des longueurs d'ondes atténuées. Leur combinaison avec un modèle multiplicatif simple de la variabilité 3D de la réflectivité des précipitations a servi à interpréter l'effet de la résolution du faisceau radar (**Profils Verticaux de Réflectivité**).

RESULTATS

Les travaux sur la période 1995-1998 peuvent être présentés autour de trois axes principaux : l'**hydrologie radar**, la **climatologie des pluies** et le **couplage de la pluie avec la dynamique atmosphérique**.

1. Hydrologie radar

La détection radar des précipitations ouvre des perspectives très attrayantes pour l'hydrologie à la fois en termes de **connaissance** et d'**applications opérationnelles**. Il ne faut toutefois pas négliger la difficulté d'utilisation de cet appareil à des fins quantitatives. La physique de la mesure combinée aux différentes hétérogénéités de l'atmosphère rend en effet délicate l'interprétation de ces mesures et oblige à recourir à des appareils préparés à ce type d'utilisation. Faute de prendre sérieusement en compte cette restriction, les tentatives d'utilisation hydrologique du radar conduisent à l'échec.

Amorcé au début des années 1990, notre effort pour faire progresser les méthodes d'interprétation a été poursuivi avec ténacité notamment dans le domaine de l'utilisation de longueurs d'ondes atténuées par les précipitations, de l'effet de propriétés microphysiques de la pluie et de l'hétérogénéité verticale de l'atmosphère. Nos principaux apports pendant la période de référence sont relatifs à :

- la mise en évidence du caractère nécessaire et suffisant d'un paramètre complémentaire pour stabiliser les méthodes de correction de l'atténuation atmosphérique,
- l'utilisation de méthodes inverses en algorithmie radar pour revisiter les schémas classiques de correction de l'atténuation,
- la démonstration de la généralité du formalisme d'invariance d'échelle proposée pour décrire la distribution granulométrique de la pluie.

Les principaux résultats sont synthétisés ci-dessous :

a) Quantification de l'atténuation et analyse de la correction d'Hitschfeld-Bordan.

i) Concernant d'abord la quantification des effets d'atténuation, nos travaux de caractérisation des relations k (atténuations)- R (intensité pluvieuse) aux longueurs d'onde classiquement utilisées en hydrologie radar (Delrieu et col., 1991) ont été poursuivis par une évaluation de la distribution statistique des atténuations totales en fonction de la distance au radar (Delrieu et col. 1998a). La démarche a consisté à « dégrader » au sens de l'atténuation en bande X (3 cm, 10 GHz) et C (5 cm, 6 GHz) les mesures collectées durant la campagne Cévennes 86-88 à l'aide d'un radar bande S (10 cm, 3 GHz) (voir figure HMET-1, tirée de Delrieu et col., 1998). Ces mesures ont fait l'objet d'un ensemble de traitements soignés et d'une validation détaillée qui en garantissent la qualité (Andrieu et col. 1997, Creutin et col. 1997). Sur un échantillon étudié comptant 75 heures, on constate qu'une atténuation totale de 3 dB (soit une sous estimation de 50% de la réflectivité) est dépassée pour 5 % des profils étudiés à une distance de 50 km en bande C. On remarque également qu'il existe un facteur 6 environ entre les effets d'atténuation en bande X et en bande C.

D'autre part, la sensibilité de l'équation d'atténuation pour les bandes X et C (DEA de L. Hucke, Delrieu et col., 1998) a été étudiée, complétant ainsi les travaux d'Hitschfeld et Bordan (1954) sur la question de l'influence de la granulométrie des précipitations. Les résultats obtenus par simulation numérique montrent que :

- des instabilités de la correction se développent pour des atténuations totales de l'ordre de 20 à 30 dB du simple fait des approximations numériques liées à la discrétisation du signal radar, même pour un radar et des pluies supposés parfaitement connus ;
- l'optimisation d'un paramètre est absolument nécessaire et paraît suffisante pour un fonctionnement convenable de la correction pour des atténuations totales inférieures à 10-15 dB. Ce dernier point montre la nécessité de contraindre la correction d'atténuation à l'aide de mesures additionnelles.

ii) Correction de l'atténuation à l'aide de mesures additionnelles..

Dans cette optique, trois possibilités ont été explorées :

- la première a consisté à intégrer l'information fournie par un réseau de pluviomètres. Cette étude a été réalisée dans le cadre des travaux de stage de H. Bénichou (ingénieur d'étude de Météo-France) et de thèse de J. Lecocq (1997). Elle a concerné l'atténuation en bande C dans le contexte des lignes de grain sahéliennes (Epsat/Niger). On déduit de l'ensemble des couples de mesure radar-pluviomètre et de l'équation d'atténuation une remise à niveau des réflectivités Z représentant un défaut d'étalonnage du capteur et/ou l'inadéquation des relations (Z , k , R) choisies. Pour performante qu'elle soit, cette approche a montré ses limites en raison de la combinaison aux distances considérées de diverses sources d'erreur (étalonnage, atténuation, mais aussi effets liés à la structure verticale des pluies et au mode d'échantillonnage des capteurs).

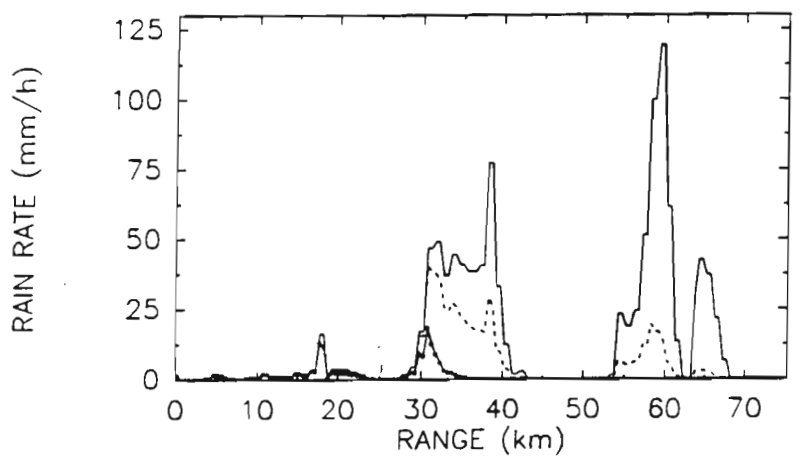
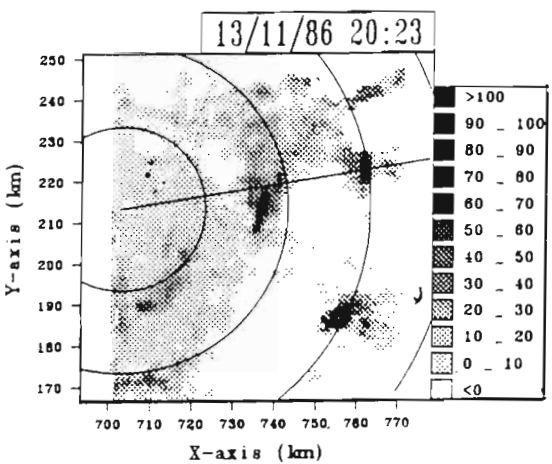
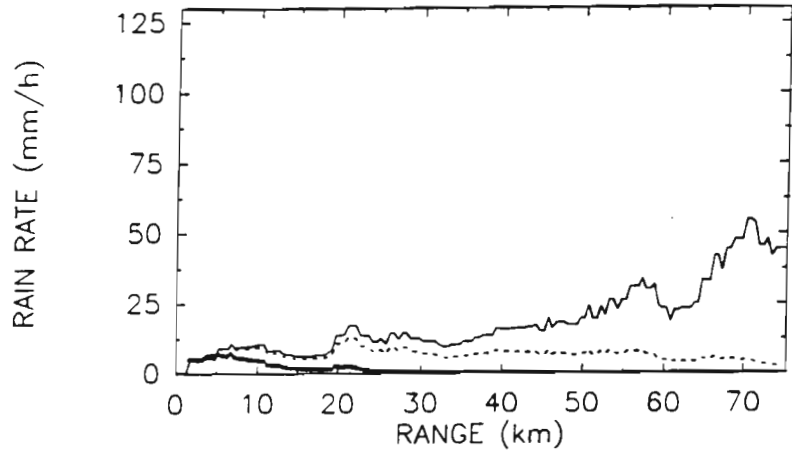
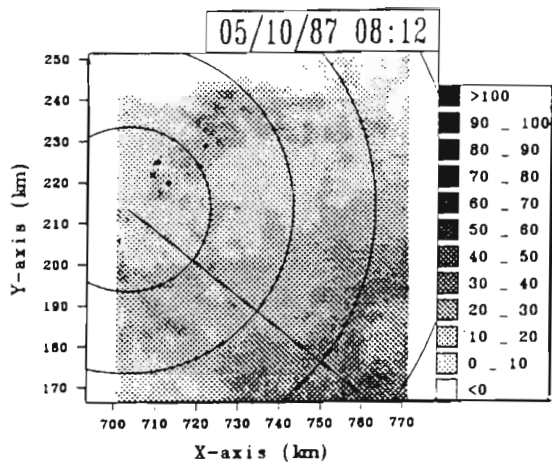


Figure HMET-1: Simulation des effets d'atténuation en bande X et C sur les données radar de l'expérience Cévennes 86-88. Les graphes de gauche montrent deux champs de pluie typiques, le premier du secteur chaud des perturbations méditerranéennes, le deuxième de convection active. A droite, les profils d'intensité de pluie "vraie" (ligne continue), atténuée en bande C (pointillés) et en bande X (tiretés) montrent le caractère très préoccupant pour les applications quantitatives des effets d'atténuation. L'atténuation est sensible soit pour des précipitations modérées en intensité mais spatialement étendues (image du haut), soit pour des pluies très intenses et plus localisées (image du bas). Les distances types de perturbation sont de 15 et 60 km respectivement pour les bandes X et C (G. Delrieu, L. Hucke, J.D. Creutin, 1998).

- La deuxième vise à utiliser le signal rétrodiffusé par les montagnes pour estimer l'atténuation entre le radar et la cible. Une équation de contrainte reliant cette mesure d'atténuation totale au profil de réflectivité apparente sur le trajet radar-montagne a été développée et validée (thèse de S. Caoudal, 1996) dans le cadre de l'expérimentation marseillaise (voir figure HMET-2, tirée de Delrieu et col., 1997)
- La troisième consiste à utiliser une balise de réception du signal radar localisée à distance de l'émetteur et fournissant des mesures directes de l'atténuation totale, un avantage décisif en terme de précision. Elle a été testée à Grenoble au printemps 1997.

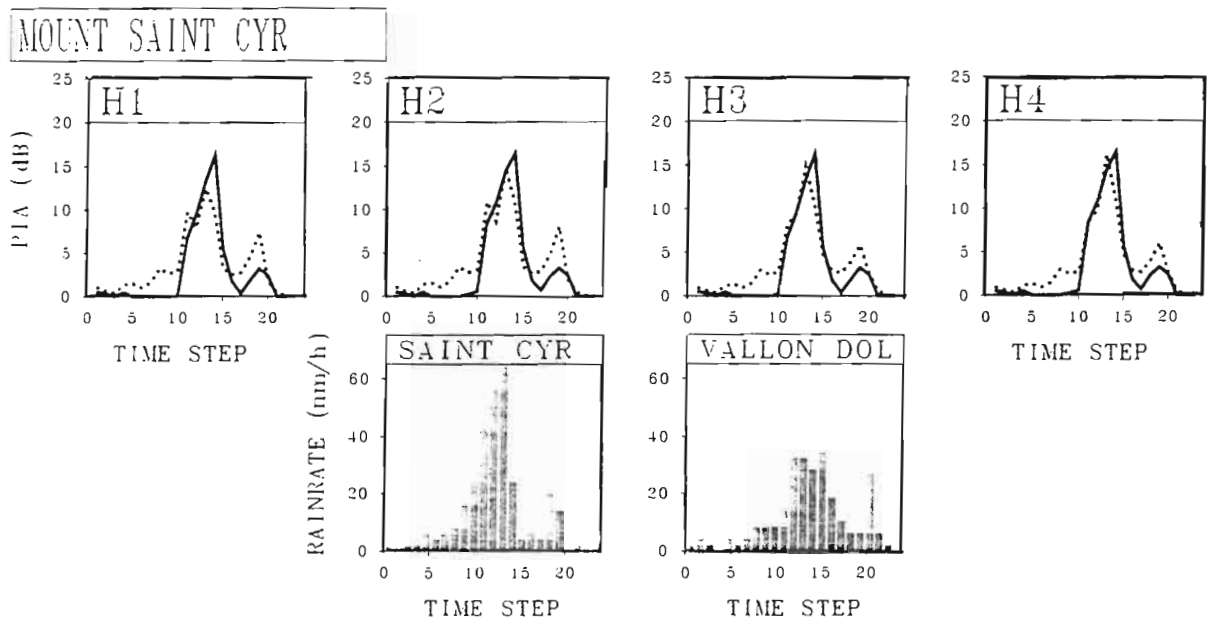


Figure HMET-2 : Etude de l'équation de contrainte d'atténuation totale pour l'épisode pluvieux du 23/09/1993 à Marseille. On compare au fil du temps les atténuations totales mesurées à l'aide des échos du Mont Saint Cyr (ligne continue) aux estimations de cette même quantité établies à l'aide du profil de réflectivités apparentes sur le trajet radar -montagne (pointillés) moyennant le choix de divers paramètres concernant la granulométrie des pluies et l'étalonnage du radar. Les quatre graphes présentés correspondent à différentes hypothèses. H1 et H2 s'appuient sur les seules mesures radar (H2 prenant en compte la présence éventuelle de pluie sur le relief). H3 intègre l'atténuation dans la zone aveugle autour du radar au Vallon Dol et H4 intègre la pluie tombant sur la cible de référence d'après les mesures pluviométriques sol-présentées sur la deuxième ligne. (G. Delrieu, S. Caoudal, J.D. Creutin, 1997).

b) Comparaison d'algorithmes de correction de l'atténuation.

i) En terme d'algorithmes de correction de l'atténuation, nous avons étudié, à la fois par **simulation numérique** (L. Hucke) et à l'aide des **mesures** collectées lors de l'expérimentation Marseille 92-93 (DEA et thèse de S. Caoudal, 1996 ; Delrieu et col., 1997), le comportement des algorithmes de Hitschfeld-Bordan, de Marzoug-Amayenc (1994) et de Meneghini (1983), ces deux derniers ayant été développés pour les mesures satellitaires.

L'étude de cas a permis de montrer par référence aux mesures des pluviomètres :

- l'apport décisif des corrections d'atténuation,
- l'équivalence des performances des trois algorithmes testés lorsque leur paramétrisation utilise l'atténuation totale fournie par le relief,
- la robustesse des algorithmes "satellitaires" vis à vis de la paramétrisation utilisée et au contraire l'extrême sensibilité de l'algorithme Hitschfeld-Bordan à ce facteur (voir figure HMET-3, tirée de Delrieu et col., 1997).

ii) Par ailleurs, nous avons également commencé à étendre à ce domaine l'utilisation de méthodes inverses qui permettent de revisiter les algorithmes classiques. Les résultats obtenus (thèse de B. Vignal 1998, en collaboration avec le LCPC-Nantes) confirment notamment l'intérêt de l'approche inverse pour étendre à l'ensemble de l'image radar les corrections faites dans la direction privilégiée où l'on dispose d'une mesure d'atténuation totale (relief, balise).

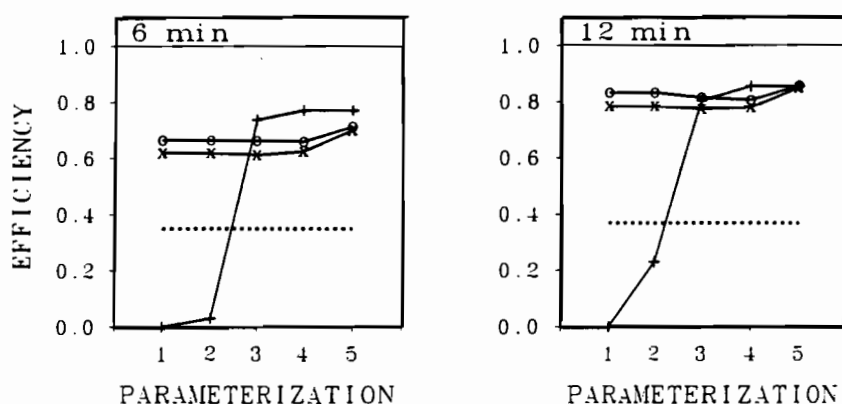


Figure HMET-3 : Analyse par référence à des mesures sol de l'efficacité de trois algorithmes de correction de l'atténuation [Hitschfeld-Bordan (+) et "satellitaires" (o et x)] par rapport à l'absence de correction (pointillé) et pour 5 paramétrisations différentes. Pour les deux pas de temps considérés (6 et 12 minutes) les algorithmes satellitaires ont un comportement peu sensible à la paramétrisation qui n'est égalé par la méthode Hitschfeld-Bordan que lorsque l'écart de calibration du radar identifié par l'atténuation totale est introduite dans l'algorithme (paramétrisation 3 à 5). L'absence de correction conduit à des résultats médiocres. (G. Delrieu, S. Caoudal, J.D. Creutin, 1997).

c) Interaction ondes électromagnétiques-pluie-relief.

Suite au travail préliminaire visant à la caractérisation du signal rétrodiffusé par les montagnes par temps sec, à l'aide d'un MNT (Delrieu et col., 1995), une modélisation de ce signal par temps pluvieux a été proposée. Elle reprend les caractéristiques géométriques liés au relief et au capteur radar et tient compte :

- des modifications éventuelles du coefficient de rétrodiffusion de la surface par temps de pluie,
- de la présence de pluie dans la portion du volume de résolution interceptant le relief,
- de l'atténuation totale intervenant entre le radar et la montagne.

L'expérience Grenoble 97 a permis d'affiner les conditions de mise en oeuvre de la méthode (par l'étude de la variabilité temporelle du signal hors des périodes de pluie significative) et, grâce aux mesures directes de la balise réceptrice, d'évaluer la précision d'estimations d'atténuation totale déduites du relief (voir figure HMET-4, tirée de Delrieu et col., 1998b). L'intérêt du calcul géométrique fondé sur le MNT pour l'estimation des erreurs de positionnement du radar a été également confirmé sur l'expérience Marseille.

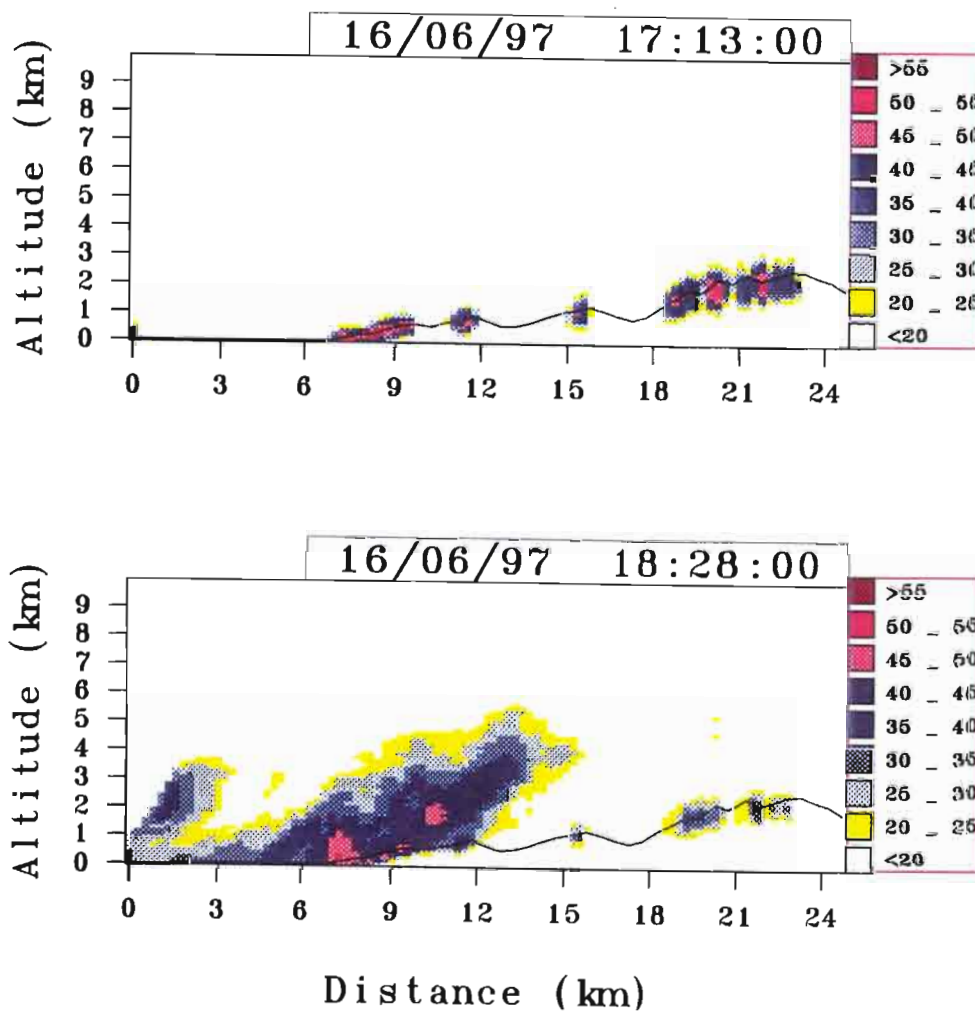


Figure HMET-4: Exemples d'images radar collectées en balayage vertical (RHI) lors de l'expérience Grenoble 97 (LTHE, CETP, Orstom). L'image du haut présente les mesures obtenues par temps sec, les échos visibles étant dûs au relief. L'image du bas présente une cellule de pluie sur la zone d'intérêt. On notera la diminution très sensible de l'écho de montagne entre 18 et 24 km liée à l'atténuation des ondes par la cellule pluvieuse. (G. Delrieu, S. Serrar, E. Guardo, J.D. Creutin, 1998).

d) L'analyse microphysique des précipitations.

Caractériser les précipitations par leur granulométrie est nécessaire pour comprendre l'interaction entre les ondes électromagnétiques et la pluie mais aussi pour décrire des processus tels que son interception par la végétation ou bien l'arrachement des particules de sol. Cet aspect a été abordé sous l'angle expérimental en développant et en testant un **système d'analyse du signal pour le pluviomètre optique** du CETP (voir figure HMET-5, tirée de Salles et col., 1998 ; thèse de C. Salles, 1996).

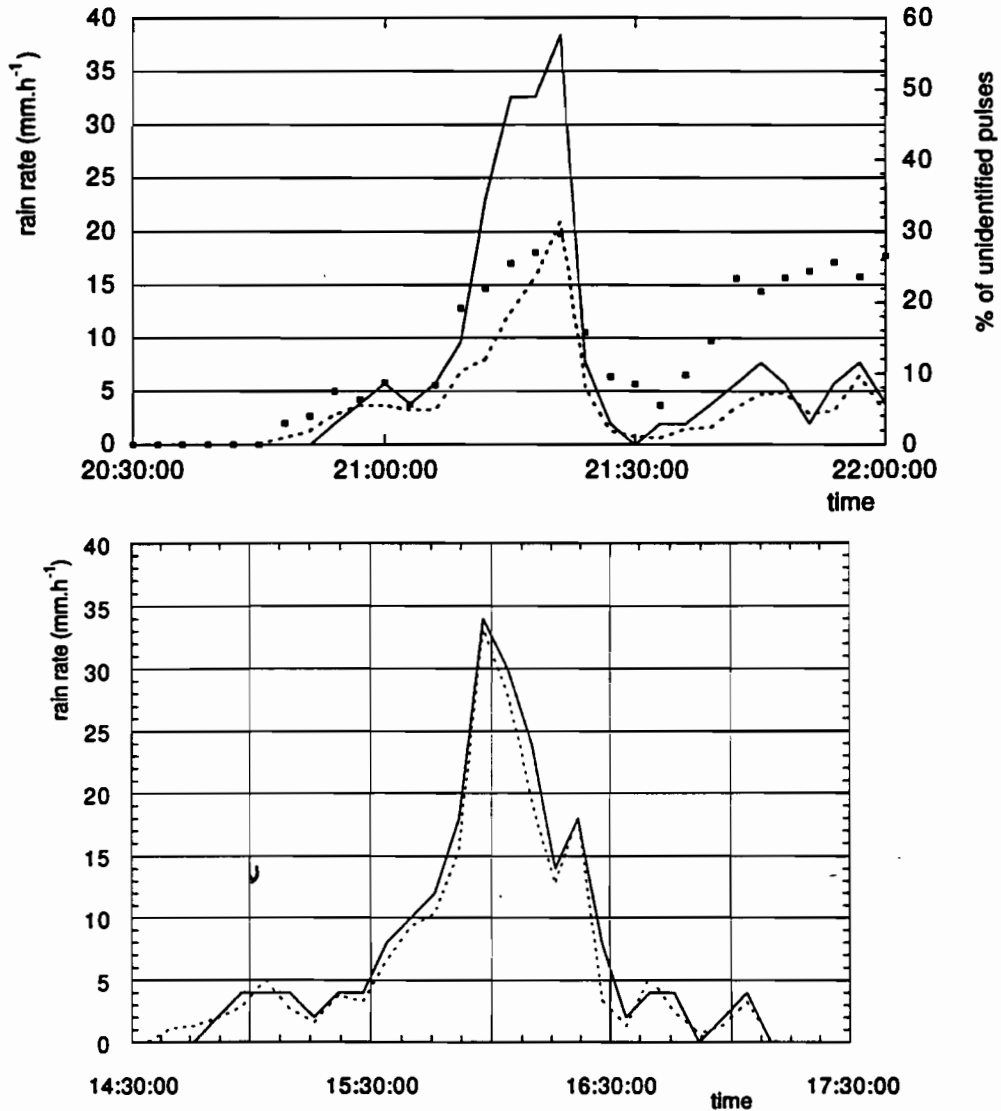


Figure HMET-5 : Comparaison entre les mesures du pluviomètre optique (pointillés) et d'un pluviomètre à augets basculeurs (traits continus). Les diagrammes correspondent à deux orages observés à Grenoble pour deux versions du capteur optique : en haut tel qu'il a été utilisé à sa conception notamment avec un système analogique de traitement du signal et en bas tel qu'il a été modifié avec le développement d'un système numérique de traitement du signal mais aussi une diode pulsée et une protection renforcée des optiques. Le premier diagramme présente aussi les nombres de signaux non identifiés. (C. Salles, J.D. Creutin, D. Sempere-Torres, 1998).

Nous avons par ailleurs examiné les différentes implications du formalisme général d'invariance d'échelle proposé en 1994 en collaboration avec D. Sempere-Torres (UPC-Barcelone) et P. Porra (Université de Barcelone) :

- sur l'identification des paramètres de la distribution granulométrique par analyse des moments sans fixer a priori la forme de la distribution (Sempere-Torres et col., 1997),
- sur l'implication en terme d'échantillonnage de la pluie à différentes échelles (Porra et col., 1997).

e) L'identification et la prise en compte de la répartition de la réflectivité.

Le faisceau radar explore l'atmosphère à des altitudes et avec un volume d'intégration qui croissent avec la distance au radar. De leur côté les nuages précipitants sont structurés verticalement (succession pluie-neige-ciel clair). Ainsi, la vision panoramique des champs de pluie par le radar est fortement marquée par la combinaison de ces deux "géométries" qu'il convient de déconvoluer. La méthode inverse proposée en 1995 (Andrieu et Creutin, 1995 ; Andrieu et col., 1995) dans le cas de l'utilisation de deux sites de mesure a été étendue au cas d'une exploration volumique complète. Dans ce cas où l'on dispose de profils verticaux de réflectivité (PVR) apparents la méthode paraissait moins utile. Elle s'avère néanmoins capable d'améliorer sensiblement la mesure radar même dans cette configuration (voir figure HMET-6, tirée de la thèse de B. Vignal, 1998).

Le domaine d'application de l'ensemble de ces études en hydrologie radar est principalement celui des risques hydrométéorologiques à dynamique rapide que l'on rencontre en milieu urbain et en montagne. Les soutiens financiers correspondants sont venus à la fois de Services Techniques (tels que ceux de la Ville de Marseille), de la Région Rhône-Alpes (dans le cadre des contrats de plan Etat-Région), du PNRN/Risques Hydrologiques et les Programmes "Environnement" de l'UE/DG XII.

Nous nous sommes efforcés de diffuser nos résultats auprès des Services Techniques de l'Etat en charge de ces risques (participation de J.D. Creutin au Comité Aramis et à différentes journées techniques nationales). Il a ainsi été possible d'émettre un certain nombre de recommandations que Météo-France intègre dans ses décisions (exploration volumique, traitements PVR et atténuation par exemple). Cette démarche permet d'envisager, dans un avenir proche, l'utilisation de données Aramis à des fins de recherche en hydrologie sur certains bassins.

2. Climatologie des pluies.

L'étude climatologique des précipitations montre la très grande variabilité de ces apports atmosphériques à toutes les échelles. Cette variabilité agit fortement sur les systèmes hydrologiques notamment en termes d'extrêmes par excès et par défaut (crues et sécheresses).

Lancée au début des années 1980, notre activité de modélisation stochastique des précipitations s'est concentrée pendant la période de référence d'une part sur les précipitations sahéliennes et d'autre part sur les pluies extrêmes en région montagneuse.

a) Les études concernant le Sahel ont reposé sur l'expérimentation engagée au Niger par les chercheurs Orstom du groupe "Précipitations en Afrique de l'Ouest" dont la plupart ont rejoint l'équipe en 1995. Elles comportent principalement trois aspects :

- La validation des moyens de télédétection satellitaire dont la pertinence dans ces régions est évidente mais dont la précision reste à établir à l'aide de moyens de mesure au sol (voir aussi les perspectives).

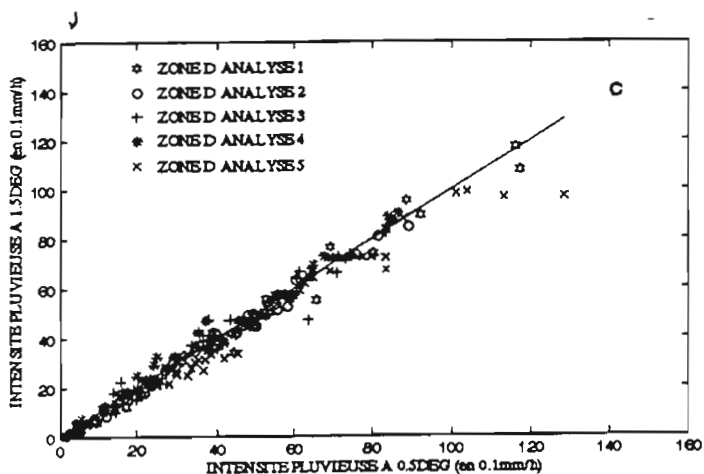
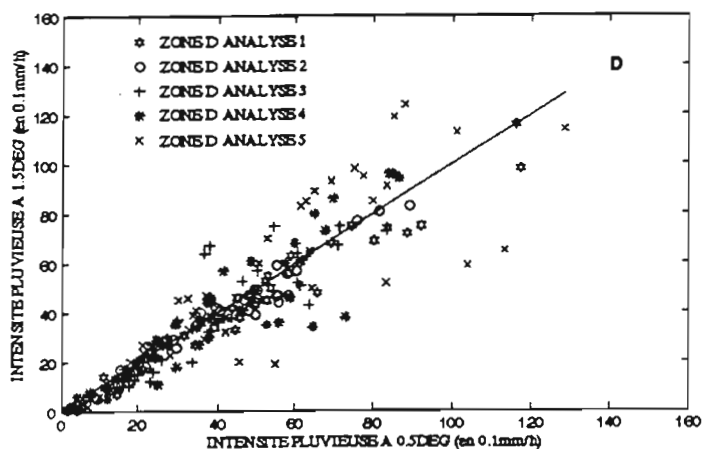
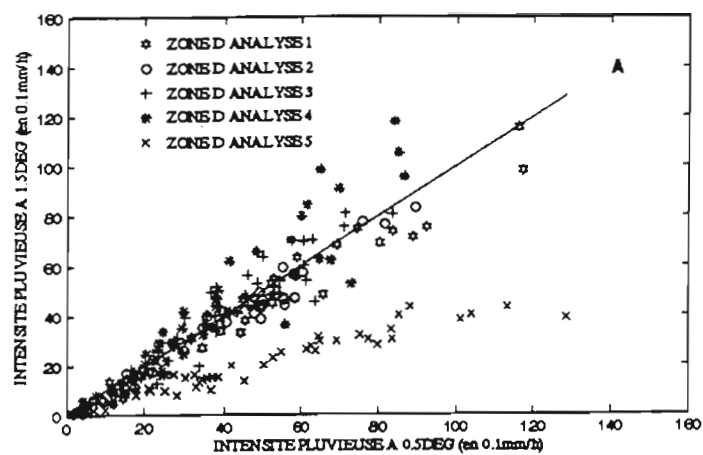


Figure HMET-6 : Test de la correction de la mesure radar prenant en compte l'hétérogénéité verticale de l'atmosphère dans le faisceau. Les intensités de pluies mesurées par le faisceau de site 1.5° sont comparées à celles mesurées à 0.5° prises comme référence (axe des abscisses). Le graphe du haut présente la dispersion des données brutes. Les graphes suivants présentent respectivement la correction par un profil vertical moyen (milieu) et par le profil identifié par méthode inverse (bas). (Thèse de B. Vignal, 1998).

- La caractérisation d'un point de vue climatique, du changement de régime pluviométrique dans la zone sahélienne.
- L'élaboration d'un schéma de désagrégation spatio-temporelle adapté aux lignes de grains dans la perspective d'un couplage entre modélisation du climat et implications hydrologiques.

Les principaux résultats relatifs à ces trois points sont donnés ci-dessous :

i) *Validation des systèmes d'observation.*

- La représentativité d'un réseau de pluviomètres pour le calcul de lames d'eau a été étudiée par une approche géostatistique qui a permis le calcul des incertitudes d'estimation pour des réseaux de 1 à 10 stations et l'établissement d'une relation empirique qui donne l'incertitude relative pour un événement ayant produit une lame d'eau donnée en fonction du nombre de stations implantées régulièrement sur une surface donnée (Lebel et Amani, 1998). A titre d'exemple, la figure HMET-7 (tirée de Lebel et Le Barbé, 1997) montre que les densités à atteindre sont bien supérieures à celles des réseaux gérés par les services météorologiques nationaux (entre 3 et 10 postes pour 10000 km² dans les régions correctement pourvues), ce qui donne des indications sur les procédures de validation des estimations de pluie par télédétection et sur la précision avec laquelle on peut obtenir une vision régionale de l'abondance de la saison des pluies.
- Par simulation à partir des données sol disponibles, la question de l'échantillonnage satellitaire a été examinée sous deux aspects : la fréquence de la prise de mesure et la résolution, c'est à dire la surface ou la période sur laquelle la mesure est intégrée. Il a été montré que l'intermittence temporelle était une source d'erreur aussi importante que la variabilité spatiale. Enfin, la sensibilité des méthodes Area Time Integral d'estimation de lame d'eau moyenne par seuillage au type de pluie considéré (Amani et col., 1996), a été mise en évidence, confirmant ainsi, en les étendant, des résultats antérieurs (Braud et col., 1993).

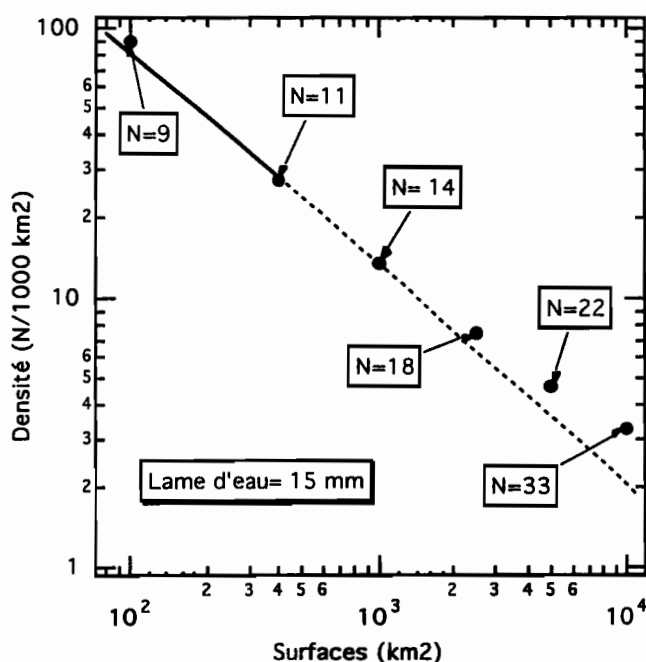


Figure HMET-7: Evolution de la densité de pluviomètres nécessaires pour que l'incertitude d'estimation d'une lame d'eau de 15 mm tombe en dessous de 10 % en fonction des surfaces considérées. Chaque point a été calculé directement à partir de l'équation de krigeage (Lebel, Le Barbé, 1997).

ii) Modification du régime pluviométrique sahélien.

Le principal résultat obtenu dans ce domaine concerne la chute des cumuls pluviométriques pour les échelles intra-saisonniers à décennales observée depuis le début des années 1970. Cette chute apparaît essentiellement liée à une diminution du nombre d'événements pluvieux, en particulier de grands complexes convectifs, les cumuls moyens de pluie par événement ainsi que la distribution des intensités paraissant très stables. En effet, il a été établi :

- que 70 à 80 % des fluctuations des cumuls mensuels, saisonniers ou interannuels sont expliquées par celles du nombre d'événements sur la période considérée. Ce résultat s'applique aussi bien sur une zone limitée telle que le degré carré de Niamey (Lebel et col., 1997) que sur l'ensemble du Sahel et également dans une large mesure sur toute l'Afrique de l'Ouest (voir figure HMET-8, tirée de Le Barbé et Lebel, 1997 ; Lebel et d'Amato, 1997).
- que les Systèmes Convectifs de Mésos-échelle (SCM) sont responsables de près de 90 % de la pluie au Sahel. Les plus grands de ces systèmes, les Masses Convectives Compactes (en anglais Mesoscale Convective Complexes : MCC) produisent à eux seuls près de 75 % du cumul annuel bien que ne représentant que la moitié de l'effectif total des SCM (H. Laurent et col., 1997). La proportion de ces grands systèmes est plus forte au cœur de la saison des pluies où la baisse de la pluviométrie de la période sèche en cours est la plus marquée.
- que la distribution empirique des intensités pluvieuses est remarquablement stable d'une année sur l'autre, malgré des totaux saisonniers assez contrastés. A partir de cette distribution, on obtient directement les quantiles suivants : environ 50% de la pluie annuelle tombe avec une intensité supérieure à 35 mm/h et environ 35% avec une intensité supérieure à 50 mm/h. L'intégration de cette courbe de distribution montre également que la moitié de la pluie tombe en moins de 5 heures effectives.

Un enjeu important des recherches futures sera donc de comprendre ce qui, dans la circulation atmosphérique, peut expliquer la baisse du nombre de systèmes convectifs.

iii) Structure et désagrégation spatio-temporelle des lignes de grains.

Des travaux antérieurs ont montré l'intérêt et le réalisme de l'approche géostatistique pour représenter la structure des champs pluviométriques sahéliens (thèses de Thauvin, 1992 et Crochet, 1995 et plus récemment Taupin, 1997). Le séjour sabbatique de V.K. Gupta (DRA/CNRS) au LTHE a permis de compléter cette approche par celle des modèles de type Cascade également utilisés dans l'étude multi-échelles de la turbulence.

- Aux échelles de quelques dizaines de minutes, la dynamique des systèmes convectifs joue un rôle important dans l'organisation des champs pluviométriques. Elle se traduit par un déplacement plus ou moins régulier des systèmes d'Est en Ouest à des vitesses dont la moyenne est proche de 55 km/h. Une approche lagrangienne a été mise au point pour s'affranchir de l'influence de la dynamique (Amani et Lebel, 1997). Puis une liaison théorique formelle a été établie entre le variogramme événementiel et le variogramme des cumuls sur N événements (Lebel et Le Barbé, 1997). Cette liaison permet de rendre compte de la structure des champs de cumul saisonnier, dont l'extrême variabilité spatiale peut surprendre au premier abord (60% de la variance spatiale de ces champs est concentrée dans les échelles de moins de 30 km). Elle exprime une représentation

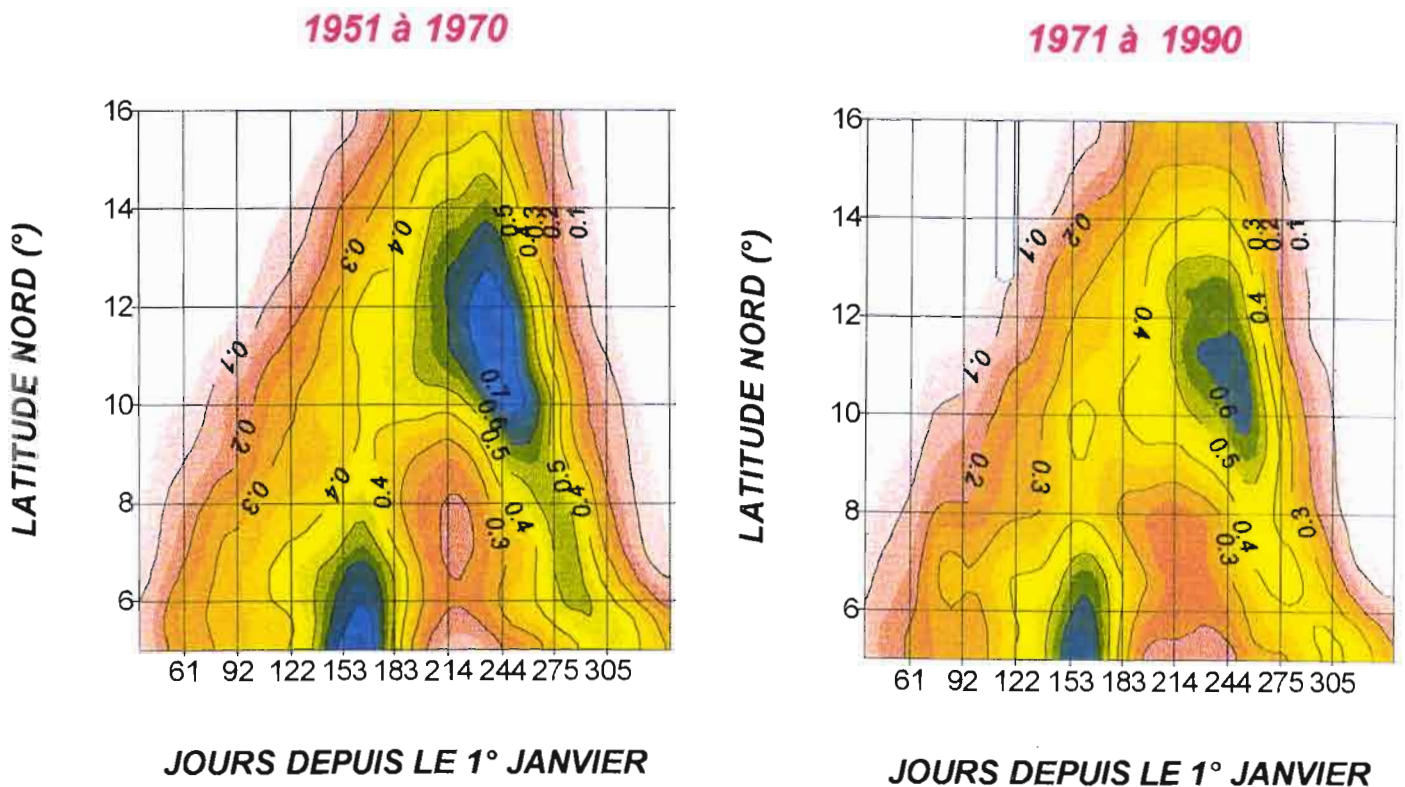


Figure HMET-8 : Etude du régime pluviométrique en Afrique soudano-sahélienne et de son évolution entre la période **humide** (1951-1970) et la période **sèche** (1971-1990) qui se poursuit actuellement. Le régime pluviométrique est caractérisé par deux paramètres : un estimateur du nombre moyen d'événements pluvieux (λ) sur une période T et un estimateur de la hauteur moyenne apportée en un point par chacun de ces événements. On a représenté ici la probabilité d'occurrence de la pluie un jour donné (c'est à dire le nombre moyen d'événements pour $T=1$ jour) en fonction de la longitude (Abidjan, 4° Ouest). La comparaison des deux diagrammes montre un abaissement du nombre moyen d'événements particulièrement marqué durant les pics de saison des pluies (mai-juin et octobre au sud de 8° Nord ; 15 juillet-15 Septembre entre 10 et 14°N). Les dates de mise en place et de retrait des saisons des pluies sont peu modifiées et la saison des pluies démarre sur le Sahel sans connexion évidente avec la première saison des pluies sur la côte. De plus ce démarrage est synchrone sur toute la bande 10-14°N, ce qui est contraire à la dynamique méridienne classiquement supposée dans le schéma de Hamilton et Archbold. Par contre, cette dynamique méridienne, liée à la redescente vers le sud de l'équateur météorologique, est bien visible pour la période Août-Novembre (fin de la saison des pluies sur le Sahel et démarrage progressif de la seconde saison des pluies sur la zone soudano-guinéenne). A l'inverse la longueur de la saison des pluies et les hauteurs moyennes par événement ont relativement peu changé lors de la période sèche. Il existe donc une liaison très forte entre sécheresse et nombre d'événements. (Le Barbé, Lebel, 1998).

cohérente des structures pluviométriques spatiales pour des échelles temporelles allant de quelques minutes à l'année. Le rôle respectif des caractéristiques internes (variogramme des hauteurs par événement) et externes (variogramme du nombre de SCM et cycle de vie de ces SCM) apparaît explicitement dans cette modélisation (voir figure HMET-9, tirée de Lebel et Le Barbé, 1997). Il s'agit donc d'une approche qui peut être couplée à la décomposition des fluctuations temporelles entre nombre moyen d'événements sur une durée donnée et hauteur moyenne par événement.

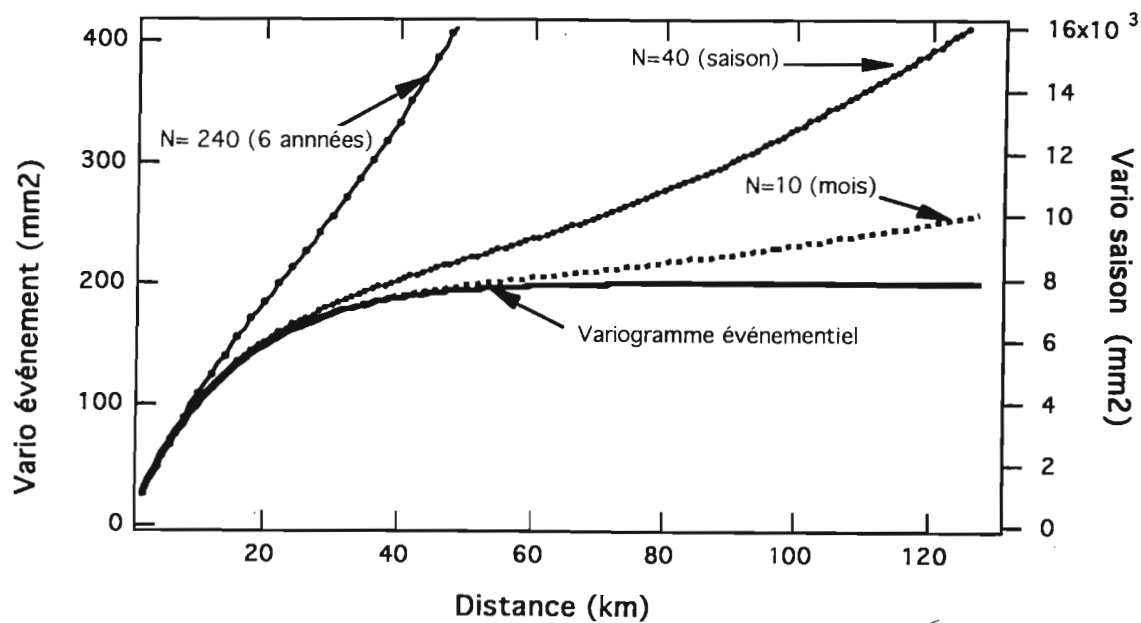


Figure HMET-9 : Du variogramme événementiel au variogramme N-événementiel. Le variogramme événementiel est schématisé par une fonction exponentielle qui confine l'essentiel de la variabilité dans les 30 premiers kms. Lorsque N augmente, les caractéristiques extérieures des systèmes convectifs provoquent l'apparition progressive d'un emboîtement de deux structures : l'influence des caractéristiques intérieures (dynamique convective) et celle des caractéristiques extérieures (dimension et fréquence des systèmes) se mélangent. A l'échelle pluriannuelle, le variogramme prend rapidement une allure parabolique correspondant au gradient linéaire Nord-Sud du nombre d'événements. L'influence des caractéristiques internes des SCM, représentées par le variogramme événementiel, disparaît presque totalement. (Lebel, Le Barbé, 1997).

- La décomposition réalisée dans l'algorithme lagrangien entre dynamique et structure spatiale a servi de base au **développement d'un modèle de désagrégation**. Ce modèle permet de simuler une répartition réaliste de la pluviométrie à une échelle spatio-temporelle de $1 \times 1 \text{ km}^2 \times 5 \text{ min.}$, à partir d'un cumul estimé par un satellite ou fourni par un MCG sur une surface de $1^\circ \times 1^\circ$. Le modèle est en cours de validation mais les premières évaluations effectuées sur des lignes de grains observées durant EPSAT-Niger se sont avérées satisfaisantes (voir figure HMET-10, tirée de Lebel et col., 1998 ; thèse de G. Guillot en cours).

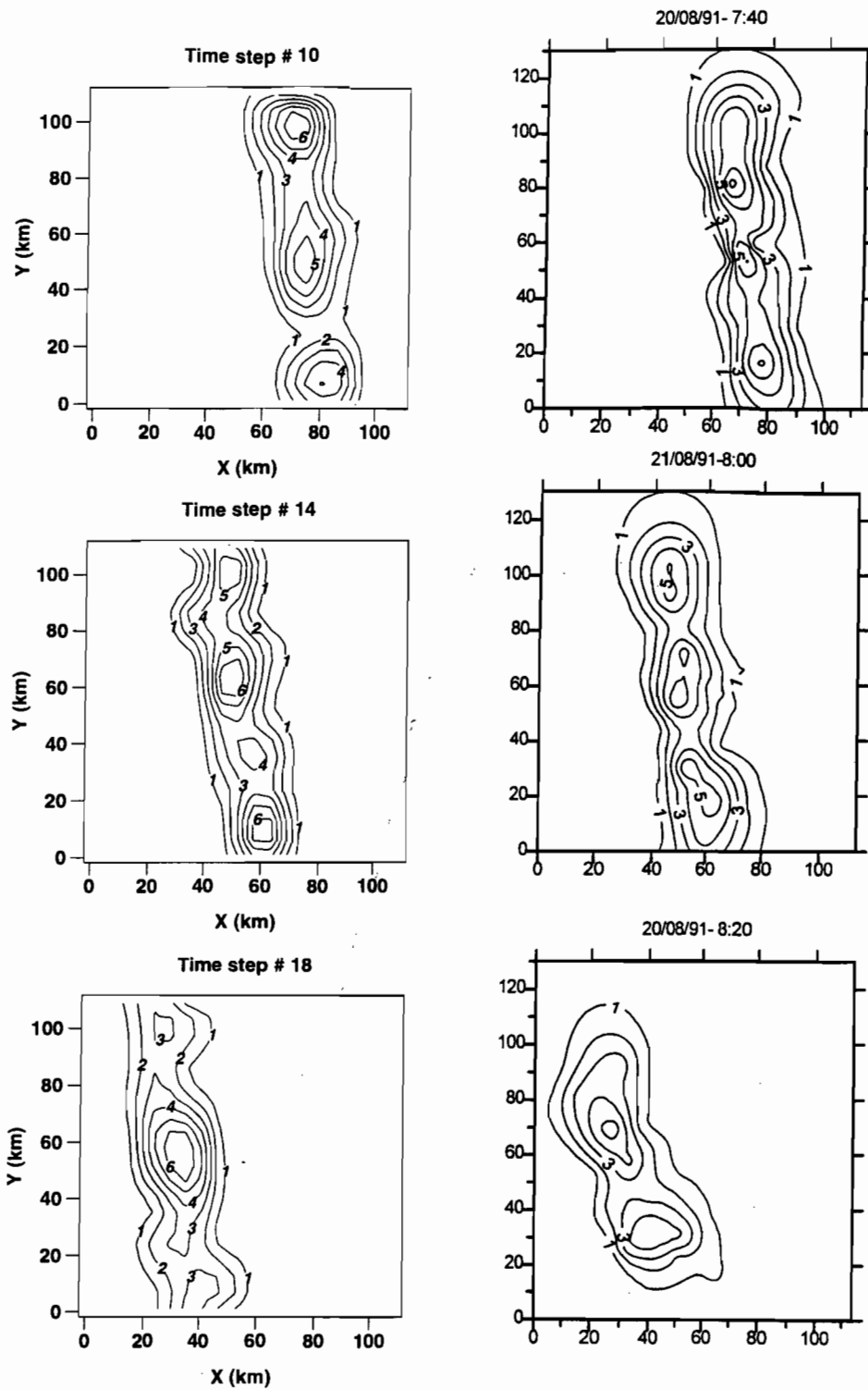


Figure HMET 10 : Exemples de champs pluvieux au pas de temps de 5 minutes sur le degré carré de Niamey.. A droite des valeurs observées par le réseau de pluviomètres le 21 Août 1991 à trois instants séparés de 20 minutes. A gauche les valeurs simulées par le modèle Lebel-Braud-Creutin par désagrégation spatio-temporelle du cumul sur le degré carré du même épisode pluvieux (T. Lebel, I. Braud, J.D. Creutin , 1998).

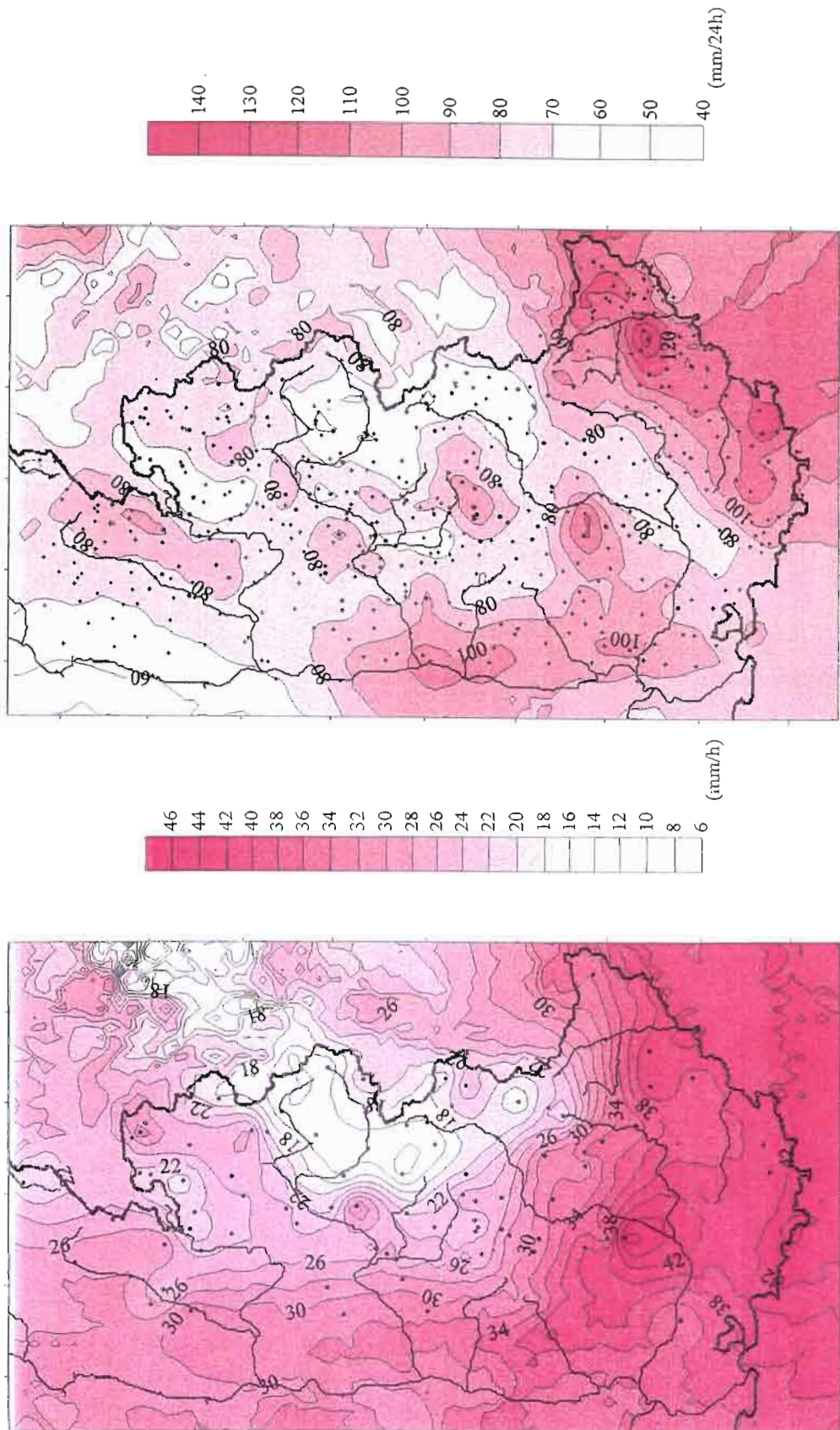


Figure HMET-11 : Cartes des pluies décennales obtenues par cokrigage des valeurs mesurées aux stations pluviométriques et d'une variable auxiliaire pondérant différentes caractéristiques morphométriques du relief. Les cumuls horaires (carte du bas) sont obtenus à l'aide du réseau de pluviomètres enregistreurs (points noirs) moins dense que le réseau de pluviomètres (croix) ayant observé les cumuls journaliers (carte du haut). Les valeurs portées en Italie s'appuient uniquement sur la variable auxiliaire tirée du MNT et les valeurs portées en mer sont simplement extrapolées. (Thèse d'A. Weisse, 1998).

b) L'étude des pluies extrêmes en région montagneuse.

Elle s'est essentiellement focalisée sur les Alpes françaises pour des raisons évidentes d'intérêt régional. Le réseau pluviométrique correspondant est constitué de plus de 400 stations à lecture journalière et d'un peu moins de 100 stations à enregistrement qui permettent de travailler à des pas de temps allant de l'heure à la journée (on retient 1, 2, 3, 6, 12 et 24 heures). Des paramètres statistiques tels que la pluie de temps de retour 10 et 100 ans et le Gradex (équivalent à l'écart-type de la distribution des valeurs extrêmes) ont été calculés pour chaque station puis leur variabilité spatiale a été analysée par krigeage. **Une relation statistique avec les caractéristiques du relief a été recherchée et s'est avérée très liée au pas de temps considéré** (thèse de S. Saidi, 1996). Le cokrigeage a été testé comme méthode de cartographie combinant paramètres statistiques et variables de relief (voir figure HMET-11, tirée de la thèse de A. Weisse, à soutenir en 1998). Une validation croisée a **montré l'intérêt de la démarche** (A. Weisse et Ph. Bois, 1997).

On notera qu'une étude comparable, utilisant une approche très voisine a également été réalisée au Sud de la Norvège, dans le cadre d'une collaboration avec l'Université d'Oslo (thèse en co-tutelle de T. Skaugen, 1997).

Les domaines d'applications de ces travaux sont à la fois celui de la **compréhension des climats et de leur évolution** et celui des **risques hydrométéorologiques**. Les soutiens financiers correspondants ont été obtenus auprès du PNEDC, du PNRN/Risques Hydrologiques et du Programme Régional Européen INTERREG II "Inondations".

3. Couplage de la pluviométrie avec les écoulements atmosphériques et la microphysique des nuages.

La formation des précipitations, et par conséquent leur variabilité spatio-temporelle, sont gouvernées à la fois par les mouvements de l'atmosphère et par la microphysique des nuages. Il est donc nécessaire d'établir des liens entre nos travaux et ceux de la communauté des atmosphériciens afin de tirer parti dans nos analyses de la description physique des processus générateurs de pluie. La démarche n'est pas simple mais les **trois études décrites ci-dessous** ont été réalisées dans ce sens. Elles s'inscrivent pleinement dans le cadre des préoccupations du groupe de travail créé en 1996 à l'initiative du PATOM et du PNRH et consacré au couplage atmosphère-hydrologie. Elles nous ont permis de fixer de nouvelles perspectives.

a) Couplage d'un modèle de nuage avec un modèle de réseau de drainage urbain.

L'objectif visé était d'apprécier par une **opération pilote** les difficultés pratiques et éventuellement méthodologiques du couplage entre un modèle **météorologique non-hydrostatique** (le modèle de T. Clark - NCAR) et un **modèle classique d'écoulement** de réseau d'assainissement urbain (le modèle CAREDAS-SOGREAH). L'exemple choisi a été de simuler le comportement du Département de la Seine-Saint Denis sous orage (voir figure HMET-12, tirée de Thielen-Creutin, 1997).

Les principaux enseignements sont les suivants :

- *le manque de connaissance précise* des conditions initiales rend difficile la simulation d'une situation donnée et invite plutôt à utiliser ce genre de modèle comme un générateur de scénarii.
- *les précipitations produites par le modèle* sont restées en deçà de celles observées et il en est de même de leurs conséquences hydrologiques (Thielen et Creutin, 1997).
- *la ville a un rôle sensible* sur le déclenchement des orages (Thielen et col., 1997).

Cette étude a été initiée lors du séjour post-doctoral 1995-96 de J. Thielen au LTHE dans le cadre du réseau européen WEEL/Techware. Elle s'est poursuivie lors des séjours de ce chercheur à Nantes (ECN) et à Clermont-Ferrand (LAMP). Elle a été soutenue par le PNRH et par la Direction de l'Eau et de l'Assainissement de la Seine-Saint Denis.

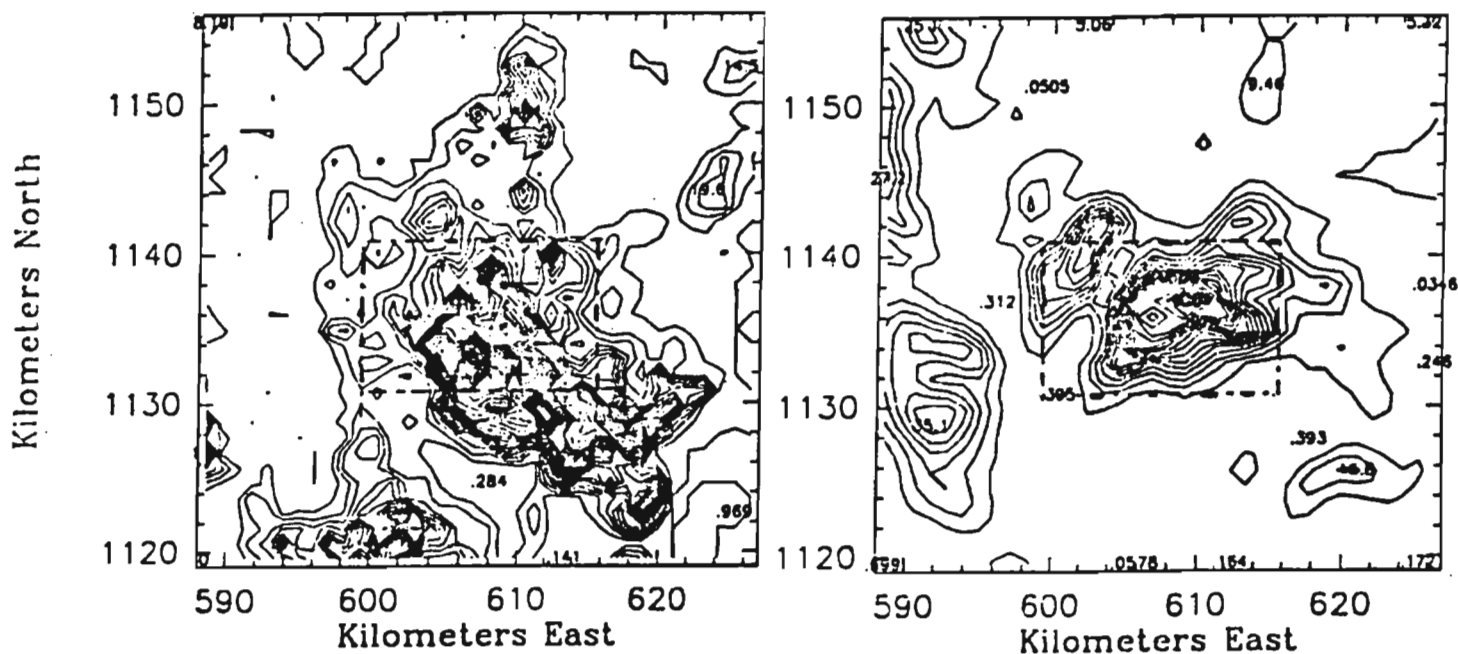


Figure HMET-12 : Comparaison entre image radar (à gauche) et sortie du modèle Clark (à droite) pour un orage sur le Département de la Seine St. Denis le 27/06/90 (rectangle en tiretés au centre de la figure). Les cellules de pluie simulées présentent de manière systématique une extension spatiale et une intensité moindre que celles observées par le radar. (J. Thielen, J.D. Creutin, 1997).

b) Liaison entre champs synoptiques de pression et répartition des pluies.

Différents types de données météorologiques synoptiques (radiosondages, grilles de modèles) sont maintenant disponibles sur une période d'environ 40 ans. Ces données permettent de réaliser une étude climatique conditionnant l'analyse de la répartition spatiale de la pluie par le type de situation synoptique. C'est dans cet esprit que fonctionne la méthode de **prévision de la pluie journalière** par "analogues" du Service Ressources en Eau d'EDF sur les bassins versants montagneux français. Il s'agit de rechercher, pour un jour donné, les situations synoptiques les plus ressemblantes ou "analogues". A ce type de situation correspond pour chaque bassin versant une distribution statistique du cumul de pluie. Les quantiles de cette distribution sont utilisés comme valeur de pluie prévue (voir figure HMET-13, tirée de la thèse de S. Guilbaud, 1997). Cette méthode a été **fortement rénovée** (thèse de S. Guilbaud, 1997 ; Guilbaud et Obled, 1998) :

- *en apportant* des améliorations sur la nature des données météorologiques utilisées : le **champ de pression 1000 hPa** a été ajouté à celui de 700 hPa initialement utilisé seul et l'humidité des basses couches s'est avéré être une bonne deuxième variable explicative.
- *en sélectionnant* les analogues avec le critère de Teweles-Wobus qui met l'accent sur la circulation atmosphérique donc, plutôt sur les champs de vents que sur les champs de pression, et *en considérant* en chaque point de grille, **non pas le géopotentiel**, mais ses deux gradients Sud-Nord et Est-Ouest.

Les résultats mettant en évidence une nette **baisse des fausses alertes et des défauts d'alerte** (même si les épisodes intenses - tous prévus - sont parfois sous-estimés), les **modifications** apportées à l'approche initialement développée sont en cours d'implantation dans le système **opérationnel** d'EDF. La méthode est actuellement testée sur des bassins catalans et ligures pour des problèmes de risques (Projet "Méthodes hydrométéorologiques pour la prévision quantitative de la précipitation journalière" du Programme Picasso).

Elle est également utilisée, dans le cadre du projet "ARDECHE" (voir contribution de l'Equipe HSURF) pour la prévision et l'anticipation des débits, à partir d'un générateur de scénarii de pluies futures.

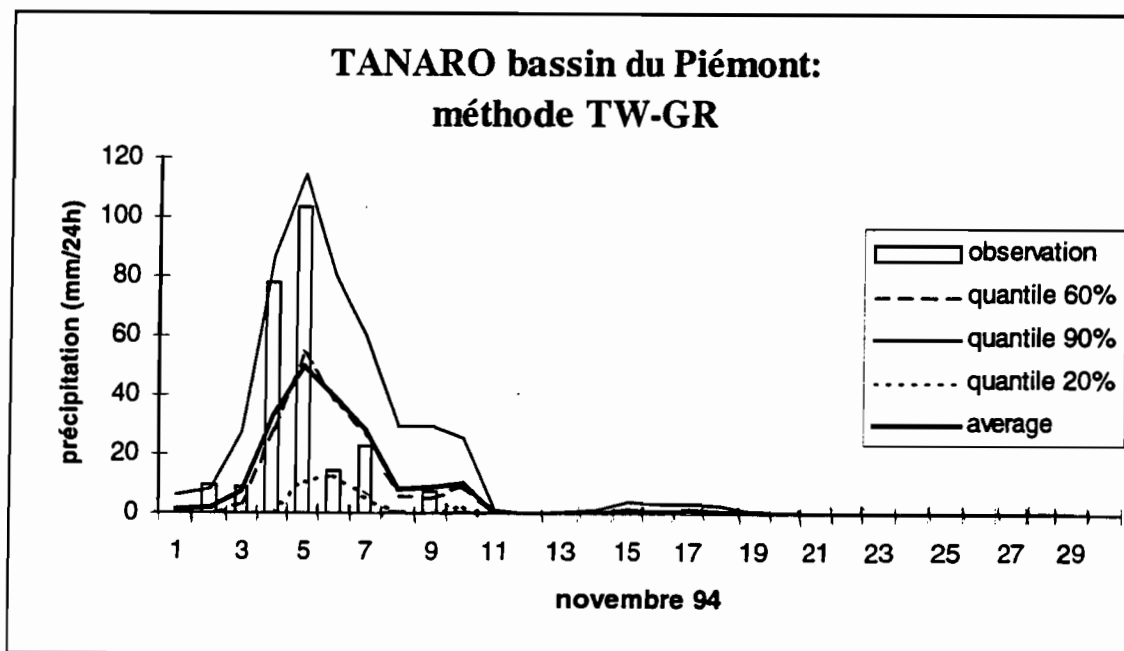


Figure HMET 13 : Exemple de prévisions journalières obtenues par la méthode des analogues pour le mois de novembre 1994 sur le bassin de Tanaro. Les valeurs observées sont indiquées par les barres verticales. Les quantiles 20, 60 et 90 % (traits tiretés courts, longs et continus, fins respectivement) et la moyenne de distribution (traits continus gras) des cumuls de pluie sur le bassin pour les situations analogues de chaque jour sont portés à titre de prévision. (Thèse de S. Guilbaud, 1997).

c) Evolution dynamique du contenu en eau précipitante d'un volume d'atmosphère.

Sans recourir à une description complète de la circulation atmosphérique et de la microphysique des nuages, il est possible de décrire l'évolution dynamique du contenu en eau précipitante d'un volume d'atmosphère. Cette approche de type "colonne atmosphérique", proposée par K. Georgakakos au début des années 1980 pour réaliser des prévisions quantitatives de pluie à très courte échéance, a fait l'objet de **développements** (description de la vitesse verticale, prise en compte du renforcement orographique) dans le but d'utiliser le modèle dans le cas où seules des données radar volumiques sont disponibles. Les résultats (thèse de L. Dolciné, 1997, en collaboration avec le LCPC/Division Eau-Nantes) obtenus sur les événements pluvieux de l'expérience Cévennes 86-88 se sont révélés **supérieurs**, dans la majorité des cas, à ceux obtenus par les méthodes plus simples de prévision de persistance et d'advection.

PERSPECTIVES

Au terme de 10 ans d'existence, l'Equipe "*Hydrométéorologie*" a atteint une phase de maturité tant sur le plan des moyens que des finalités. Lié initialement à la question du dimensionnement et de la gestion des ouvrages hydrauliques, son intérêt pour l'étude des précipitations s'est progressivement affirmé et diversifié :

- **Une activité expérimentale** s'appuyant sur les **radars météorologiques** s'est ajoutée à l'activité initiale, plutôt numérique et méthodologique.
- Les approches de type "régressions multi-linéaires" ont été complétées par l'introduction de **modèles non-linéaires** plus "**physiques**", à la fois pour interpréter les mesures de façon plus complète et pour en montrer la cohérence par rapport aux processus considérés.
- **Les milieux étudiés** se sont étendus du domaine naturel au domaine urbain, avec le changement d'échelles spatiales et temporelles important qu'induit ce passage.
- L'ensemble des questions abordées a été formulé, en termes de connaissance **des phénomènes** et d'application à **l'ingénierie** :
 - viser une meilleure compréhension des processus nécessite la réalisation d'expérimentations et le développement de modèles plus indépendants de l'état de l'art, donc plus innovants ;
 - répondre aux problèmes d'ingénierie contraint à vérifier l'applicabilité des résultats des recherches entreprises.

Nos perspectives, dans chacun des axes principaux précédemment définis sont synthétisées ci-après.

1. L'observation quantitative des précipitations.

C'est bien entendu dans le domaine de la détection radar des précipitations que nous poursuivrons nos efforts dans deux directions complémentaires :

a) Les aspects expérimentaux pour lesquels l'instrumentation sera liée à la fois aux dispositifs existants, en cours de modernisation et au développement d'un nouveau prototype de radar hydrologique à diversité de polarisation défendu dans le projet CETP/LCPC/LTHE soutenu par le MATE (voir paragraphe "Moyens et Méthodes").

b) Les aspects méthodologiques seront abordés sous trois aspects :

- *Détection radar aux longueurs d'ondes atténuées en région montagneuse.*

Les différents algorithmes de correction de l'atténuation, développés ces dernières années et qui apparaissent prometteurs pour l'utilisation de radars légers dans les applications hydrologiques seront testés (thèse de Th. Pellarin, sous la responsabilité de G. Delrieu) sur les résultats d'expériences en cours ou projetées :

- Les données recueillies à **Grenoble en 1997** permettront d'une part de caractériser les fluctuations des propriétés électromagnétiques des surfaces pour différents états de la végétation et en présence de neige (recours possible au suivi du manteau neigeux du Centre d'étude de la Neige). Elles devraient d'autre part permettre de différencier le fonctionnement des algorithmes de correction de l'atténuation évoqués plus haut (Hitschfeld-Bordan, "surface référence techniques", méthodes inverses).
 - Les données grenobloises de 1998, complétées par des mesures en bande C (moins atténuées) recueillies sous radôme à Nancy par le réseau ARAMIS et à Niamey dans le cadre de l'expérience EPSAT-Niger, seront utilisées pour établir l'importance de l'atténuation au site du radar.
 - Les mesures issues du radar, bande C de Monte-Lema, pendant l'expérience MAP (Mesoscale Alpine Program) en 1999 (collaboration avec J. Joss renforcée par le séjour post-doctoral de B. Vignal à Locarno) serviront à tester l'ensemble de la méthodologie proposée en abordant le problème de l'extension de la correction de l'atténuation dans des directions pour lesquelles on ne dispose pas de mesures d'atténuation totale.
- *Propriétés d'échantillonnage du signal radar pour les applications hydrologiques à courte distance.*

L'utilisation du radar à faible distance (quelques dizaines de kilomètres, pour lesquels la résolution de la mesure est très forte), nécessite de définir avec grand soin, le mode d'échantillonnage : mouvement d'antenne et fréquence de visite de l'atmosphère. Cela suppose de prendre en compte à la fois la variabilité spatio-temporelle des précipitations et les caractéristiques dynamiques des bassins versants surveillés. Pour progresser dans ce domaine, deux types d'analyses seront développés par M. Gosset (CR Orstom) dans le cadre du projet radar hydrologique :

- Le premier reposera sur la **simulation numérique d'une colonne de l'atmosphère**, dans laquelle une formulation explicite des distributions granulométriques permettra de mimer un échantillonnage radar. Cette étude, réalisée dans le cadre du séjour post-doctoral de R. Uijlenhoet, sera fondée sur une modélisation stochastique et un modèle de nuage.
 - Le second type d'analyse s'appuiera sur des données radar en plan vertical (RHI) et pluviométriques au sol, collectées à Grenoble pour tester les résultats de simulation évoquée ci-dessus. Par ailleurs, les données du Réseau Informatique Centralisé de la Ville de Marseille seront également utilisées pour caractériser la dynamique de bassins versants urbains de différentes tailles.
- *Etude microphysique des précipitations.*

L'étude des spectres granulométriques mesurés au sol montre l'existence de modifications plus ou moins soudaines des caractéristiques microphysiques de la pluie, qui à l'évidence vont affecter la relation entre réflectivité radar et intensité de précipitation. La formulation en loi d'échelle que nous avons proposée (Sempere-Torres et col., 1994) permet de décrire et sans doute de détecter ces changements à partir de mesures granulométriques. En vue d'applications pratiques, il est indispensable de les détecter à partir des mesures radar elles-mêmes. Dans ce but, nous proposons de **mettre en regard l'évolution temporelle du profil vertical de réflectivité déduit des mesures radar en mode RHI avec la granulométrie de la pluie au sol** telle que mesurée à l'aide du spectro-pluviomètre optique. Cette approche testée par Huggel et col., (Journal of Applied Meteorology, 35 : 1688-1701) a montré par exemple que l'ampleur de la bande brillante, liée à la nature des précipitations solides, est un bon indicateur de la proportion relative de grosses gouttes.

Cette étude sera menée en collaboration étroite avec D. Sempere-Torres (Univ. Politecnica de Catalunya) et J. Porra (Univ. de Barcelone) dans le cadre du projet UE "HYDROMET", en cours.

2. Les régimes pluviométriques en milieu montagneux tempéré et en milieu soudano-sahélien.

L'amélioration des moyens de mesure (au sol et par télédétection) et des archives permet de caractériser les régimes pluviométriques à des échelles de plus en plus pertinentes au regard de l'hydrologie et de répondre à des questions telles que : *Quelle est la fréquence d'apparition de pluies génératrices de crues dans les régions tempérées ? Quelles sont les fréquences d'apparition et les caractéristiques des systèmes convectifs en Afrique de l'Ouest ?*

Dans ce domaine lié à l'étude du climat et de son évolution et dans le cadre de projets soutenus par les programmes PNRH/Risques Hydrologiques et Variabilité Climatique de l'Orstom, les points suivants seront étudiés :

a) Cycle de vie des systèmes convectifs en Afrique de l'Ouest.

Cette étude réalisée en collaboration avec le LMD et coordonnée par H. Laurent (CR Orstom, scientifiquement rattaché au LTHE) consistera à :

- **établir** à partir de l'imagerie METEOSAT, un **catalogue** de l'ensemble des systèmes convectifs ayant concerné l'Afrique de l'Ouest entre 1989 et 1997 qui consignera les lieux d'apparition et de disparition, la durée de vie, la trajectoire et la taille de chaque système.
- **étudier le bilan pluviométrique de ces systèmes sur la zone sahélienne** pendant la période de suivi intensif d'EPSAT-Niger (1990-1993). Ce bilan sera étudié aux échelles régionales sur la zone Niger-Burkina Faso (entre 6°W et 12°E) et locale sur le Niger. Un des buts de ce travail (thèse de V. Mathon à l'Université de Paris VII sous la direction de T. Lebel et H. Laurent) sera de préciser la pertinence de la classification proposée dans différents travaux récents de l'Equipe, en particulier la distinction entre les Systèmes Convectifs de Méso-échelle "ordinaires" et les Masses Convectives Compactes.
- **modéliser** les champs de pluie associés à ces systèmes. Il s'agira essentiellement de **mettre en cohérence des approches (géo)statistiques existantes** mais portant sur des échelles spatiales et temporelles différentes à savoir : celle du modèle de désagrégation de Lebel, Braud, Creutin (1998) qui décrit la dynamique spatio-temporelle locale d'une ligne de grain ; celle du variogramme multi-échelles de Lebel et Le Barbé (1997) qui lie la variabilité spatiale de l'événement pluvieux à celle de la saison des pluies et celle du processus de Poisson dit "loi des fuites" de Le Barbé et Lebel (1997) qui donne une vision régionale du mode de répartition temporelle de la pluie. Dans un premier temps il faudra **valider** de manière exhaustive le **modèle de désagrégation** et préciser les limites de son domaine d'application (échelles et nature des systèmes simulés, réalisme des paramètres inférés). Ensuite, on cherchera à **étendre** ce modèle en prenant en compte explicitement les caractéristiques extérieures des systèmes convectifs sahéliens, soit dans un contexte stochastique (variogramme multi-échelles ou processus de Poisson spatio-temporel), soit sur la base d'une approche plus déterministe s'appuyant sur les travaux du LMD sur le cycle de vie des systèmes convectifs et leur représentation dans les Modèles de Circulation Générale (MCG).

b) Extrêmes pluviométriques dans les Alpes.

De manière classique la caractérisation du comportement paroxysmique de la pluie s'appuie sur l'utilisation d'une loi statistique doublement exponentielle (la loi de Gumbel) pour représenter le comportement fréquentiel de l'ensemble des maxima observés (saisonniers par exemple). Il apparaît sur de longues séries de mesure que cette méthode est simplificatrice au sens où certaines populations de cumuls de précipitations extrêmes paraissent hétérogènes et semblent présenter une **cassure dans leur comportement fréquentiel**. Les explications sont nombreuses et on pense en particulier à la diversité des conditions météorologiques génératrices ou bien à un changement climatique. Avant d'examiner ces hypothèses, il est nécessaire de **vérifier le bien fondé statistique de cette constatation** qui pourrait aussi résulter de fluctuations d'échantillonnage. Pour cela, deux voies seront employées :

- **L'analyse des données** sur un ensemble conséquent de postes de mesures (incluant notamment des données italiennes et espagnoles).
- **La simulation numérique** toujours productive pour ce type de question.

Cette étude sera réalisée au cours du travail de thèse de A. Djerboua sous la responsabilité de Ph. Bois et dans le cadre du Programme UE/INTERREG II "Inondations".

3. L'impact de la variabilité des précipitations sur la formation du ruissellement.

L'acquisition de connaissances expérimentales et théoriques sur les modes de variabilité des précipitations a pour finalité une meilleure compréhension du comportement des systèmes hydrologiques. Il est bon de rappeler que les hydrologues ont pour l'instant appréhendé le comportement de ces systèmes en disposant de la vision assez réductrice de la pluie que donnent les pluviomètres. Disposer de moyens expérimentaux et numériques capables d'améliorer cette vision devrait apporter beaucoup dans des domaines aussi divers que la formation de ruissellements exceptionnels, l'interception des précipitations et la reprise évaporative. Les points évoqués ci-dessous concernent les milieux qui nous sont familiers : la montagne, la ville et la zone sahélienne. Des liens de plus en plus serrés seront tissés entre les actions proprement hydrométéorologiques, décrites ci-dessous et celles plus spécifiques aux autres Equipes du LTHE (voir les contributions correspondantes) et avec les communautés avec lesquelles elles collaborent.

Dans cet axe, trois types d'étude sont envisagées :

a) Validation de simulations Méso-NH en montagne.

Les méthodes numériques de simulation des précipitations atmosphériques et des transferts d'eau à la surface du sol permettent aujourd'hui d'envisager une représentation distribuée couplée. Le terme de couplage peut être discuté au sens où il n'est pas évident que par temps de pluie le système hydrologique ait un effet rétroactif sur l'atmosphère. Néanmoins, cette démarche mérite d'être tentée dans le cadre notamment du groupe de réflexion PATOM-PNRH animé par J.D. Creutin et du projet MAP.

Amorcée dans le cadre d'un projet commun au LTHE et au LA/Toulouse, soutenue par le PNRH, l'étude portera d'abord sur la **région des Cévennes-Vivarais** pour laquelle nous disposons d'observations radar issues de l'expérience Cévennes 86-88. Il s'agit d'établir si le modèle est capable de **simuler de manière réaliste les "pluies de relief"** dont on pense qu'elles apportent l'essentiel des cumuls de pluie sur des périodes de plusieurs heures (6, 12, et au-delà) responsables de certaines formes de crues. Ces pluies manifestement très liées aux détails de la topographie posent la question de l'échelle pertinente de représentation du relief et de la capacité du modèle utilisé à

représenter fidèlement son effet sur l'écoulement de l'air. Les modélisations atmosphériques seront réalisées à la fois à Toulouse et à Grenoble dans le cadre de l'activité de S. Anquetin (CR CNRS, actuellement au LEGI et qui souhaite rejoindre le LTHE) sur la modélisation de la couche limite atmosphérique en terrain complexe. L'étude sera étendue à la région alpine de MAP, en collaboration avec l'Equipe HSURF.

b) Impact des fluctuations décennales de la pluviométrie sur le cycle hydrologique en Afrique de l'Ouest..

Le mode décennal apparaît particulièrement marqué dans les fluctuations pluviométriques soudano-sahéliennes. Un travail visant à **quantifier l'impact de ces fluctuations sur le régime hydrologique** sera initié dans le cadre de la thèse en co-tutelle Université Nationale du Bénin/INPG de H. Onibon co-encadrée par T. Lebel et A. Afouda, qui envisage un séjour sabbatique au LTHE. Plusieurs bassins versants ont été identifiés dans une zone à écoulements pérennes et réseaux de drainage fonctionnels couvrant la plus grande partie du Bénin entre 7°N et 10°N. Dans un premier temps, on utilisera les séries de débits observés sur des bassins couvrant une surface de l'ordre de 10000 km² afin de valider un modèle d'écoulement régional fondé sur une partition géologique et sur la topographie telle que restituée par un MNT. La fluctuation pluviométrique sera modélisée à l'échelle régionale à l'aide du modèle Le Barbé et Lebel (1997).

c) Effet de la variabilité pluviométrique de petite échelle en milieu urbain..

En milieu urbain les campagnes de mesures radar sont complétées par une surveillance opérationnelle détaillée des réseaux de drainage (voir plus haut la description de l'expérimentation radar à Marseille dans le cadre du projet européen HYDROMET). **Mettre en évidence l'impact de la variabilité des précipitations sur le comportement de ces derniers** suppose à la fois l'interprétation des mesures hydrauliques (stages d'ingénieurs sous la responsabilité de G. Delrieu) et le **développement de modèles hydrologiques** en complément de modèles hydrodynamiques disponibles. Sur ce dernier point les travaux actuellement menés par la Division Eau du LCPC en collaboration avec le LTHE seront essentiels. Il s'agit du développement d'un modèle d'infiltration 2D vertical et d'un modèle de ruissellement de surface en amont des collecteurs (thèses E. Berthier et F. Rodriguez, sous la responsabilité de H. Andrieu et J.D. Creutin).

En complément, et pour mémoire, nous initions, sous la responsabilité de J.P. Laurent (voir contribution de l'Equipe TMP), **une expérimentation à l'échelle du bâtiment**, destinée à quantifier l'interception des précipitations par une paroi verticale et à modéliser leur devenir.

CROCHET Philippe

Une approche lagrangienne pour caractériser la variabilité spatiale des champs de pluie en milieu sahélien. Application à l'estimation des lames d'eau moyennes à partir d'une information binaire.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.

23 Mars 1995

Jury : Président : CHOLLET J.P.
Rapporteurs : DESBOIS M., SAUVAGEOT H.
Examineurs : LEBARBE L., CREUTIN J.D.

Résumé

Cette étude propose une analyse géostatistique de la variabilité spatiale des champs de précipitation intermittents en région sahélienne. Les données proviennent du réseau dense de pluviographes de l'expérience EPSAT-NIGER. Deux saisons des pluies ont été étudiées au pas de temps de l'heure.

Une première analyse fondée sur la distinction des notions d'intermittence spatiale et de variabilité en soi, met en évidence la présence d'une organisation spatiale systématique de l'intensité de précipitation à l'intérieur des surfaces pluvieuses.

Une méthodologie est ensuite développée pour caractériser de manière simple la présence de cette dérive. Elle consiste à rattacher les caractéristiques statistiques de l'intensité de pluie à la géométrie des surfaces pluvieuses, en définissant un mode de repérage capable d'évoluer avec le système précipitant. On montrera par exemple que la moyenne de l'intensité de pluie croît du bord vers l'intérieur des surfaces pluvieuses.

Cette information est ensuite utilisée pour estimer la lame d'eau moyenne précipitée sur un domaine, à partir de la seule connaissance de la géométrie des zones pluvieuses au dessus d'un seuil d'intensité donné. Les performances de cette méthode (la méthode de la dérive) sont comparées à celles de la méthode des seuils. Les résultats obtenus montrent sa supériorité dans la plupart des cas étudiés.

Si un dispositif satellitaire est capable de fournir l'information nécessaire pour localiser les zones pluvieuses au dessus d'un ou plusieurs seuils, cette méthode est prometteuse pour caractériser la répartition spatiale de l'intensité de pluie, à des échelles temporelles réduites, sur des zones de grande extension spatiale, où la mesure in-situ fait défaut.

Mots clés : Variabilité spatiale, géostatistique, sahel, précipitation, morphologie mathématique, dérive lagrangienne.

Abstract

A lagrangian approach for the characterization of the spatial variability of rainfall fields in a sahelian region. Application of mean areal estimation based on a binary information.

This study describes a geostatistical analysis of the spatial variability of intermittent rainfall fields in a sahelian region. The data come from the dense raingauge network of the EPSAT-Niger experiment. Two rainy seasons have been studied at time intervals of one hour.

A first analysis based upon the distinction between the spatial intermittency and the inner variability suggests that the rainfall intensities within the rainfall fields exhibit systematic spatial organisation patterns.

Further, a method is developed to characterize in a simple way the existence of this trend. The statistical properties of the rainrate are linked to the geometry of the rainfall fields, in a moving coordinates system. For example, the mean rainrate is shown to increase from the boundary to the edge of the rainfall areas. Given the geometry of the rainfall rates above a given threshold, this information is used to estimate the mean areal rainfall over a domain. The performances of this method, the so-called "trend method" are compared to those of the threshold method. The results show the superiority of the "trend method" in most of the cases studied. If satellites are able to provide the necessary information to locate the rainfall areas above one or several thresholds, this method seems promising to characterize the spatial organisation of the rainfall fields over large areas and at small time steps, in cases where no ground truth data is available.

SALLES Christian

Analyse microphysique de la pluie au sol : mesures par spectro-pluviomètre optique et méthodes statistiques d'analyse spectrale et de simulation numérique.

Docteur de l'Université Joseph Fourier - Grenoble I.

21 Décembre 1995

Jury : Président : VASSEUR G.
Rapporteurs : D'AUBIGNY G., BAUDIN F.
Examineurs : GAGNE Y., CREUTIN J.D.

Résumé

La caractérisation de la variabilité spatio-temporelle de la pluie est l'une des étapes importantes de l'étude du cycle de l'eau. L'information sur la distribution granulométrique de la pluie familière aux physiciens de l'atmosphère et aux spécialistes des télécommunications apparaîtra utile en hydrologie si l'utilisation des radars météorologiques se généralise. C'est cette description, à l'échelle de la goutte de pluie que nous avons abordé dans ce travail.

La métrologie des distributions granulométriques des gouttes de pluie est réalisée par l'intermédiaire d'un capteur de mesure (le spectro-pluviomètre optique) que nous avons analysé et qualifié en détail. L'analyse de la variabilité des comptages de gouttes nous a ensuite permis d'aborder la question de l'échantillonnage. Deux points essentiels se sont dégagés : i) l'effet d'échantillonnage est en général insuffisant pour expliquer les fluctuations des comptages de gouttes. ii) il existe des précipitations pour lesquelles certains diamètres de gouttes ne sont pas représentés (lacune dans les spectres de gouttes).

L'analyse spectrale des distributions granulométriques proposée en dernière partie du document s'est appuyée sur la technique d'analyse en composantes principales. Cette analyse a permis de distinguer deux types d'écart au spectre moyen : des écarts que l'on peut attribuer aux processus microphysiques et des écarts de type bruit blanc vraisemblablement dus à l'échantillonnage. Un générateur de distribution granulométrique a été proposé d'après cette analyse puis il a été testé en simulation numérique de mesure radar. La comparaison des résultats obtenus avec ceux d'un générateur plus classique confirme l'intérêt de cette nouvelle approche.

Mots clés : Hydrométéorologie - Granulométrie - Pluviomètre - Radar - Microphysique - Précipitation - Disdromètre - Echantillonnage.

Abstract

Microphysical analysis of rain at the ground : measurements with an Optical Spectro Pluviometer, statistical methods of spectral analysis, and numerical simulation.

Characterization of spatio-temporal variation of rain is an important step in the study of the water cycle. Drop size distribution information is commonly used by atmospheric physicists and specialists of telecommunication. It is also an important variable for radar rainfall measurements, and thus there is a growing interest of hydrologists in the accurate determination of the drop size distribution. This work is based on measurements and analysis of rain at the scale of the raindrop.

We precisely study and qualify the Optical Spectro Pluviometer used to measure raindrop size distribution.

By studying the variability of the raindrop size distribution we examine sampling problems. We distinguish two results : i) sampling effect is insufficient to explain fluctuations of the drop size distribution. ii) some kind of rainfall are associated with the lack of particular drop sizes (gaps in the drop size distribution).

In the last part of this document, the technique of principal component analysis was used for the spectral analysis of the drop size distribution. This allows us to distinguish two kinds of dispersions from the mean drop size distribution : one is dependent on microphysical processes, and the second probably due to sampling is a random noise.

A drop size distribution generator has been proposed from this analysis. We have tested it in a numerical simulation of radar measurement. Comparisons of the results with a more classical generator confirm interest in this new approach.

SAIDI Samia

Cartographie des pluies extrêmes dans la région des Alpes Françaises en utilisant la topographie.

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.

27 Septembre 1996

Jury : Président : OBERLIN G.
Examineurs : BOIS Ph., MEUNIER M.
Rapporteurs : GRESILLON J.M., LABORDE J.P.

Résumé

Les paramètres caractéristiques des pluies extrêmes sont d'une grande importance pour l'étude des crues brutales et catastrophiques qui peuvent se produire sur bon nombre de petits bassins versants du Massif Alpin Français.

L'estimation des valeurs de précipitations sur un site non surveillé est particulièrement difficile lorsque peu de stations sont disponibles et l'effet orographique est grand. Cette étude consiste alors en une cartographie des paramètres statistiques des pluies extrêmes en appliquant le modèle AURELHY dans lequel on fait intervenir la topographie locale par une régression.

Les cartes finales sont obtenues par l'addition du résidu interpolé aux points de la grille du modèle numérique de terrain aux valeurs de l'équation de régression.

Mots clés : Hydrométéorologie ; Précipitations extrêmes ; Relief ; Cartographie ; Alpes Françaises ; Hydrologie.

Abstract

Cartography of extreme precipitation in the French Alps region using topography.

Characteristic parameters of extreme rainfalls are very important for the study of extreme flood events which can be produced on several little catchments situated in the French Alps.

To estimate precipitation at an unmonitored site is particularly difficult when few stations are available and orographic effect can be large. This study consists in the cartography of statistical parameters of extreme rainfalls using the AURELHY model in which we bring in the local topography by a linear regression and analyse mathematically (kriging) the regression residuals.

The final cards are obtained by adding up the interpolated residuals at the points of a digital land model with the regression equation.

CAUDAL Sophie

« Expérimentation Marseille 92-93 » Mesure des précipitations en hydrologie urbaine à l'aide d'un radar bande X : le relief comme cible utile pour l'étalonnage et la correction d'atténuation, tests de cohérence des données issues des divers capteurs disponibles.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I..

22 Octobre 1996

Jury: Président : CHOLLET J.P.

Examineurs : CHEZE J.L., DELRIEU G., DESBORDES M., SOTTY J.M.

Rapporteurs : MARLOUG M., SAUVAGEOT H.

Résumé

La mesure en temps réel et la prévision à courte échéance des précipitations sont des préoccupations quotidiennes pour une ville comme Marseille où le risque hydrologique est élevé (régime des précipitations, forte imperméabilisation des sols, relief marqué). L'expérience « Marseille 92-93 » a été menée dans le but d'améliorer les techniques de mesure des pluies aux échelles de temps et d'espace de l'hydrologie urbaine. Ainsi, un radar de configuration légère en bande X a été installé à proximité de la ville pour un raffinement local de la mesure en complément du réseau de pluviographes de la ville de Marseille et du radar bande S de Nîmes (réseau ARAMIS de Météo France). Cet appareil, petit et moins coûteux que les appareils conventionnels est cependant sensible au problème de l'atténuation. Dans ce travail qui contribue à une meilleure définition des conditions d'utilisation de ce radar, nous avons tenté de tirer le meilleur profit du signal rétrodiffusé par les montagnes pour améliorer le traitement des deux erreurs prépondérantes : l'erreur d'étalonnage et l'atténuation. Ainsi, nous avons montré que, par temps sec, ce signal permet de contrôler la *stabilité de l'étalonnage*. Par temps de pluie, l'étude de la contrainte d'atténuation totale nous a permis de proposer une méthode d'*étalonnage absolu* du radar ne dépendant que des mesures de cet appareil. La comparaison des résultats de cette approche avec celle, classique, reposant sur l'utilisation des mesures pluviographiques en confirme l'intérêt. De plus, trois algorithmes de *correction d'atténuation* ont été mis en oeuvre, comparés et validés à l'aide de mesures pluviographiques intégrées à différentes échelles spatiales et temporelles. Grâce à la maîtrise de la paramétrisation de ces algorithmes, nous avons montré que les diverses formulations (faisant ou non un usage explicite des mesures d'atténuation totales déduites du relief) conduisent à des résultats équivalents et satisfaisants pour la gamme d'atténuation observée.

Mots clés : Mesure des précipitations ; Radarmétéorologie ; Hydrologie urbaine ; Relief ; Etalonnage ; Atténuation ; Algorithmes.

Abstract

« Marseille experiment 92-93 ». Rainfall measurement for urban hydrology with an X-band radar : Use of mountain returns for calibration and attenuation correction, coherence of data from available captors.

Rainfall measurement and short term weather forecast are preoccupations for the city of Marseille which is prone to potentially severe hydrological hazards due to the precipitation regime, urbanisation and marked relief. The Marseilles Hydrometeorological Experiment aims at improving rainfall measurement techniques at the space and time scales useful for urban hydrology applications. Therefore, a Light Configuration Radar (wavelength 3.2 cm) was set up in the proximity of the city in complement with the raingauge network belonging to the city of Marseille, and with the closest ARAMIS S-band radar located in Nîmes. This captor is small and cheapest than conventional radar but still sensible to the problem of attenuation by rainfall. This contribution aims to improve the definition of utilisation conditions of the Light Configuration Radar, and we have used the mountain returns to correct the two mains errors : calibration error and attenuation. Then, we have shown, in dry condition, the stability of calibration. In rainy conditions the study of the Path Integrated Attenuation constraint equation enable us to propose a method for the calibration, exclusively based on the radar data. Comparison of these results with those obtained with classical method using raingauge data confirms the interest of this approach. Three attenuation correction algorithms was tested, compared and validated with raingauge data at differents space and time scales. A good parametrisation leads to the convergence of estimations for the range of PIA observed.

DOLCINE Leslie

Prévision quantitative à très courte échéance de la pluie. Modèle global adapté à l'information radar.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.
(Thèse en collaboration entre le LTHE et le LCPC-Nantes).
3 avril 1997

Jury : Président : CHOLLET J.P.
Examineurs : CREUTIN J.D., ANDRIEU H., CHAUMERLIAC H.
Rapporteurs : LEVIANDIER Th., TESTUD J.

Résumé

Une prévision quantitative à très courte échéance des précipitations peut contribuer à améliorer la prévision des crues des bassins versants à risque, ou la gestion des systèmes d'assainissement pluvial urbain. Cette prévision est réalisée, jusqu'à présent, par simple advection des observations radar, et suppose que la dynamique du nuage précipitant est stationnaire. L'utilisation multi-site des radars permettant une exploration volumique de l'atmosphère, la possibilité de disposer en temps réel de données météorologiques au sol et de données satellite, ont favorisé le développement d'une nouvelle approche de prévision quantitative de la pluie. Dans cette approche, le nuage précipitant est conceptualisé comme une colonne atmosphérique dont le temps de réponse dépend des paramètres microphysiques des précipitations et du profil vertical de contenu en eau précipitante de cette colonne. Les équations régissant l'évolution de cette colonne atmosphérique sont déduites des équations de continuité pour l'air, la vapeur d'eau, l'eau nuageuse et l'eau précipitante ainsi que des lois de la thermodynamique et d'une microphysique simplifiée.

Des améliorations graduelles ont été introduites dans le modèle global de départ qui se ramenait à l'équation d'évolution de l'eau liquide précipitante. Une équation supplémentaire pour la description de la vitesse verticale et la prise en compte du renforcement orographique de la pluie très importante en région montagneuse a été ajoutée. Ce modèle, appliqué à des événements pluvieux de l'expérience radar des Cévennes et à des événements pluvieux simulés, s'est montré supérieur dans la majorité des cas à deux méthodes de prévision plus simples : les méthodes de persistance et d'advection. Une analyse de sensibilité a montré l'importance de la vitesse verticale et la faible influence des données météorologiques au sol sur les résultats du modèle. La qualité de la prévision dans l'approche globale dépend de la vision tridimensionnelle du champ pluvieux, de la variabilité de la pluie et de la validité des hypothèses d'évolution. Pour une meilleure description des champs pluvieux fortement variables, la formulation du modèle global a été étendue afin d'inclure l'eau nuageuse. L'intérêt potentiel de ce modèle a été démontré par comparaison à un modèle microphysique. L'estimation de l'eau nuageuse reste cependant un préalable à l'évaluation de cette nouvelle formulation sur des données réelles.

Mots clés : Hydrométéorologie, radar, satellite, prévision de pluie, modèle global.

Abstract

Short term rainfall forecast. Global model driven by radar data.

The availability of a short-term rainfall forecast could significantly improve flood warning of short response time catchments and management of urban sewer systems. So far, simple extrapolation methods have been used for performing this very short term rainfall forecast. In the area of rainfall forecasting estimation and modelling, the ability to sample rainfields at high space and temporal resolutions provides a means of significantly improving the description of rapidly changing rainfields. Ground meteorological stations transmit observed data in real time, multi-scan radar and satellite observations describe the current rainfall state. These data have assisted the development of a renewed approach of rainfall forecasting. In this global approach, the precipitating cloud is conceptualised by an atmospheric column of which the response time depends on microphysical parameters and the vertical profile of the rainwater content.

Gradual improvements have been introduced in the initial model of which the governing equation describes the vertically integrated rainwater content evolution. An equation describing the updraft velocity and the rainfall enhancement due to orographic influence has been added. This modified model version is evaluated using observed rain events of the 86-88 Cévennes radar experiment and rain events simulated by a microphysical model. These applications show that the global model performs better than two simple methods : persistence and extrapolation for forecasting lead-time less than about thirty minutes. The quality of the rainfall forecast depends on the multi-scan radar observation of rainfields, the rainfall variability and the validity of the assumptions founding the model. For improving description of rapidly changing rainfields, a general formulation of the global model including an explicit representation of the cloud water is proposed. The potential interest of the new model formulation is showed using simulated data obtained from outputs of a microphysical model.

LECOCQ Jean

Validation d'un radar météorologique bande C pour l'étude des précipitations sahéliennes. Problème de mesure et propriétés d'échantillonnage spatial.

.Docteur de l'Université Montpellier II « Sciences et Techniques du Languedoc»

(Thèse préparée au LTHE en collaboration avec l'Orstom-Montpellier).

4 avril 1997.

Jury : Président : DESBORDES M.
Examineurs : DELRIEU G., LEBEL Th.
Rapporteurs : ROUX F., BEN MOHAMMED

Résumé

La région du Sahel souffre d'un déficit important de précipitation depuis une vingtaine d'années. Dans ce contexte, l'expérience EPSAT-Niger en général, et sa composante radar en particulier, fournissent un jeu de données apte à caractériser la répartition spatio-temporelle des pluies et à étudier les complexes convectifs proches du type ligne de grains se propageant à travers la bande sahélienne. L'intérêt majeur du radar météorologique se situe dans la couverture spatiale continue qu'il procure.

Pour utiliser quantitativement les champs de réflectivités acquis avec le radar bande C de Niamey, il est nécessaire de définir une ou des procédures de correction, la méthode classique consistant à ajuster le radar sur une moyenne apportée par le réseau sol. Cette approche est développée ainsi qu'une seconde méthode utilisant un algorithme itératif afin de détordre le signal mesuré du phénomène d'atténuation de l'onde radar. L'algorithme utilisé se montre cependant très sensible aux différents paramètres mis en jeu.

Outre ces difficultés de mesure, le radar météorologique fournit des grandeurs intégrées dans l'espace or ses propriétés d'intégration varient en fonction de la distance. Pour caractériser ce phénomène une étude est menée sur la variabilité des champs d'intensité d'abord à l'aide d'un simulateur puis sur les données réelles. Après l'étape préalable de validation, la variabilité des images simulées n'exhibe aucune tendance. Par contre, les données réelles montrent une diminution de la variabilité des champs d'intensité à mesure que la distance augmente.

Les images radar collectées durant la campagne EPSAT-Niger peuvent être utilisées pour déterminer la vitesse des systèmes précipitants, estimer les précipitations ou bien évaluer la distribution climatologique des intensités. En particulier, les performances du radar et la sensibilité aux traitements de la mesure sont testées sur la détermination des lames d'eau à différentes échelles d'espace et de temps. Les résultats soulignent l'importance des corrections à apporter aux données radar brutes, sans qu'aucun des protocoles de correction examinés n'apparaisse nettement supérieur aux autres.

Mots clés : Radar météorologique, Intensité des précipitations, Mesure des Précipitations au Sahel, Atténuation des ondes radar, Lames d'eau spatial, Echantillonnage spatial, Structure spatio-temporelle des précipitations.

Abstract

Validation of a C-band weather radar to study precipitations in Sahelian areas. Measurement problems and spatial sampling.

Sahel has suffered from a lack of precipitation for more than twenty years. In this context, the EPSAT-Niger experiment and particularly the radar part, provides a data set which can help characterize the spatial and temporal distribution of precipitation and study the convective complexes closed to squall lines. These propagate from east to west across the sahelian areas and can be well-observed by weather-radar due to their large and continuous spatial coverage.

To use quantitatively the reflectivities fields collected with Niamey C-band radar, one or more corrections procedures have first to be defined first. The classical methods is an ajustement of the radar measurements on the mean given by a gauges network. This approach is developped and a second method using step-by-step algorithm to unlay the measured signal from the attenuation phenomena which affects the radar wave. The algorithm used is very sensitive to the different selected parameters.

Apart from these measurement difficulties, the weather radar provides spatially integrated reflectivities but its integration properties change with distance. To characterize this phenomena, a study is conducted on the variability of intensities fields first owing to a simulator then on the real data. After a prior validation, the simulated pictures show no tendency whereas the real fields exhibit a decrease on the intensities variability with distance.

The radar pictures collected during EPSAT-Niger experiment can be used to determine the speed of convective complexes, to estimate the precipitation or evaluate the climatological intensities distribution. Particularly, the radar performances and sensitivity of the measurement treatments are tested on the determination of spatial means on different space and time scales. The results stress on the importance of the correction of raw data fields, and no examined correction procedure appears clearly better than the others.

GUILBAUD Sophie

Prévision quantitative des précipitations journalières par une méthode statistico-dynamique de recherche d'analogues. Application à des bassins du pourtour méditerranéen.

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble

30 Octobre 1997

Jury : Président : HERAULT J.
Examineurs : BOVO S., LLASAT-BOTIJA M., OBLED Ch.
Rapporteurs : DUBAND D., BOUGEAULT Ph.

Résumé

La méthode utilisée est une méthode statistique reliant les pluies à la circulation atmosphérique issue d'un modèle météorologique. Elle est basée sur une technique de recherche d'analogue : des situations météorologiques similaires à la situation du jour sont extraites d'un fichier historique, contenant les champs de géopotentiels 1000 et 700 mb à 0 h, condensés par Analyse en Composantes Principales. Puis, la prévision des précipitations pour 24 h est effectuée à partir des précipitations observées lors des journées analogues. Cette méthode a été élaborée par le Service Ressources en Eau d'EDF dans les années 70 sur des bassins montagneux français, pour assurer la sécurité de ses installations en cas de crue.

Cette étude a permis d'améliorer les performances de la méthode en reconsidérant les prédictors et la sélection des analogues qui était faite avec une distance euclidienne sur les 6 premières composantes principales (CP) du champ 700 mb. Tout d'abord, on a vu qu'il fallait utiliser les CP des 2 champs (700 et 1000 mb) à 0 et 24 h, et pas seulement les 6 premières. Ainsi une nouvelle distance, élaborée bassin par bassin, a apporté une nette amélioration. Puis, un autre critère, le score de Teweles-Wobus, spécialement construit pour des champs en points de grille, a été utilisé pour sélectionner les analogues, ce qui a donné des résultats supérieurs à ceux obtenus avec la distance euclidienne. Ensuite, sur divers prédictors synoptiques testés, seule l'utilisation de l'humidité en basses couches s'est révélée prometteuse. Quant à l'utilisation d'information locale, en deuxième niveau de sélection, elle est intéressante pour des bassins situés dans un rayon d'influence d'environ 200 km.

Enfin, une validation des meilleurs essais sur les 3 derniers automnes a confirmé les résultats obtenus en calage. Pour terminer, le modèle amélioré a été testé sur des bassins espagnols et italiens à risque.

Mots clés : Prévision météorologique ; Précipitation journalière ; Situations analogues ; Critère de proximité ; Reconnaissance des formes ; Variables synoptiques ; Episodes convectifs méditerranéens.

Abstract

Daily quantitative precipitation forecast using a statistical and dynamical method of analogues search. Application to Mediterranean catchments.

The method used is a statistical method, linking up rainfall and large-scale atmospheric circulation obtained from meteorological models. It is based on an analogue sorting technique : meteorological situations, similar to the current one, are extracted from an historical data file, constituted of 700 and 1000 mb geopotential fields at 0 h, condensed by a Principal Component Analysis. Then, precipitation forecast is estimated, for the next 24 h, from the observed analogues precipitations. This method has been initially developed by the Water Resources Department of Electricité de France in the 70's for the hydrometeorological management of hydropower and risk prevention of some French mountainous catchments.

This study improved the capacities of the method, by reconsidering the predictors and the analogue selection. The latter was made using an Euclidean distance in the space of the 6 first Principal Components (PCs) of 700 mb geopotential field. At first, the choice of the PCs used in that distance has been optimized for each catchment. It has been proved that PCs of the 2 fields (700 et 1000 mb), at 0 and 24 h, have to be introduced, and not only the 6 first. And the new distance gave significant improvements. Then, another criterion, the Teweles-Wobus score, specially designed for fields in gridded format, has been used to sort out the analogues. After optimization of the grid, results were better than those obtained by using the Euclidean distance. In a third step, new large-scale predictors have been tested. But only the use of humidity at low layers were promising. And the use of local information, in a second level of selection, gives encouraging results for catchments located in a range of about 200 km.

Finally, a validation of the improved procedure for the 3 last autumns has confirmed the results of the calibration. The method and its different improvements have also been tested on some Spanish and Italian high-risk catchments.

LEBEL Thierry

Variabilité des pluies au Sahel : Observation, estimation et modélisation.

Présentation des travaux en vue de l'*Habilitation à diriger des recherches* - Institut National Polytechnique de Grenoble.

5 Décembre 1997

Jury : Président : OBLED Ch.
Rapporteurs : CREUTIN J.D., DESBOIS M., GOUTORBE J.P.
Examineurs : AFOUDA A., SOLER P.

Résumé :

Le Sahel connaît depuis un quart de siècle une sécheresse prononcée et durable, dont les causes et les effets sont encore mal connus. L'absence de mesures adéquates explique en partie cette méconnaissance. Dans le cadre de l'expérience EPSAT-Niger, un dispositif de mesure intensif a en conséquence été mis sur pied à la fin des années 80, pour permettre de mieux cerner les caractéristiques essentielles de la pluviométrie sahélienne, aux différentes échelles pertinentes pour les agronomes, hydrologues, météorologues et modélisateurs du climat.

Les travaux présentés dans ce mémoire constituent une première synthèse des analyses réalisées sur les données acquises lors de cette expérience entre 1990 et 1995. On montre en particulier comment la vision obtenue par des observations à haute résolution spatiale et temporelle complète celle obtenue à partir des réseaux opérationnels, dont la résolution est faible. Des applications dans le domaine des algorithmes d'estimation et de la modélisation des régimes pluviométriques sont également décrites.

ANDRIEU Hervé

Interprétation de la mesure radar météorologique pour l'hydrologie. Modélisation des bassins versants urbanisés.

Présentation des travaux en vue de l'*Habilitation à diriger des recherches* - Institut National Polytechnique de Grenoble.

12 Janvier 1998

Jury : Président : OBLED Ch.
Rapporteurs : DESBORDES M., POCHAT R., TESTUD J.
Examineurs : CREUTIN J.D., ROUDIER J.

Résumé

La première partie de la présentation traite de l'utilisation hydrologique du radar météorologique. Dans le domaine de la mesure de la pluie par radar, l'accent est mis sur la mise au point de méthodes destinées à détecter et ensuite de corriger certaines des erreurs qui perturbent la qualité de la mesure radar. La prévision de la pluie à très courte échéance est ensuite abordée par l'étude d'un modèle global représentant l'évolution de l'eau liquide d'une colonne atmosphérique capable de tirer parti de données radar volumiques.

La seconde partie traite de la transformation pluie-débit en milieu urbanisé qui est étudiée en conjuguant le suivi expérimental de longue durée de petits bassins versants et une modélisation à base physique destinée à apprécier l'importance des différents processus participant à la formation des débits.

VIGNAL Bertrand

Application d'une méthode de résolution de problèmes inverses à la correction d'erreurs affectant la mesure de pluie par radar. Cas des Profils Verticaux de Réflectivité et de l'atténuation.

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble

(Thèse en collaboration entre le LTHE et le LCPC-Nantes)

27 Février 1998

Jury : Président BOIS Ph.
Examineurs : ANDRIEU H., LAGABRIELLE R., CREUTIN J.D.
Rapporteurs : AMAYENC P., CROCHET M.

Résumé

Comme beaucoup d'instruments de télédétection, un radar météorologique ne mesure pas directement la variable d'intérêt, l'intensité pluvieuse, mais une variable qui lui est liée, la réflectivité radar. Une image de réflectivité radar ne constitue qu'une perception imparfaite du champ pluvieux réel. La réflectivité radar peut, cependant, être liée à l'intensité pluvieuse à l'aide d'un modèle théorique prenant en compte les phénomènes physiques susceptibles d'affecter la mesure radar et les caractéristiques du faisceau de mesure. L'intensité pluvieuse doit alors être déduite des mesures radar connaissant ce modèle théorique. Il n'y a alors pas de solution analytique permettant d'obtenir l'intensité pluvieuse. Il s'agit d'un problème inverse pouvant être résolu à l'aide d'une méthode de résolution adaptée.

Cette étude présente l'application d'une méthode de résolution de problème inverse pour corriger l'influence de deux des plus importantes sources d'erreur affectant la mesure de pluie par radar : l'hétérogénéité de la réflectivité avec l'altitude et l'atténuation des ondes radar par les précipitations. Pour l'hétérogénéité de la réflectivité avec l'altitude, la correction des mesures radar requiert qu'un Profil Vertical de Réflectivité (PVR) ait été déterminé. On montre que l'évolution en fonction de la distance des rapports de mesures radar enregistrées à différents angles de site est une signature du PVR. L'inversion du modèle liant le PVR à cette signature permet d'identifier le PVR associé à des courbes de rapports mesurées. A courte longueur d'onde, la restitution des intensités pluvieuses à partir des mesures de réflectivités radar nécessite la prise en compte de l'atténuation dépendant des intensités pluvieuses le long du trajet radar. Les méthodes de correction d'atténuation classiques peuvent devenir instables en présence de fortes atténuations ou lorsque le radar n'est pas parfaitement calibré. L'estimation des intensités pluvieuses peut être formulée comme un problème inverse, cette approche permettant d'obtenir, dans la plupart des cas, une solution stable et robuste.

Mots clés : Hydrométéorologie, radar, problèmes inverses, mesure des précipitations, Profil Vertical de Réflectivité radar, atténuation.

Abstract

Use of an inverse method to correct radar rainfall measurements. Cases of Vertical Profiles of Radar Reflectivity and Attenuation.

As most of remote sensors, a weather radar do not measure the variable of interest : rainfall intensity but a related variable : radar reflectivity. In effect, the image of radar reflectivity constitutes an unperfect representation of the real field of rainfall intensity. Fortunately, radar reflectivity can be related to rainfall rate by a theoretical model which depends on the physical processes liable to affect the radar measurements and on the radar beam characteristics. Then, the estimation of rainfall intensity consists of retrieving rainfall intensities being given reflectivity measurements and the model relating reflectivity to intensity. But there is no analytical solution allowing to obtain rainfall intensity. We are faced to inverse problems which can be solved using an inverse method.

The study presents the application of an inverse method to the correction of two important sources of errors affecting radar measurement of rainfall : vertical profiles of relectivity (VPR) and attenuation. In the case of VPR, correction of radar measurements requires that the VPR has been previously determined. An important stage consists in determining the VPR. It is shown that the evolution versus distance of ratios of radar measurements at different elevation angles constitute a signature of this VPR. The use of an inverse method allows to identify the VPR associated to observed ratio curves. At short wavelenghts (X and C-bands) the retrieving of rainfall rate from reflectivity measurements requires to take into account the attenuation which depends on rainfall on the radar beam path. Classical correction methods can become unstable in presence of a strong attenuation or if the radar is not perfectly calibrated. The estimation of rainfall intensities can be formulated as an inverse problem, this approach allowing to obtain in most of the situations a stable and robust solution.

4 - HYDROLOGIE DE SURFACE

Personnels impliqués

Nom	Statut	% temps	Remarque
Permanents			
Philippe BELLEUDY	PAST/INPG-LHF (50 %)	25	depuis le 1/09/97
Philippe BOIS	PR/INPG	40	
Lucien FELIX	AI/UJF (50%)	5	départ à la retraite le 1/12/95
Jean-Michel GRESILLON	MCF/UJF	100	départ PR Bordeaux le 30/6/95
	PR/INPG	90	depuis le 1/09/97
Randel HAVERKAMP	DR/CNRS	20	
Robert LATY	IE/INPG	100	depuis le 1/02/96
Dong NGUYEN	MC/INPG	100	
Charles OBLED	PR/INPG	80	Responsable Equipe
Alain POIREL	PRA/INPG-EDF (50 %)	25	du 1/10/94 au 30/09/97
Georges-Marie SAULNIER	CR/CNRS	100	recruté le 1/10/97
Jean-Michel TAUNIER	IE/CNRS	10	
Jean-Pierre VANDERVAERE	MC/UJF	80	recruté le 1/09/96
Doctorants			
Rachel DATIN	Allocataire MENRT	100	depuis le 1/10/95
Jacques DE SAINT SEINE	Doctorat : 12/04/95	-	Ingénieur CETE
Katia DUROT	Allocataire MENRT	100	depuis le 1/10/96
Françoise LE MEILLOUR	Doctorat : 12/01/96	-	Ingénieur bureau d'études
Florentina MOATAR	Doctorat : 04/12/97	-	Post-doc LTHE/EDF
Georges-Marie SAULNIER	Doctorat : 15/03/96	-	Post-doc Univ. Copenhague
Eric SAUQUET	Allocataire CEMAGREF	100	depuis le 1/12/96
Anita SCHOBER	Doctorat : 22/03/96	-	Post-doc EDF
Amar TAHA	Doctorat : 12/05/95	-	Enseignant en Syrie
Pascal VINE	Doctorat : 17/12/97	-	Enseignant ENGREF
Christian ZAMMIT	Allocataire MENRT	100	depuis le 1/10/95

OBJECTIF

L'objet de recherche est le "bassin versant", ou un sous-ensemble de celui-ci. Sa taille peut varier du talweg élémentaire de 0,1 à 10 km², jusqu'au grand bassin de 10 000 km². Néanmoins, l'essentiel des activités de l'Equipe "*Hydrologie de surface*" concerne des bassins de 10 à 1000 km² situés préférentiellement en **moyenne montagne** dans le Sud-Est de la France et dans la zone sahélienne.

Les processus générant les écoulements sont multiples et leur importance relative varie d'un bassin à un autre, et au sein d'un même bassin, selon l'intensité de l'épisode pluvio-neigeux qui les active et les conditions initiales, prévalant antérieurement.

Dans les versants, l'écoulement de l'eau est au minimum bidimensionnel. Ils comportent un ou plusieurs aquifères, qui peuvent être pérennes ou temporaires, et ils sont en général connectés à un réseau hydrographique qui draine les différentes composantes des écoulements surfaciques ou subsurfaciques.

Le réseau hydrographique, notamment dans les grandes rivières, est un sous-système qui a sa propre problématique, et notamment ses techniques instrumentales, pour la mesure du débit mais aussi des flux associés, en particulier des sédiments. C'est aussi un milieu où la vie végétale et animale dépend à la fois de la disponibilité et de la qualité de l'eau.

L'Equipe s'efforce de répondre à la fois aux besoins en **recherches cognitives** sur le fonctionnement de ces milieux en interaction avec l'atmosphère et les eaux souterraines plus profondes et aux besoins **en ingénierie hydrologique** pour l'aménagement et la gestion des ressources en eau et celle des **risques associés**.

Sur la période de référence, l'ensemble de ses activités peut être décliné en 4 axes :

- *L'hydrologie à l'échelle du versant* avec pour objectif la compréhension (par l'observation et l'expérimentation) et la représentation (par la modélisation mécaniste) des processus physiques mis en jeu : devenir des précipitations à la surface et dans les couches superficielles du sol, rôle de la végétation, mécanismes de génération des écoulements et transit vers la rivière.
- *La modélisation hydrologique du bassin versant* qui consiste à représenter et paramétriser les processus dans un domaine 3D, l'accent étant plus particulièrement mis sur la prise en compte de la topographie, de la variabilité spatiale des entrées (pluie ou neige) et/ou des caractéristiques physiques du milieu.
- *L'hydraulique des chenaux* avec pour objectif l'étude de la propagation des écoulements dans les réseaux hydrographiques en liaison avec le transport solide et la qualité chimique et biologique des eaux.
- *L'ingénierie hydrologique* qui consiste au développement et/ou l'amélioration (grâce aux recherches "amont"), de méthodes opérationnelles susceptibles d'être activées en temps réel et à leur mise à disposition de l'Ingénierie, notamment celle des **Risques Hydrologiques**. Cela implique des recherches algorithmiques sur le traitement des incertitudes, les techniques de filtrage et de prévision statistico-dynamique.

Tenter d'atteindre ces objectifs nécessite également des développements méthodologiques et métrologiques importants et difficiles dans la mesure où il s'agit de **capter des phénomènes naturels parfois extrêmes et souvent fugaces**.

MOYENS ET METHODES

Au plan général, la démarche scientifique adoptée est fondée sur un bon équilibre entre les **études physiques** sur le terrain, **l'exploitation de bases de données**, soit mises à notre disposition (dans le cadre de collaborations structurées), soit acquises et élaborées par l'Equipe et les **modélisations déterministes ou stochastiques développées** (ou adaptées) en parallèle, l'ensemble s'enrichissant mutuellement.

En fonction de la problématique, elle s'appuie sur plusieurs sites (ou chantiers) assurant à la fois et pour la plupart d'entre eux la quadruple fonction de **Laboratoire** de terrain (pour des expérimentations "fines" de caractérisation in-situ et de compréhension de certains processus élémentaires), **d'observatoire** du milieu (acquisition par capteurs au sol ou par télédétection de séries spatio-temporelles de précipitations, de débits, de la qualité physico-chimique des eaux, cartographie des états de surface, et d'occupation des sols, etc...), de **site de validation** de modèles et de **lieu de formation** à et par la recherche.

Ainsi, sur la période concernée par ce rapport, l'ensemble de notre activité s'est développé autour des points d'appui suivants :

- pour les études de processus et les modélisations cognitives associées (à l'échelle du versant et du bassin versant), **les bassins du Réal Collobrier** (70 km², situé en zone méditerranéenne) et plus particulièrement le sous-bassin des Maurêts (8,4 km²) (collaboration : CEMAGREF/Aix en Provence, Laboratoire d'Hydrogéologie/Avignon).
- **le bassin nivo-glaciaire de la Sarennes** (28 km²) pour évaluer l'intérêt hydrologique de la chaîne SAFRAN-CROCUS et tester la sensibilité des écoulements à des entrées spatialement distribuées (collaboration : CEN-Météo France ; CEMAGREF/ Nivologie de Grenoble, EDF/DTG).

On notera que ces deux bassins ont été récemment intégrés au **Service d'Observations Utilisées pour la Recherche en HYdrologie - SOURHY** - (animé au plan national par Ph. BOIS) du GIP "HydrOsystemes Continentaux" dans le 2ème et le 1er cercle, respectivement.

- les études relatives aux écoulements à surface libre (quantité, qualité) ont eu pour support expérimental :
 - **les stations hydrométriques de l'Isère/Domaine Universitaire de Saint Martin d'Hères** (collaboration : EDF/DTG) et du **Sonnant d'Uriage** (rivière drainant un bassin versant péri-urbain de l'agglomération grenobloise) dont l'équipement, le développement et le suivi sont réalisés par nos soins.
 - **des banques de données hydro-écologiques** pour la modélisation de la qualité physico-chimique de la Loire au droit du site nucléaire de Dampierre (collaboration : EDF/DTG-Grenoble et EDF/DER-Chatou).
- **le site atelier du bassin de l'Ardèche** pour les études de risques hydrologiques et le test en vraie grandeur d'un système couplé hydro-météorologique de prévision des crues (collaboration : EDF/DTG et Météo-France/CNRN-Toulouse et SCEN-Lyon Bron).
- Certaines métrologies ou méthodologies interprétatives développées au sein du Laboratoire ont également été mises en oeuvre sur d'autres sites :

- *français* (bassin de Draix, sous bassin du Laval ; collaboration : CEMAGREF-Grenoble).
- *sahéliens* (bassins de la Mare d'Oursi/Burkina Faso, en collaboration avec LCT-Montpellier et Orstom ; Bassin Thyssé Kaymor/Sénégal en collaboration avec Orstom)

pour évaluer leur pertinence dans différentes conditions contrastées.

RESULTATS

1. Hydrologie physique.

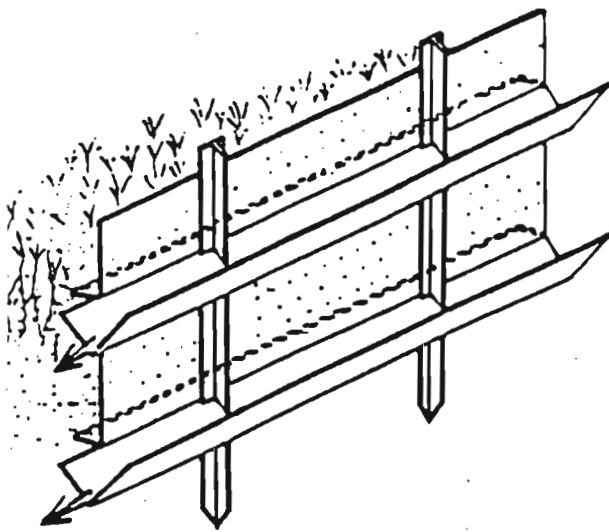
L'objectif poursuivi est la compréhension des mécanismes (préalable indispensable à la modélisation) qui interviennent lors de crues violentes (Quels sont les cheminements qui permettent aux précipitations de rejoindre la rivière ? Quelle est la fraction qui l'atteint à l'occasion d'épisodes importants ?) à l'échelle du bassin versant qui est celle adoptée pour leur prévision. La complexité du fonctionnement hydrologique d'un bassin et de sa réponse à des événements pluvieux intenses impose une analyse à une échelle spatiale plus réduite : *la parcelle ou le versant*. Ce dernier est défini comme une coupe des terrains représentative d'une bande de faible largeur (approche 2D dans un plan vertical) reliant une ligne de partage des eaux à un point du réseau hydrographique suivant la ligne de plus grande pente. Cette échelle est appropriée à l'analyse fine et la modélisation mécaniste du fonctionnement hydrologique, car elle permet d'exprimer la différence de conditions aux limites entre l'amont plutôt sec en général et l'aval plutôt humide à cause de la proximité de la rivière.

a) L'essentiel de l'activité expérimentale a été menée de façon lourde jusqu'en 1996, sur un versant sélectionné dans le sous-bassin végétalisé des Maurêts/Réal Collobrier et de façon plus légère sur un transect (sol érodé, quasiment nu) du bassin du Laval/Draix.

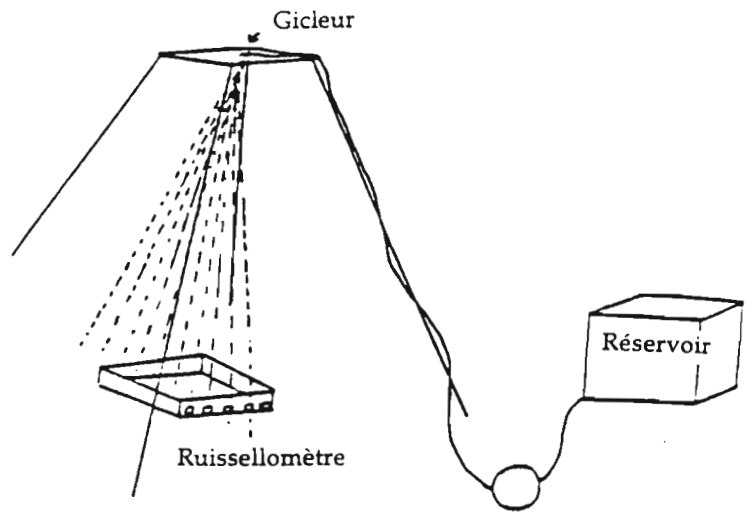
Outre un suivi hydrique régulier en plusieurs points par tensiométrie, réflectométrie temporelle (TDR) et piézométrie, les 2 versants considérés ont fait l'objet d'expérimentations spécifiques visant à en préciser le fonctionnement hydrodynamique et à mettre en évidence leur éventuelle spécificité.

L'implantation et l'automatisation d'un système de collecte des eaux de surface et de subsurface (voir figure HSURF-1), la réalisation d'essais de simulation de pluie (à l'aide d'un simulateur de type Orstom) avec/ou sans colorant, la détermination des caractéristiques hydrodynamiques des sols par infiltrométrie TRIMS et GrPI (voir contribution des Equipes TMP et HZNS) ont permis d'obtenir les résultats essentiels suivants :

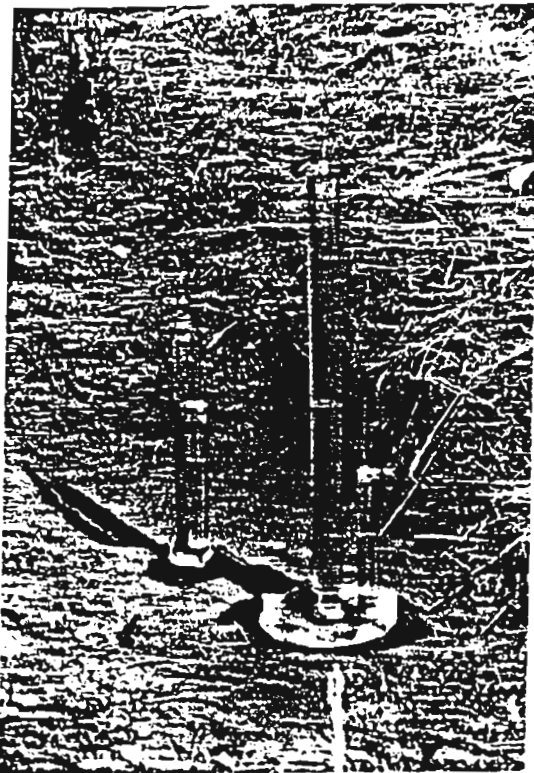
- *en présence d'une végétation importante (cas du versant des Maurêts)*
 - *à la surface du sol*, les écoulements **n'obéissent pas aux lois classiques de l'hydraulique à surface libre** des régimes laminaire de type Poiseuille ou turbulent de type Manning (voir figure HSURF-2, tirée de F. Le Meillour, 1996 ; Le Meillour et Grésillon, 1995).



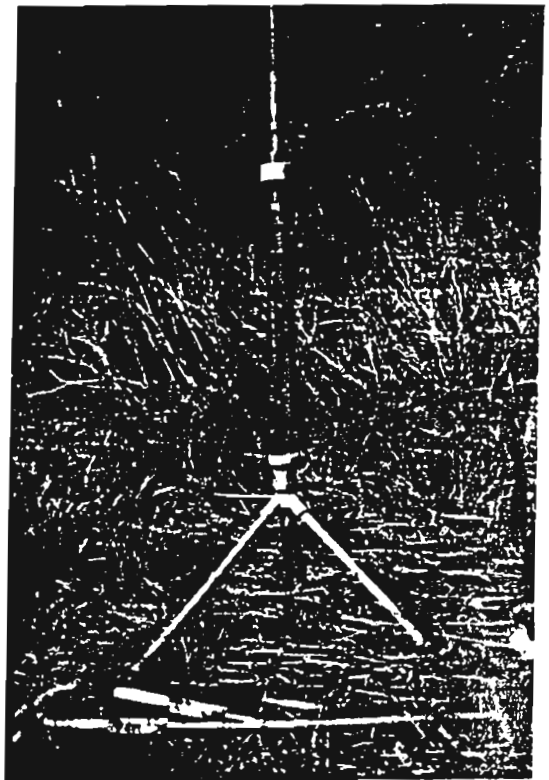
Dispositif de collecte des eaux.



Simulateur de pluie

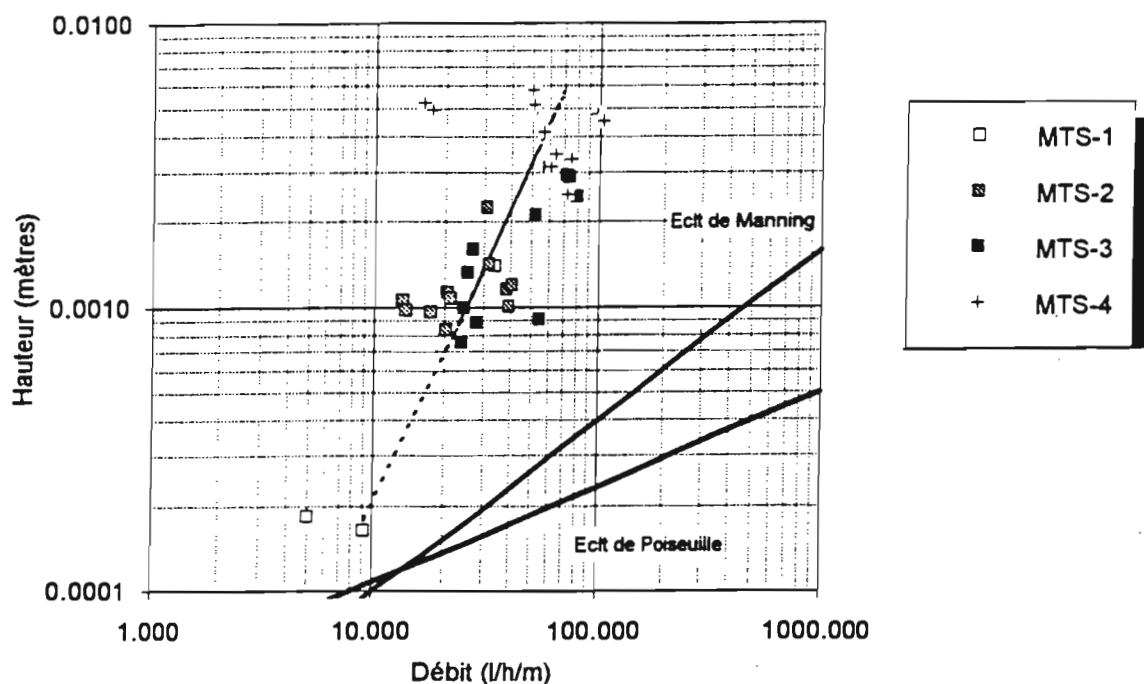


Infiltromètre TRIMS

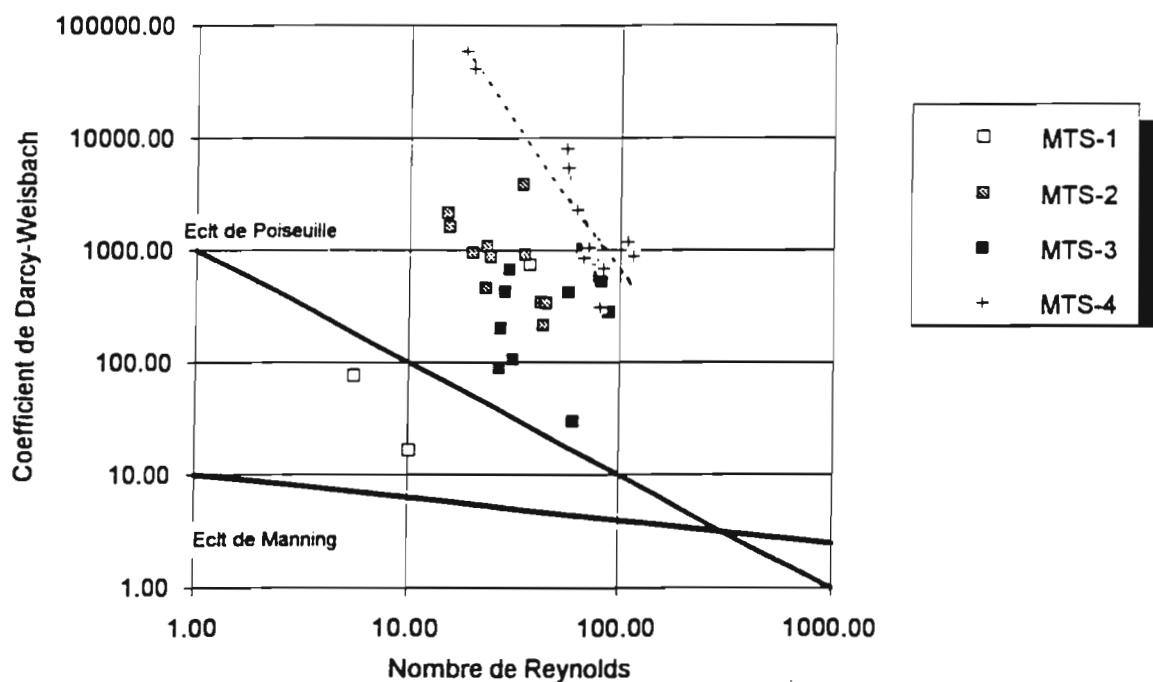


Perméamètre GrPi

Figure HSURF-1 : Quelques dispositifs métrologiques mis en oeuvre pour la caractérisation hydrodynamique des écoulements de versant.



Evolution de la hauteur d'eau en fonction du débit de ruissellement pour chaque parcelle. On a aussi tracé deux droites dont les pentes correspondent à un écoulement de Manning ($\alpha = 0,6$, turbulent) et de Poiseuille ($\beta = 0,33$, laminaire) respectivement.



Evolution du coefficient de Darcy-Weisbach en fonction du nombre de Reynolds pour chaque parcelle. Figurent aussi les droites dont les pentes correspondent à un écoulement de Manning ($\beta = 0,2$) et de Poiseuille ($\beta = 1$).

Figure HSURF-2 : Identification expérimentale de la loi d'écoulement sur le versant des Maurêts (Thèse de F. Le Meillour, 1996).

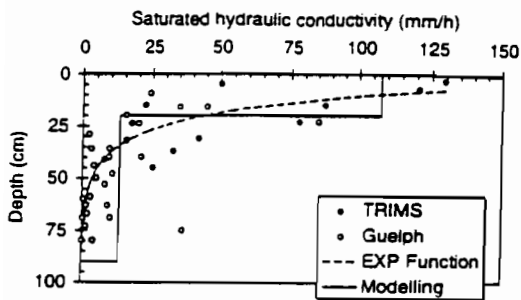


Fig. 1. Measured hydraulic conductivity as a function of depth.

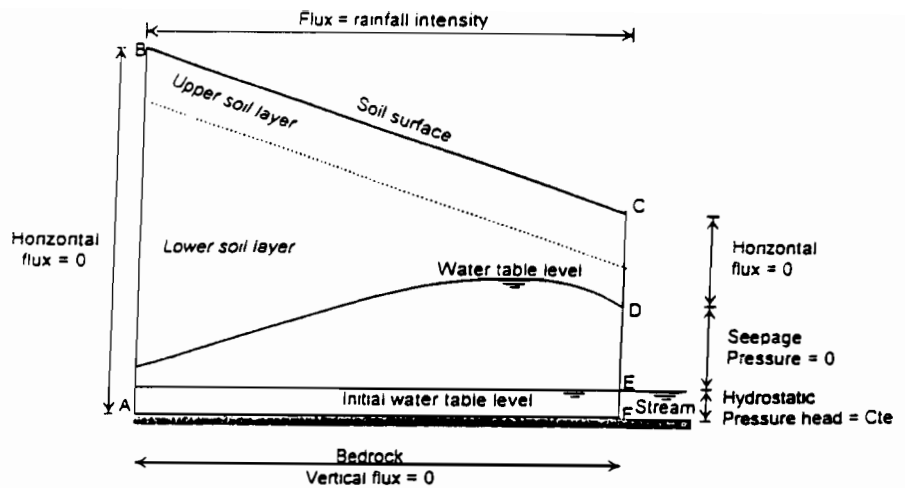


Fig. 2. Scheme modelled domain and the boundary conditions.

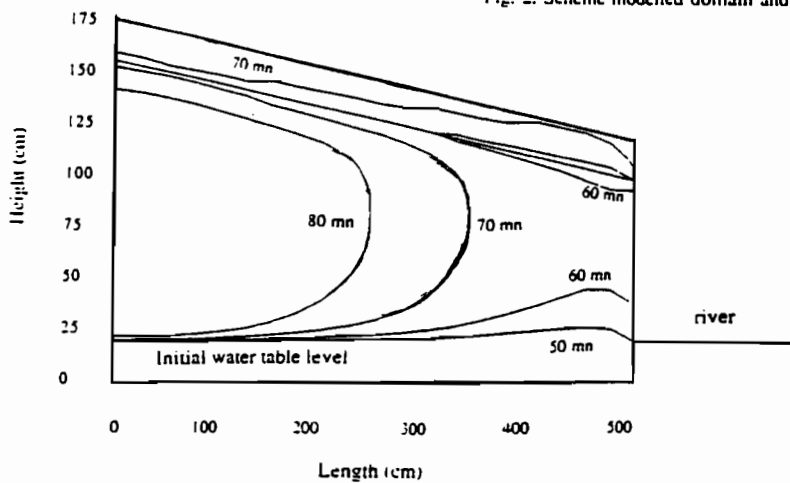


Fig. 3. Evolution of water table level for a rainfall of 60 mm h^{-1} during 1.5 h. The porosity and saturation hydraulic conductivity for the upper layer are higher.

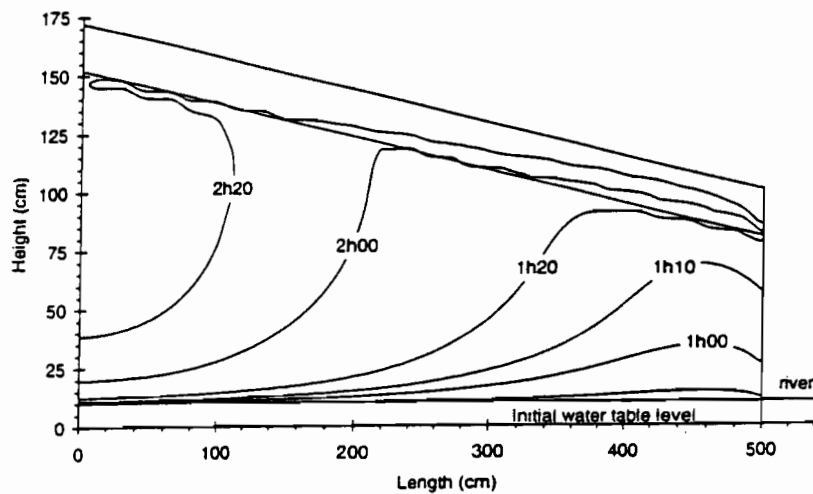


Fig. 6. Evolution of water table level for rainfall of 30 mm h^{-1} over 2.5 h.

Figure HSURF-3 : Modélisation numérique 2D des écoulements souterrains à l'échelle du versant (Taha, Grésillon, Clothier, 1997).

- *sous la surface, dans la litière* (de quelques centimètres d'épaisseur), les hypothèses d'écoulement turbulent plan uniforme semblent assez bien vérifiées. Les valeurs très élevées du coefficient de rugosité (Manning de l'ordre de 1) expliquent les retards importants observés entre la pluie et le débit en bas du versant.
 - *en-dessous de la litière*, les écoulements apparaissent darcéens avec toutefois des conductivités hydrauliques "latérales" environ 100 fois plus grandes que celles mesurées verticalement. Cette très forte anisotropie confirme leur caractère multidirectionnel et l'importance des flux subsuperficiels dans le sens de la plus grande pente.
 - la présence d'une macroporosité importante, d'origine essentiellement biologique est responsable d'écoulements préférentiels localisés en certains points de la surface.
 - une décroissance exponentielle de la conductivité hydraulique à saturation avec la profondeur (voir figure HSURF-3, tirée de Taha et col., 1997), validant ainsi l'une des hypothèses de base de TOPMODEL (voir plus loin).
 - une forte variabilité spatiale des propriétés de rétention de l'eau par le sol le long du versant conduisant à des capacités de stockage de 200 à 300 mm d'eau sur 1 m de profondeur avant que le bassin ne soit réellement contributif.
- *sur sol nu* (cas du versant du Laval) :
 - les hypothèses d'écoulement plan turbulent (avec des valeurs du coefficient de Manning plus faibles que précédemment (de l'ordre de 0,1) et voisines de celles données dans la littérature) semblent assez bien vérifiées pour le ruissellement de surface.
 - la faible capacité (mise en évidence par la détermination in-situ des courbes de pression capillaire en fonction de l'humidité) des couches superficielles du sol à emmagasiner l'eau (de l'ordre de 10 mm à 20 mm, Malherbe 1995), jointe à des coefficients de rugosité pas trop élevés expliquent l'activation hydrologique rapide du bassin à des épisodes pluvieux.

On notera qu'une étude très voisine, utilisant des méthodes comparables est actuellement menée sur un versant cultivé du bassin de Thyssé Kaymor/Sénégal par une équipe Orstom rattachée au LTHE (programme EMIRE de l'Orstom ; projet RIDES soutenu conjointement par PROSE et PNRH). Les premiers résultats sont fournis dans Estèves et Planchon (1998).

b) Les données acquises sur le versant des Maurêts ont servi de support au développement de deux modélisations : l'une concerne les écoulements souterrains et leurs effets sur les mouvements de nappe susceptibles d'alimenter la rivière (résolution de l'équation de Richards 2D), l'autre est relative aux écoulements de surface (équations de Barré de Saint-Venant 1D avec l'hypothèse de l'onde cinématique pour les faibles vitesses mises en évidence expérimentalement). Les résultats essentiels sont les suivants :

- *A proximité de la rivière, une nappe peut s'élever considérablement* à l'occasion d'une pluie importante, à condition que le sol soit déjà dans des conditions initiales humides (voir figure HSURF-3, tirée de Taha et col., 1997). Cette surélévation joue un rôle important pour deux raisons :
 - d'abord elle provoque une augmentation des gradients et donc des flux souterrains en direction de la rivière alimentant en partie la crue de cette dernière.

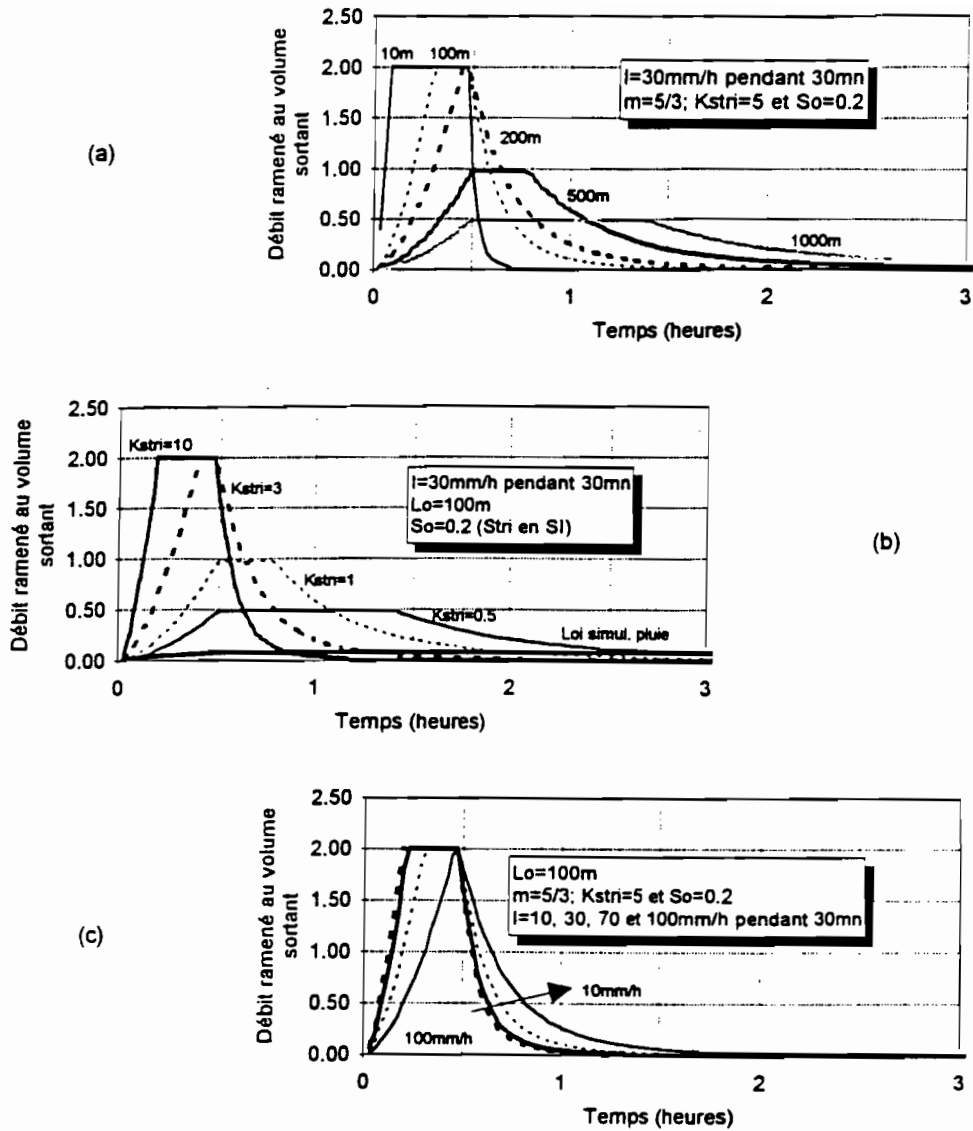


Figure 4-1: Evolution des hydrogrammes de versant ramenés au volume sortant dans le cas d'une zone saturée de longueur constante en fonction de:
 (a) la longueur du versant; (b) la loi de rugosité du versant; (c) l'intensité de pluie.
 (Les ordonnées sont en l^{-1}).

Figure HSURF-4 : Modélisation numérique de l'hydrogramme de versant (Thèse de F. Le Meillour, 1996).

- ensuite, si la surélévation de nappe est importante, elle sature la surface du sol et constitue ainsi des "aires saturées contributives" (confirmant ainsi les constatations expérimentales relatives à la concordance entre débit de la rivière et surélévation de la nappe). L'importance des aires saturées contributives s'avère sensible à la présence de la couche superficielle très perméable et "macroporeuse" (identifiée expérimentalement). Cette couche superficielle constitue un cheminement important pour l'eau vers la rivière. Pour des crues de moyenne importance, les écoulements souterrains et subsuperficiels peuvent représenter l'essentiel des apports. On notera que des suivis de la composition isotopique ($H_2^{18}O$) de la pluie et des eaux de crues, à l'échelle du bassin entier des Maurêts semblent confirmer ce mode de fonctionnement (Grésillon et col., 1997, Programme PNRN en collaboration avec Laboratoire d'Hydrogéologie-Avignon).
- *La modélisation des écoulements de surface et de subsurface sur le versant* tenant compte de l'existence d'une aire saturée au voisinage du réseau hydrographique a montré le rôle de trois variables sur l'hydrogramme unitaire en bas du versant, lors d'un épisode pluvieux (figure HSURF-4, tirée de la thèse de F. Le Meillour, 1996) :
 - *Le coefficient de frottement de surface* : selon sa valeur prise dans la fourchette des valeurs mesurées, l'écoulement peut se prolonger de une à trente heure(s) après la pluie.
 - *L'extension des aires saturées* : l'hydrogramme en bas du versant est lent lorsque la longueur des aires saturées est importante, c'est à dire lorsque le coefficient d'écoulement de la crue est élevé.
 - *L'intensité de la pluie* : l'écoulement est d'autant plus rapide que la pluie est plus intense.

Cette sensibilité de l'hydrogramme au bas d'un versant se retrouvera ensuite, plus ou moins "amortie", à l'échelle du bassin.

Ainsi, la conjugaison observations/expérimentations/modélisations mécanistes réalisées à l'échelle du versant montre que la génération des débits de crues résulte essentiellement d'un processus de ruissellement sur **surfaces saturées contributives** pouvant s'expliquer par la formation ou la recharge de nappes de versant :

- lors des épisodes pluvieux, une grande partie de l'eau s'infiltré dans le sol (et ce d'autant plus qu'il est végétalisé) et contribue à la formation de nappes "perchées" qui, lorsque la pluie perdure, peuvent affleurer la surface du sol ;
- celle-ci devient alors localement "exfiltrante", donc temporairement imperméable, la précipitation étant entièrement transformée en ruissellement le long des pentes du versant ;
- ce ruissellement collecté par le réseau hydrographique contribue (avec les écoulements souterrains) à générer une réponse rapide du bassin à un épisode pluvieux.

2. Modélisation hydrologique du bassin versant.

Les études expérimentales menées à l'échelle des versants associées à la modélisation 2D des transferts hydriques correspondants (voir paragraphe précédent) ont montré que sur les bassins à la **topographie marquée**, le processus prépondérant vis à vis de la génération des débits de crues était le ruissellement sur **surfaces saturées contributives**. A l'échelle du bassin, le caractère contributif des

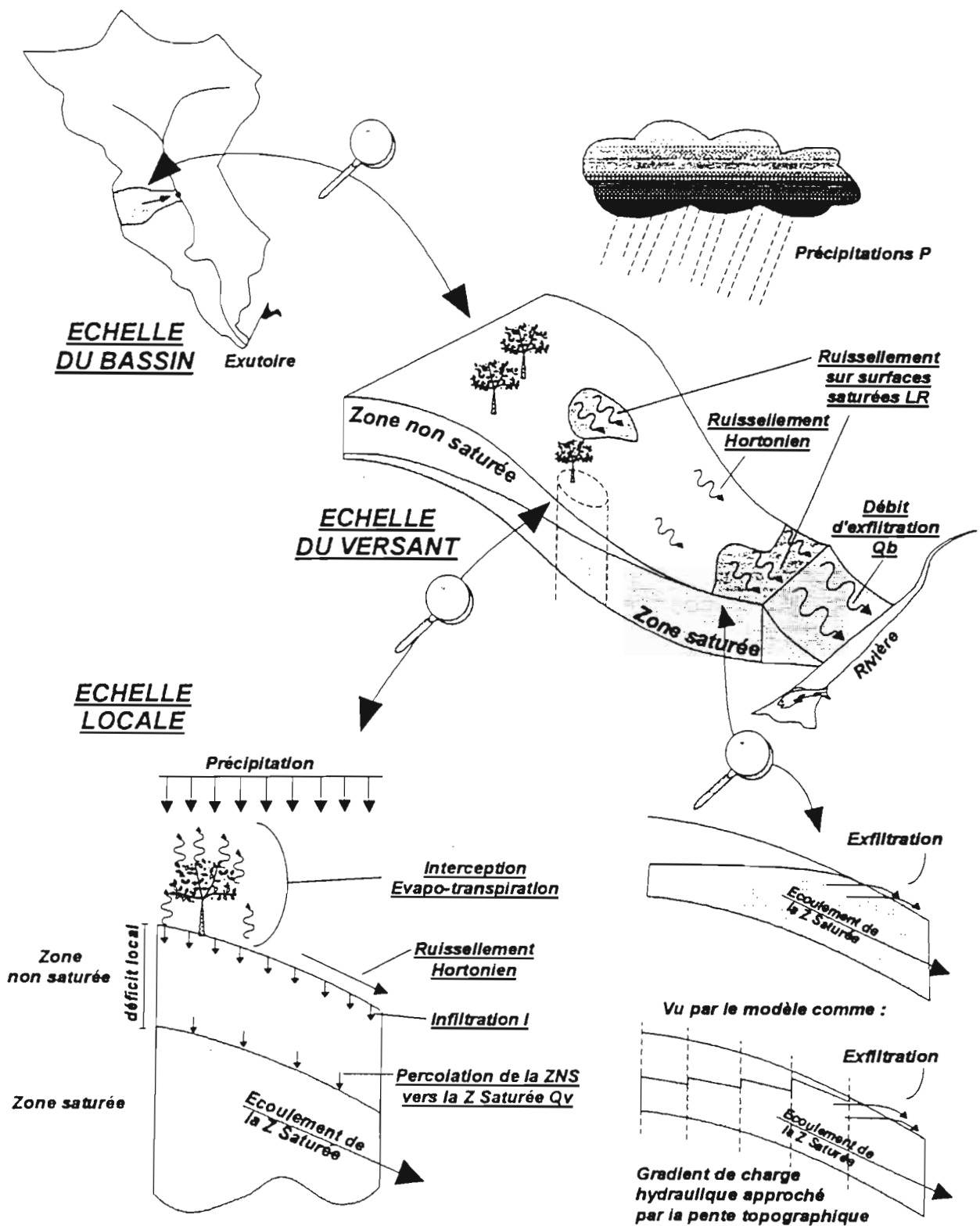


Figure HSURF-5 : Schématisation du fonctionnement hydrologique d'un bassin par TOPMODEL (Thèse de G.M. Saulnier, 1996).

zones proches des rivières a également été confirmé, dans le cas du Réal Collobrier (et contrairement aux bassins sahéliens) par l'observation satellitale (thèse P. Viné, 1997). De nombreuses études menées depuis plusieurs années au sein de l'Equipe et ailleurs (tant en France qu'à l'étranger) ont montré le potentiel, l'intérêt et certaines limites de l'approche TOPMODEL (voir Beven et Kirby, 1979 ; Beven et col., 1995 pour les fondements, et figure HSURF-5 pour la schématisation des processus) pour modéliser "physiquement" et de manière distribuée dans l'espace ce type de phénomène. Fondée sur une analyse "intelligente" et novatrice des MNT (grilles d'altitude), elle consiste à définir et calculer des indices de similarités hydrologiques (dont une description est donnée dans Beven, 1986) appelés aussi **indices topographiques**, qui traduisent la plus ou moins grande capacité des différents points d'un bassin à saturer en eau plus ou moins facilement le profil de sol associé.

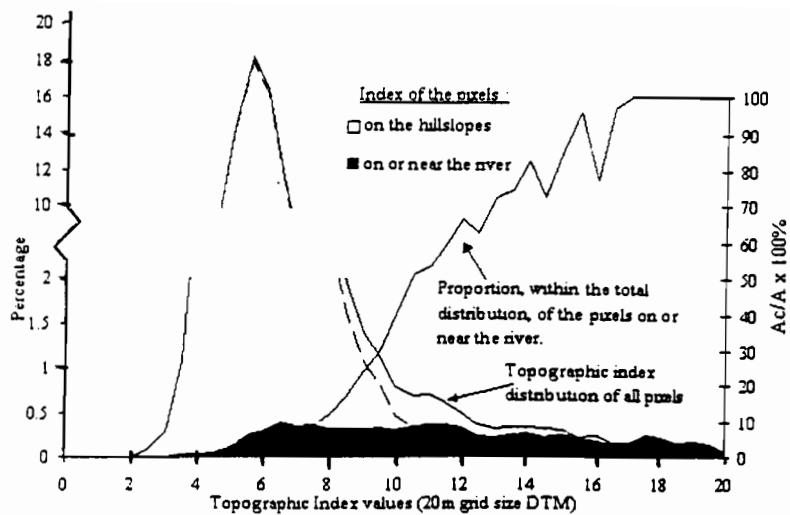
Néanmoins, il est apparu, à l'usage, certaines limitations. Parmi celles-ci :

- de sérieux problèmes de dépendance entre la résolution du MNT et la valeur de certains paramètres du modèle :
 - se traduisant par la nécessité de multiplier la conductivité hydraulique des sols par un **coefficient empirique** lorsque la résolution augmente (Franchini, Wendling, Obled et Todini, 1996) ;
 - obérant les bases physiques du modèle, dans la mesure où une propriété intrinsèque à un sol n'a aucune raison objective de varier avec le pas d'espace auquel une caractéristique indépendante est estimée ;
 - suggérant l'existence de carences dans l'approche modélisatrice.
- la non prise en compte de certaines variabilités (liées aux caractéristiques des sols et des forçages superficiels) malgré leur influence possible, sinon probable sur la réponse hydrologique des bassins.

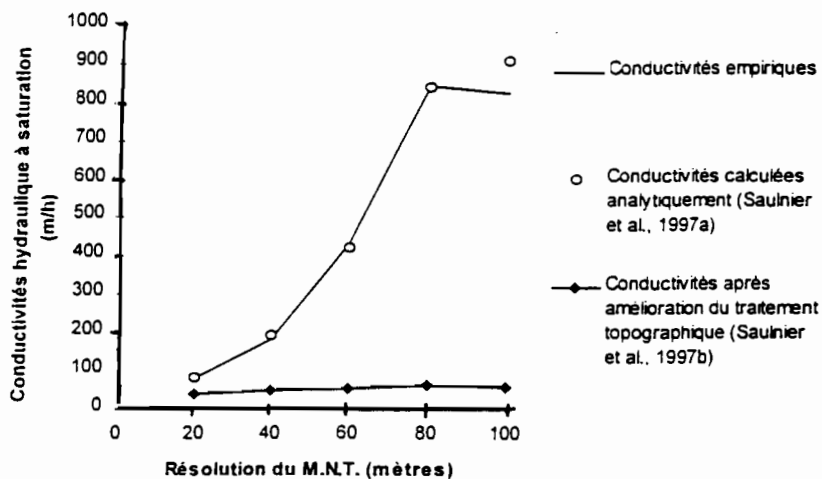
Au cours de la période de référence, l'Equipe s'est efforcée de comprendre et corriger certains de ces biais d'une part, de reformuler le modèle pour en accroître l'exhaustivité d'autre part. Les principaux résultats sont présentés ci-dessous :

a) Amélioration du traitement de la topographie de TOPMODEL.

- Il a été montré que les simulations hydrologiques du sous-bassin des Maurêts étaient fortement sensibles aux hypothèses de fonctionnement des mailles **traversées par les rivières** et par conséquent à la façon dont les indices topographiques correspondants sont estimés (thèse G.M. Saulnier, 1996, voir figure HSURF-6, tirée de Saulnier et col., 1997).
- La pertinence de cette explication a été prouvée, en étant capable de prédire **analytiquement**, les coefficients multiplicateurs de la conductivité hydraulique à saturation, jusqu'alors déterminés **empiriquement** par calage du modèle à des débits observés (Saulnier et col., 1997).
- Un nouveau traitement (non transmission vers l'aval des aires drainées par les pixels traversés par le réseau hydrographique, différenciation des rives gauche et droite par attribution d'un indice topographique différent) permet de supprimer le biais, tout au moins jusqu'à des résolutions spatiales du MNT de l'ordre de 100 m (voir figure HSURF-6, tirée de Saulnier et col., 1997).



a) On observe que la proportion des pixels traversés par la rivière est plus grande pour les fortes valeurs d'indices topographiques. Or ce sont justement celles-ci qui influencent le plus les simulations hydrologiques, ce qui explique leur sensibilité aux hypothèses de fonctionnement des pixels traversés par les rivières.



b) Sensibilité de la conductivité hydraulique à saturation à la résolution des Modèles Numériques de Terrain. Application au bassin des Maurêts (Var).

Figure HSURF-6*: Mise en évidence, compréhension et correction de la dépendance entre la résolution du Modèle Numérique de Terrain et la valeur de certains paramètres.

b) Influence de la variabilité spatiale des sols.

L'effet de la variabilité spatiale des épaisseurs des sols, donc de leur réserve hydrique, sur la formation des crues, a été testé en utilisant, soit des variabilités théoriques, soit une carte déduite des informations pédologiques des Maurêts (collaboration : CEMAGREF-Clermont Ferrand, Saulnier et Obled, 1995). L'introduction dans TOPMODEL d'un **nouvel indice pédo-hydro-topographique** (thèse G.M. Saulnier, 1996) et les simulations correspondantes réalisées ont permis de suggérer une classification dans l'importance des différentes variabilités spatiales (sol-topographie) en fonction de l'échelle d'étude : prépondérante à des échelles inférieures à 100 m x 100 m environ, la variabilité pédologique tend à devenir négligeable devant celle de la topographie au-delà (Saulnier et col., 1998).

c) Influence de la variabilité spatiale des entrées : le cas de l'hydrologie nivale.

Mise en état de veille depuis les années 1980, l'activité de l'Equipe dans le domaine de l'hydrologie nivale a été réactivée en 1996 grâce à la conjonction de plusieurs facteurs.

- le **souhait** de Météo-France/CEN-Grenoble d'évaluer l'intérêt hydrologique de la Chaîne SAFRAN-CROCUS qui fournit, sur une base horaire et par tranche d'altitude de 300 m l'évolution du manteau neigeux et la lame d'eau de fusion disponible, à partir de l'assimilation de l'ensemble des données météorologiques et **notre volonté** de tester la sensibilité des processus hydrologiques à des entrées distribuées. De ce point de vue, la fusion nivale est particulièrement intéressante, dans la mesure où elle correspond à un processus, qui se limite souvent à une bande de quelques centaines de mètres.
- L'**existence** dans le département de l'Isère du bassin versant de la Sarennes, **seul bassin français** incluant une composante nivo-glaciaire et **l'opportunité d'avoir accès aux données** nivo-hydro-météorologiques collectées depuis une dizaine d'années par le CEMAGREF/Nivologie-Grenoble et EDF/DTG.

Pour mettre en évidence l'éventuel rôle de la variabilité spatiale des apports nivaux, une expérience a été montée (voir figure HSURF-7, tirée de Durot et col., 1997, thèse K. Durot en cours) dans le cadre d'un projet soutenu conjointement par le PNRN/Risques hydrologiques et le PNRH associant le CEN-Grenoble, le CEREG-Strasbourg et l'Université de Lancaster. Elle est composée de 3 phases :

- **Calibration pour les pluies d'été d'un modèle global** (TOPMODEL avec distribution de l'apport pluviométrique supposé uniforme sur la surface du bassin) et identification de la fonction de transfert par la technique DPFT. A titre d'exemple, la figure HSURF-8 donne pour deux épisodes pluvieux l'évolution résultante des débits horaires à l'exutoire du bassin.
- **Utilisation, en période de fonte**, du modèle global ainsi calibré, les lames d'eau de fusion (ou de pluie) étant là encore uniformément réparties sur l'ensemble du bassin (voir figure HSURF-8, tirée de Durot et col., 1998).
- **Développement d'un modèle semi-distribué** (TOPBAND, Durot et col., 1998), fondé sur les concepts de TOPMODEL et reposant sur un découpage du bassin en bandes d'altitude de 300 m à l'intérieur desquelles le manteau neigeux est supposé fondre et disparaître en même temps. Ainsi le bassin est assimilé à un puzzle où chaque jour la zone hydrologiquement active, définie par une analyse de l'entrée, est constituée d'une ou plusieurs pièces adjacentes. La figure HSURF-9 détaille les différentes configurations possible. A titre d'exemple, la figure HSURF-10 (tirée de Durot et col., 1998) montre **l'amélioration très sensible** de la restitution des débits observés, à l'aide de cette **approche semi-distribuée** par rapport à la modélisation globale.

Le couplage des modèles numériques utilisés pour la simulation:

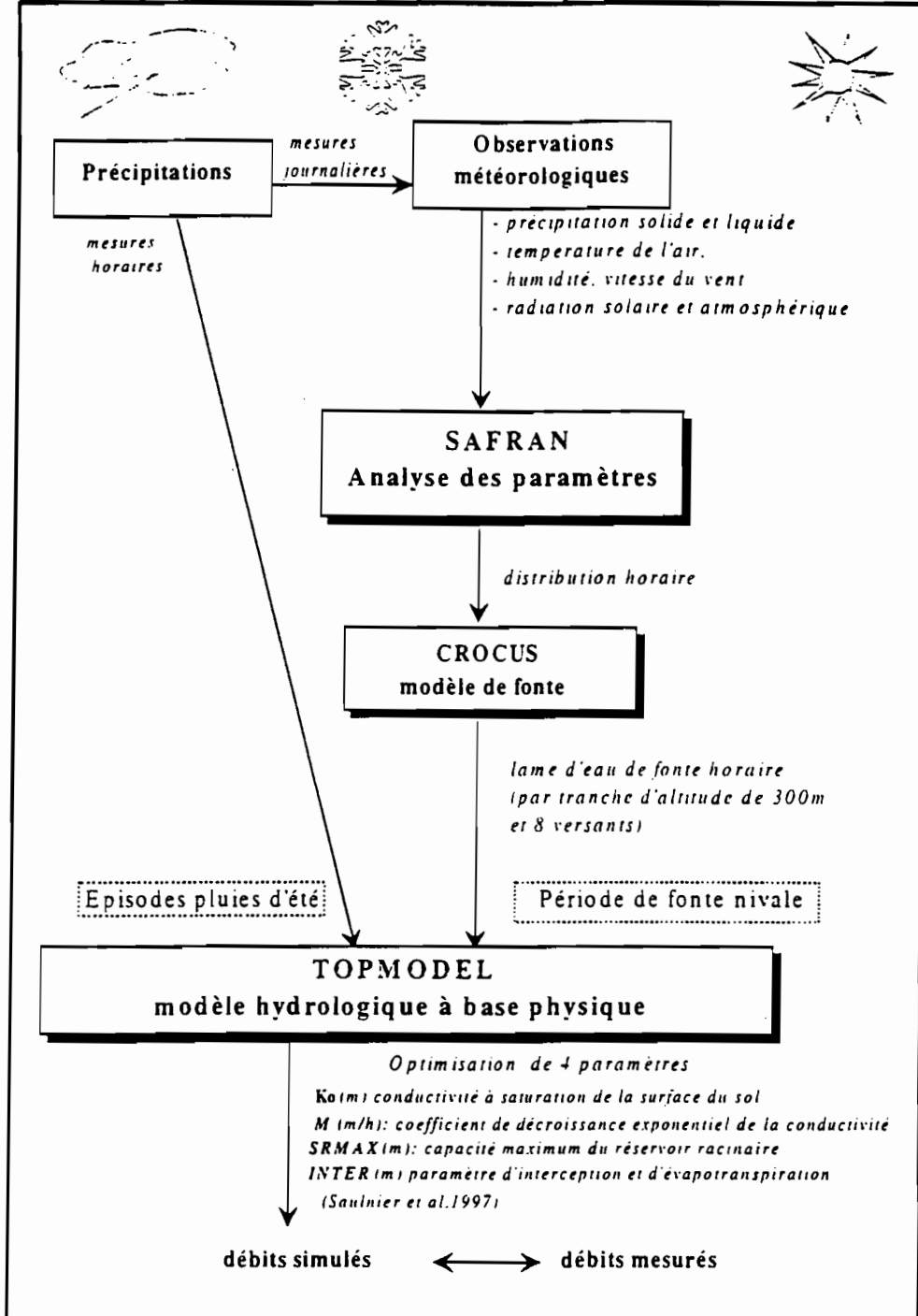
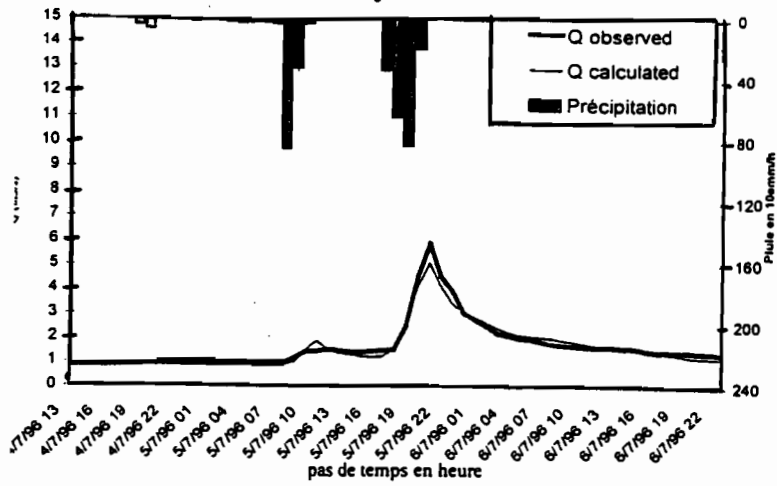


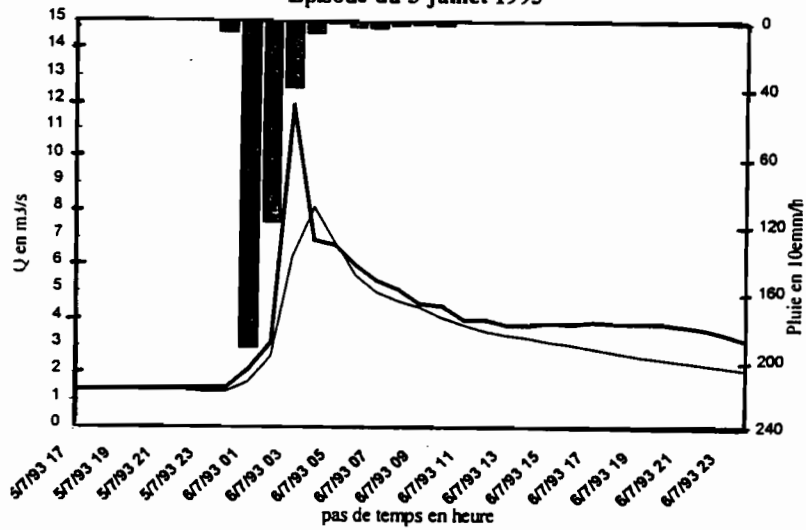
figure 1 : Le couplage entre SAFRAN-CROCUS et TOPMODEL.

Figure HSURF-7 : Principe de l'expérience visant à étudier l'influence de la variabilité spatiale des entrées (pluie, fonte nivale) sur la réponse hydrologique du bassin de Sarennes (Durot, Obled, Saulnier, Martin, 1997 ; Collaboration Météo-France/CEN, CEMAGREF/Nivologie, EDF/DTG).

**Simulation des débits de la Sarenes : Episode de pluie
du 4 juillet 1996**



Episode du 5 juillet 1993



Simulation en période de fonte : année 1995

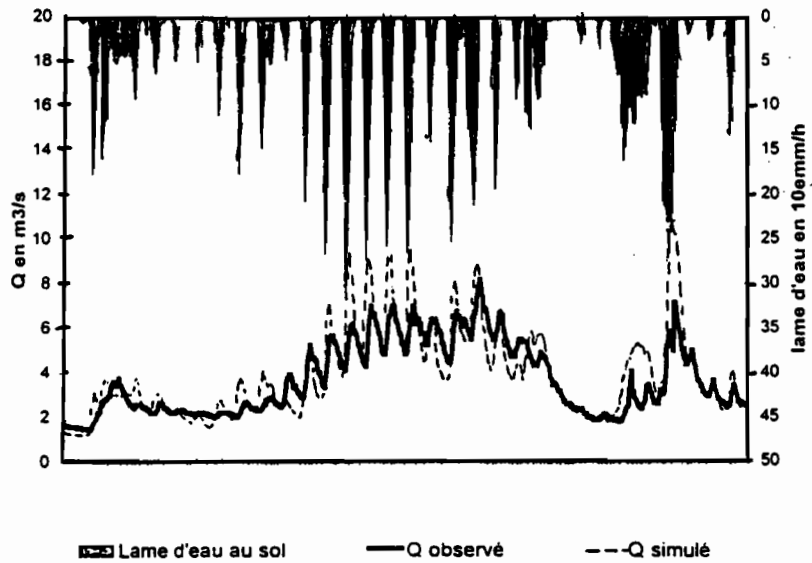


Figure HSURF-8 : Calibration du modèle hydrologique global : eau de pluie et de fonte uniformément réparties sur le bassin (Durot, Obled, Lejeune, Martin, 1998).

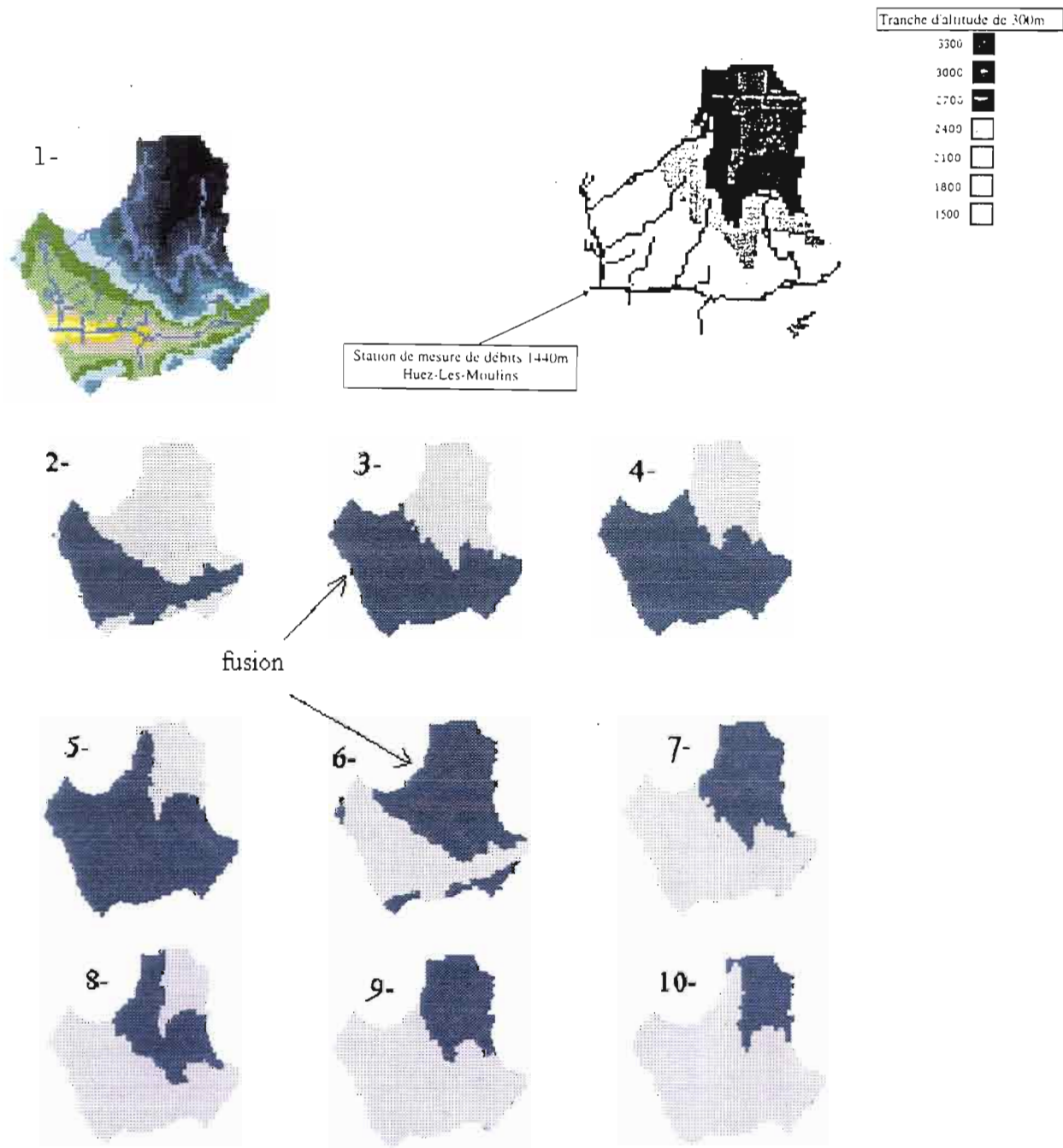


Figure HSURF-9 : Principe du découpage du bassin en zones hydrologiquement actives. En cas de pluie (1), l'ensemble du bassin est activé. En début de fusion nivale, seule la partie basse est concernée (2). La progression de la fusion augmente les surfaces ruisselantes (3, 4, 5). Les zones déneigées de la partie basse sont neutralisées et traitées en récession (7 à 10).

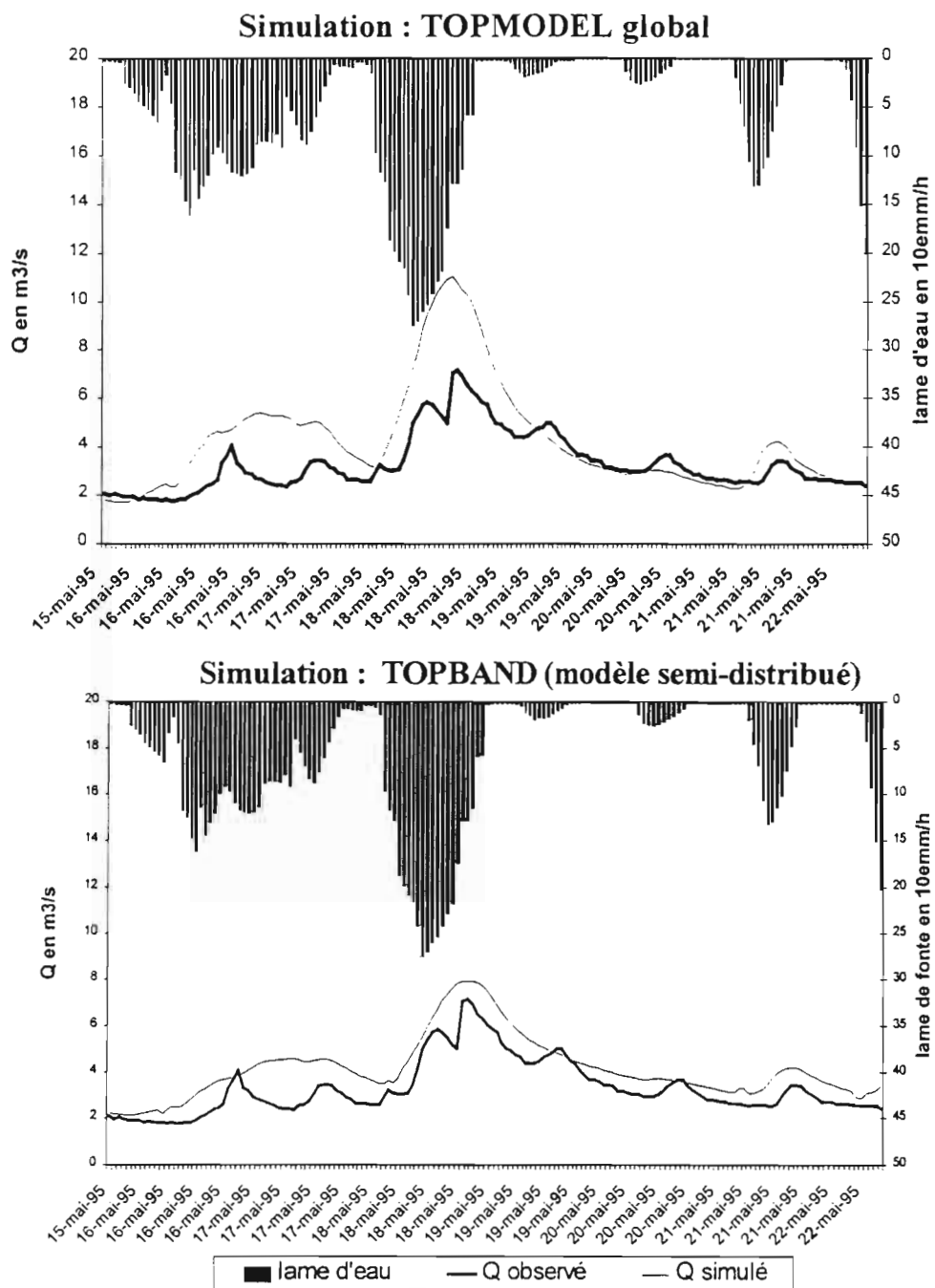
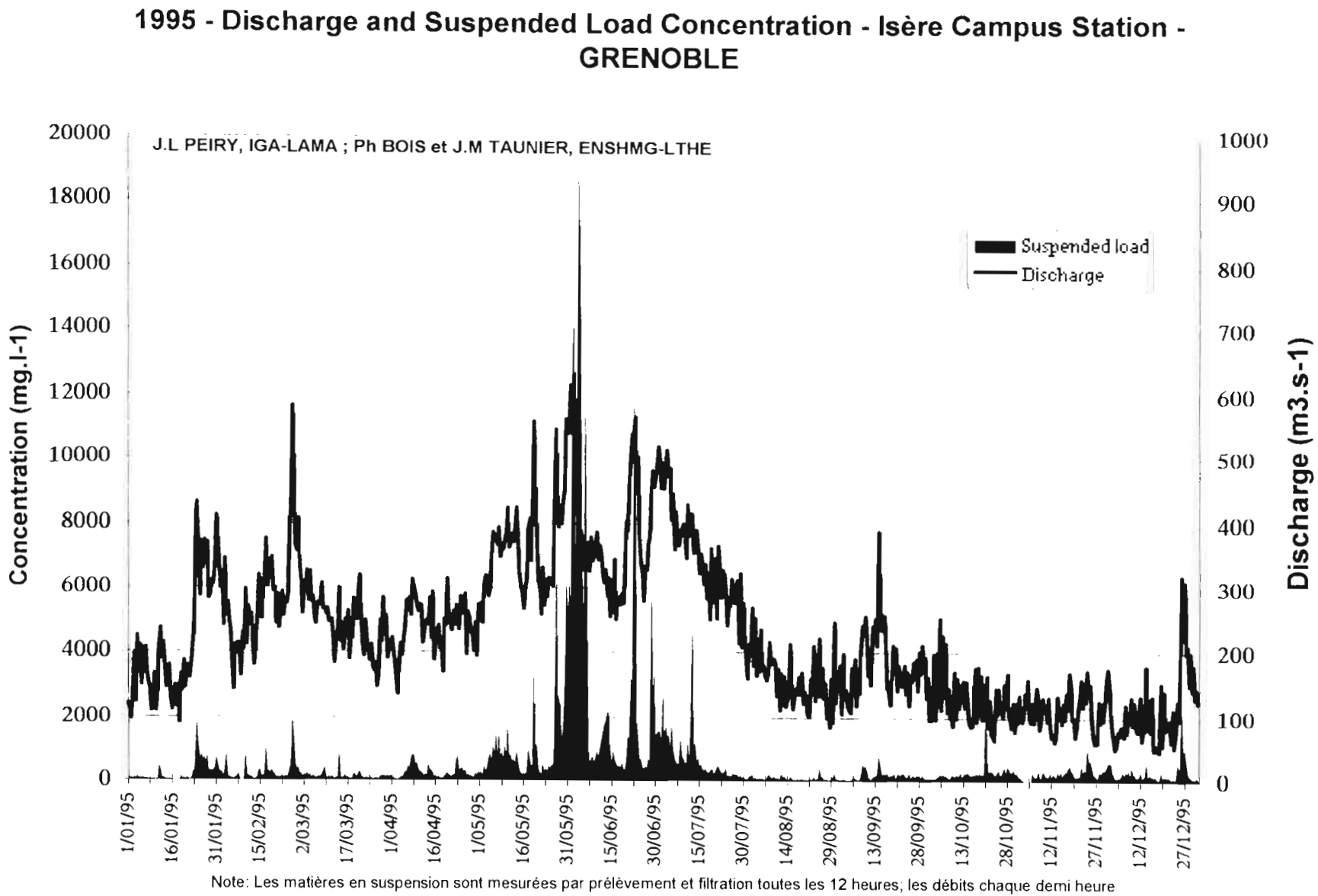


Figure HSURF-10 : Influence de la prise en compte de la distribution spatiale de la fusion nivale sur le débit à l'exutoire du bassin de Sarennes (Durot, Saulnier, Obled, Martin, 1998).

Figure HSURF-11 : Exemple d'évolutions du débit et de la concentration en MES mesurées à la station hydrométrique LTHE/ENSHMG du Campus de Saint-Martin d'Hères.



3. Hydraulique fluviale et environnement.

Les activités relatives à cet axe ont concerné deux volets : *l'observation* et la *modélisation des écoulements fluviaux et de leur qualité*. Elles présentent la **spécificité** d'être réalisées en synergie étroite avec les **enseignements** dispensés à l'ENSHMG/Département "Génie de l'Environnement".

a) Observatoire des écoulements.

- *La station hydrométrique du Campus de Saint Martin d'Hères* (financée par le MESR, EDF et le Pôle Grenoblois "Risques Naturels" : coût voisin de 1 MF et gérée par nos soins) est opérationnelle depuis juillet 1993. Elle comprend une **traille téléphérique** pour la mesure des débits de l'Isère par exploration du champ des vitesses, 3 capteurs de niveau et enregistreurs télétransmis, une mesure télétransmise de la température de l'eau, et un échantillonneur d'eau pour la mesure de la qualité. Elle est actuellement utilisée pour l'étude des variations des matières en suspension (en collaboration avec le LAMA-Grenoble). En outre, elle sert de plate-forme de Travaux Pratiques pour les élèves-ingénieurs hydrauliciens. Les nombreux jaugeages effectués commencent à produire une excellente série de débits à pas de temps fin permettant de constituer une base de données fiable (interrogeable par un serveur Minitel). qui va servir de point d'appui au développement d'une recherche sur la modélisation des champs d'inondation et du transport des sédiments, grâce notamment au recrutement récent de Ph. Belleudy, PAST/ENSHMG et dont l'activité "recherche" se fera au sein de l'Equipe (voir paragraphe "Perspectives").

A titre d'exemple, la figure HSURF-11 donne l'évolution des débits et des concentrations de matières en suspension (MES) mesurés à pas de temps fin (30 min et 12 h respectivement). Elle montre que les **concentrations en MES** (qui peuvent atteindre 20 g/l soit plusieurs centaines de milliers de tonnes en certaines journées) **ne sont pas directement liées au débit** mais plutôt à des épisodes pluviométriques violents qui se sont produits sur le haut du bassin de l'Arc, affluent de l'Isère.

- *La station hydrométrique du Sonnant d'Uriage*, placée à l'amont de la Ville de Gières (38) sur un bassin péri-urbain de 26 km² (équipée grâce à un financement du Pôle Grenoblois "Risques Naturels") est gérée par l'Equipe depuis 3 ans.

Les données recueillies, après un laps de temps suffisant, **ne serait-ce que pour étalonner** la station limnimétrique et fiabiliser les séries chronologiques, permettront une étude fine du fonctionnement hydrologique du seul bassin péri-urbain suivi dans la région grenobloise et de sa réponse aux forts épisodes pluvieux dont il est permis de penser qu'elle est très rapide.

D'accès facile et proche de nos locaux, elle sert également à la **formation en hydrométrie** : une vingtaine de jaugeages par la méthode de dilution chimique et une dizaine de campagnes de mesures de la qualité de l'eau y sont effectuées chaque année. Là encore, les données sont consultables par Minitel. Depuis 1997, les données de débit sont transmises, via la DIREN-Grenoble, à la banque HYDRO du MATE.

b) Modélisation de la qualité physico-chimique des eaux fluviales.

La préservation du milieu aquatique et notamment de la qualité des eaux des fleuves et rivières est devenue une priorité, en raison de la limitation de la ressource en eau et de sa vulnérabilité face à une demande croissante et un usage de plus en plus diversifié. C'est dans ce contexte et dans le cadre de la Chaire Industrielle "Environnement aquatique" mise à disposition de l'ENSHMG par EDF, qu'il convient de situer cette activité. L'objectif poursuivi était l'établissement d'un **ensemble d'outils** permettant la critique et la validation de séries chronologiques de mesures de

Figure HSURF-12 : Méthodologie d'analyse critique et validation des observations de la qualité physicochimique des eaux (Thèse de F. Moatar, 1997).

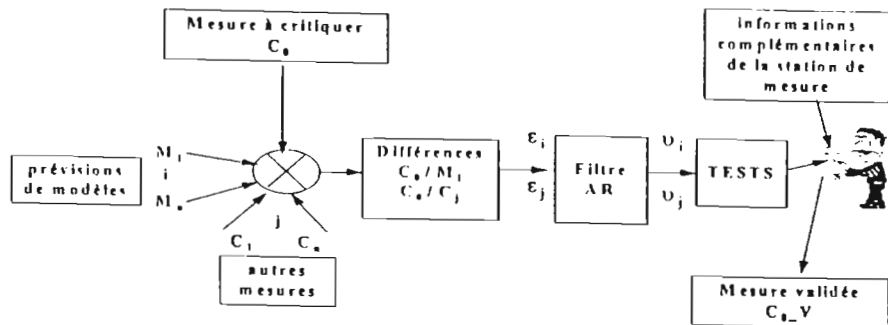


figure 7 : Méthodologie de critique et validation des données

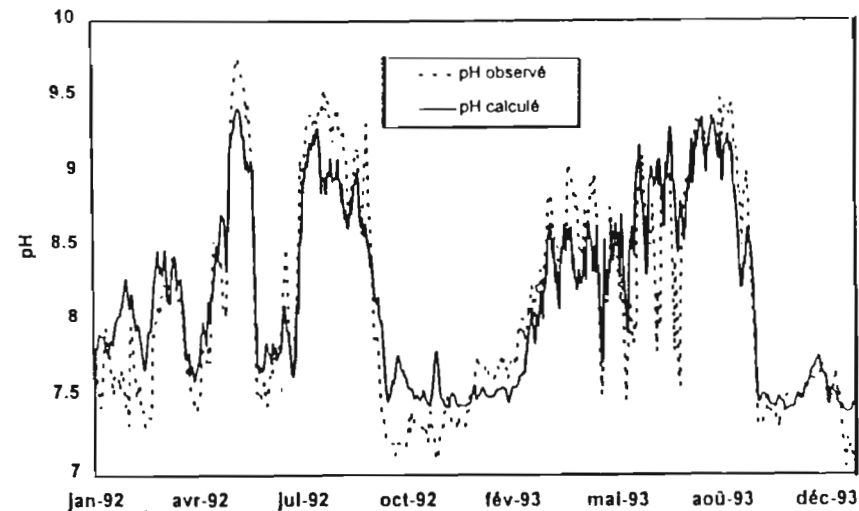
a) Schéma de principe de la méthode développée.

	1990		1991		1992		1993		1994	
	hiver	été	hiver	été	hiver	été	hiver	été	hiver	été
O₂min										
RMSE (mg/l)	0.57	1.37	0.59	1.03	0.66	0.98	0.70	1.30	1.23	1.09
moyenne des résidus ** (mg/l)	-0.26	-0.69	-0.29	-0.49	-0.13	-0.43	0.12	0.71	1.00	0.54
O₂max										
RMSE (mg/l)	2.01	3.92	1.72	3.11	1.71	1.85	4.04	2.37	1.52	1.94
moyenne des résidus ** (mg/l)	1.35	2.93	0.73	2.73	0.89	0.26	2.61	1.25	1.29	1.07

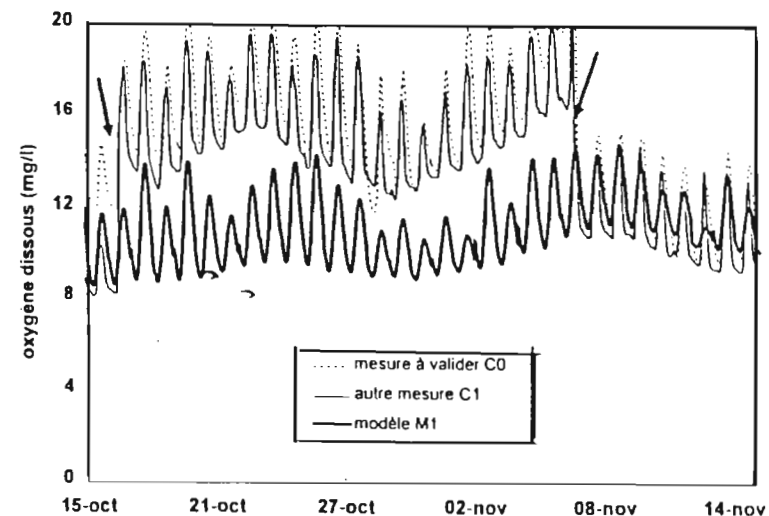
été = mai - octobre

b) Analyse des résidus entre valeurs observées et calculées (par le modèle déterministe BIOMOX d'EDF) des teneurs en O₂ dissous :

- les valeurs minimales (contrôlées par la température) sont mieux évaluées que les valeurs maximales sous la dépendance de la biomasse phytoplanktonique plus difficile à estimer.
- les écarts importants des hivers 1993-94 (pour O_{2, min}) et 92-93 (pour O_{2, max}) traduisent des erreurs de mesure que l'on retrouve par les modèles stochastiques.



c) Modélisation de l'évolution journalière du pH par un réseau optimal de 3 neurones dans la couche cachée, le débit et le rayonnement étant les entrées. Les écarts quadratiques moyens sont de l'ordre de 0,30 en apprentissage et en test.



d) Comparaison entre les valeurs mesurées et calculées (par un modèle autorégressif d'ordre 1) de la teneur en O₂ dissous.

la qualité physico-chimique de l'eau (température, concentration en oxygène dissous, pH et conductivité électrique) en liaison avec la surveillance hydro-écologique des centrales nucléaires. Devant la **quasi-absence** d'outils disponibles pour la critique des données de la qualité des eaux, la méthode développée (thèse F. Moatar, 1997), s'apparente à celle utilisée dans le contrôle des processus industriels. Elle combine (figure HSURF-12) **l'analyse des observations** pour la compréhension des processus bio-physico-chimiques et de leurs interactions, la **modélisation** pour l'évaluation de la valeur probable de la grandeur mesurée et **l'utilisation de tests statistiques** pour le contrôle en temps réel de la mesure et la détection des erreurs qu'elles soient accidentelles ou systématiques.

Les principaux résultats sont les suivants :

- L'analyse des mesures horaires des 4 paramètres (fournies par EDF pour la Loire à Dampierre sur la période 1990-94) considérés comme des indicateurs des principaux processus bio-physico-chimiques a permis de mettre en évidence l'influence prépondérante des variables de forçage (température de l'air, rayonnement solaire, débit) d'une part, leur rôle respectif vis à vis de chacun d'entre eux, d'autre part. Elle a plus particulièrement montré **l'importance jouée** par la **biomasse phytoplanctonique** sur les évolutions temporelles de la teneur en O₂ dissous et le pH, deux variables soumises à de fortes variations journalières et annuelles en raison de l'eutrophisation de la Loire.
- Plusieurs types de modélisation ont été utilisés/ou développés :
 - les modèles déterministes de processus
 - les modèles stochastiques s'appuyant soit sur la structure interne de la série temporelle concernée (saisonnalité, processus autorégressif), soit sur des relations avec les variables de forçage. Dans ce dernier cas, la méthode de Box et Jenkins a été utilisée pour les comportements linéaires et **une approche par réseau de neurones** a été développée (Moatar et col., 1997) pour les relations non linéaires et s'est avérée **la plus performante** pour le pH.

Quelques exemples de résultats sont donnés figure HSURF-12, tirée de la thèse de F. Moatar, 1997.

- La validation des données a consisté en la comparaison entre la mesure d'une variable et sa valeur prédite par les modèles, à l'aide de tests statistiques (moyenne, écart-type, dérivée sur **une fenêtre mobile**, cumul de Page-Hinkley) portant sur les écarts préalablement décorrélés par un filtrage autorégressif. Une étude systématique de sensibilité de ces tests réalisée sur des séries bruitées fictivement montre que le **test des moyennes sur des fenêtres mobiles** est le plus performant pour détecter :
 - **une dérive linéaire** d'étalonnage des capteurs (pHmètre, conductivimètre, sonde O₂)
 - **une dérive exponentielle** caractéristique d'un encrassement des senseurs.

A titre indicatif, une dérive linéaire de 4 % par jour dans la mesure de la teneur minimale en O₂ dissous est détectée par ce test en moins de 3 jours dans 95 % des cas. L'illustration de la faisabilité de la démarche est fournie par la figure HSURF-12 qui met clairement en évidence un mois de mesures erronées de la concentration en O₂ dissous.

On notera que **l'implantation opérationnelle** par EDF de la méthode développée est actuellement en cours de réalisation.

4. Risques Hydrologiques et Ingénierie.

Il s'agit ici de valoriser les résultats des recherches de connaissances sur les processus hydrologiques (notamment extrêmes) par le développement de méthodes et d'outils simplifiés mais les plus fiables possible et leur mise à disposition de l'Ingénierie et plus particulièrement celle concernée par les risques hydrologiques (prévision ou prédétermination des crues) en liaison avec l'aménagement et la gestion des ressources en eau.

Sur la période de référence, l'effort de l'Equipe a essentiellement porté d'une part, sur la valorisation et l'amélioration d'outils développés précédemment et d'autre part, sur la participation au projet "ARDECHE" de test en vraie grandeur d'un système hydro-météorologique de prévision des crues. Les principaux résultats obtenus à ce jour dans ces deux domaines sont présentés ci-après :

a) Développements d'approches et de modélisations simplifiées.

- *Le modèle TOPSIMPL.*

Une modélisation orientée "utilisateur" a été développée pour capitaliser et synthétiser les acquis principaux de TOPMODEL pour les bassins versants où domine le mécanisme de zones contributives. Le logiciel correspondant, baptisé TOPSIMPL fait l'objet depuis 1995 de constantes améliorations en intégrant au fur et à mesure de leur obtention les résultats issus des recherches cognitives. A ce jour, la version 3.01 (Saulnier, 1997) prévoit un fonctionnement du bassin :

- par épisodes
- global (entrée uniformément répartie) ou spatialement semi-distribué (la version totalement distribuée est en cours de développement)
- avec ou sans disponibilité d'un Modèle Numérique de Terrain

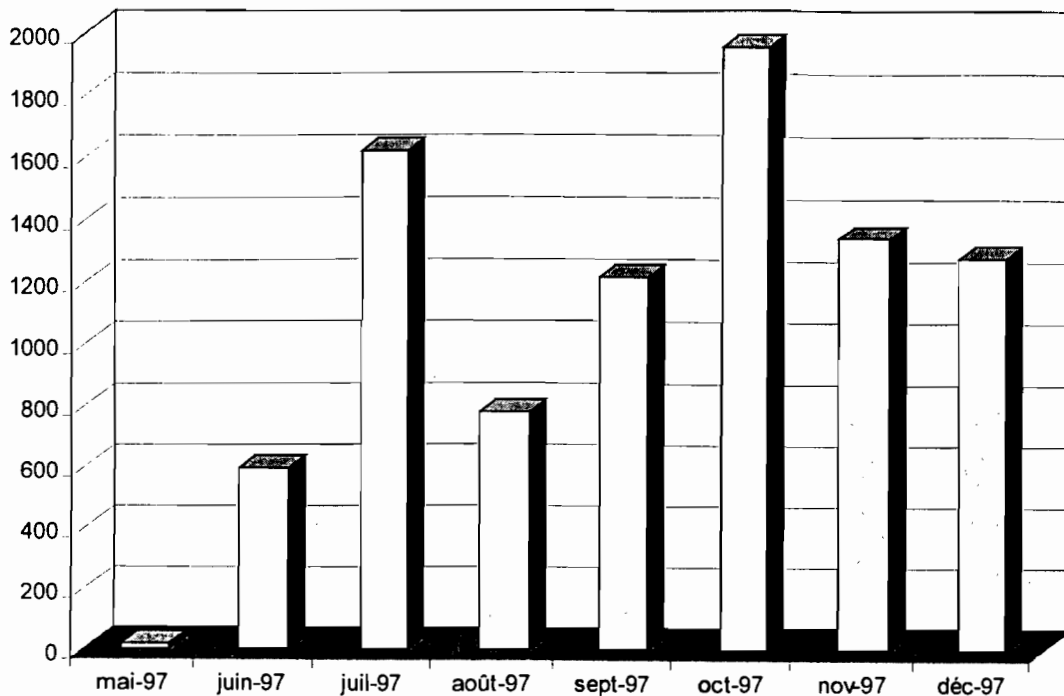
Des options permettent :

- le couplage avec un générateur de scénarii de pluies futures (voir plus loin) et avec une Fonction de Transfert de type DPFT
- le recalage de l'état hydrique initial du sol (dans le cas d'un fonctionnement événementiel) et la prise en compte de la variabilité spatiale de son épaisseur, à travers l'indice pédo-hydro-topographique
- l'intégration des corrections topographiques pour les pixels traversés par les rivières.

Programmé pour fonctionner sous un environnement Windows (3.11 ou 95), disponible en langues française et anglaise, TOPSIMPL est librement diffusé auprès de la communauté nationale et internationale, grâce à son implantation en 1997 sur le site Internet du Laboratoire (voir statistique mensuelle des visites). Depuis 1996, il a été officiellement utilisé par une quarantaine d'équipes de recherche réparties dans 12 pays (Allemagne, Australie, Autriche, Espagne, France (environ 12 équipes), Grande-Bretagne, Grèce, Italie, Roumanie, Slovaquie, Suisse, USA).

La convivialité reconnue du logiciel en fait également un outil pédagogique performant utilisé en séances de Travaux Dirigés dans des cycles de Formation Initiale (ENSHMG, ENGREF/Montpellier, EPFL/Lausanne) et permanente.

Nombre de visites du site Internet de TOPSIMPL depuis sa création



- *Modélisation des crues en contexte de données rares.*

Sur la base d'une analyse d'hydrogrammes de crues de plusieurs bassins français (Réal Collobrier, 71 km² ; Gardon d'Anduze, 545 km²) et étrangers (Sieve/Italie, 830 km² ; Polaka/Burkina Faso, 9 km²) aux caractéristiques pédo-édaphiques très différentes et soumis à des régimes climatiques contrastés (Schober et Grésillon, 1995), un modèle de simulation de prévision et de prédétermination de crues pour les bassins sur lesquels les **données hydrométriques sont rares**, a été développé. Il distingue le rôle du versant et celui du réseau. Le "versant moyen" est assimilé à un réservoir à deux paramètres : l'un exprime le coefficient de la récession exponentielle qui suit la crue, l'autre son coefficient d'écoulement. Le versant délivre un débit à la rivière qui assure un transfert via un paramètre censé représenter des aires contributives isochrones. L'objectif de ce modèle, dénommé **STORHY** est de fournir un outil de prédétermination sur les bassins non jaugés.

Testé sur plusieurs bassins correctement documentés (Réal Collobrier et Gardon d'Anduze), il a fourni (thèse A. Schober, 1996) des résultats intéressants (efficacité de Nash de 0.7 sur les débits), dont il a été montré qu'ils pouvaient être améliorés en introduisant une variabilité temporelle des paramètres. Son exploitation à des cas de données rares a permis de préciser la fourchette des valeurs des débits de crues envisageables à partir de l'analyse de quelques crues seulement.

Afin de répondre à de nombreuses sollicitations externes, en provenance notamment des pays arides et semi-arides, le logiciel **STORHYX** de prédétermination des débits a été développé sous Windows 95 (Grésillon et Daviet, 1997). Reposant sur l'approche conceptuelle de **STORHY** et intégrant les résultats des études sur les coefficients d'écoulement en fonction des types de sols (thèse P. Viné, 1997), il permet l'analyse des hydrogrammes de crues (dans un contexte de rareté des observations) et leur extrapolation en vue notamment d'estimer les crues de projet.

b) Le projet "ARDECHE"

Partant du constat que de nombreuses recherches hydrologiques prétendent contribuer à la prévision des crues, sans vraiment les soumettre à des évaluations effectives **en temps réel**, d'une part, qu'un clivage couramment observé entre les aspects hydrologiques et météorologiques est pénalisant pour les bassins à réponse rapide d'autre part, il est apparu la nécessité de tester en vraie grandeur un **système de prévision hydro-météorologique couplé sur un bassin complet**.

Le **site atelier** du bassin de l'Ardèche (2200 km²) a été retenu (figure HSURF-13) en raison de sa proximité, de la fréquence des événements significatifs (2 à 3 par an) et de la bonne instrumentation tant pluviométrique (40 postes) que limnimétrique (10 stations) complétée par une couverture radar en voie d'amélioration.

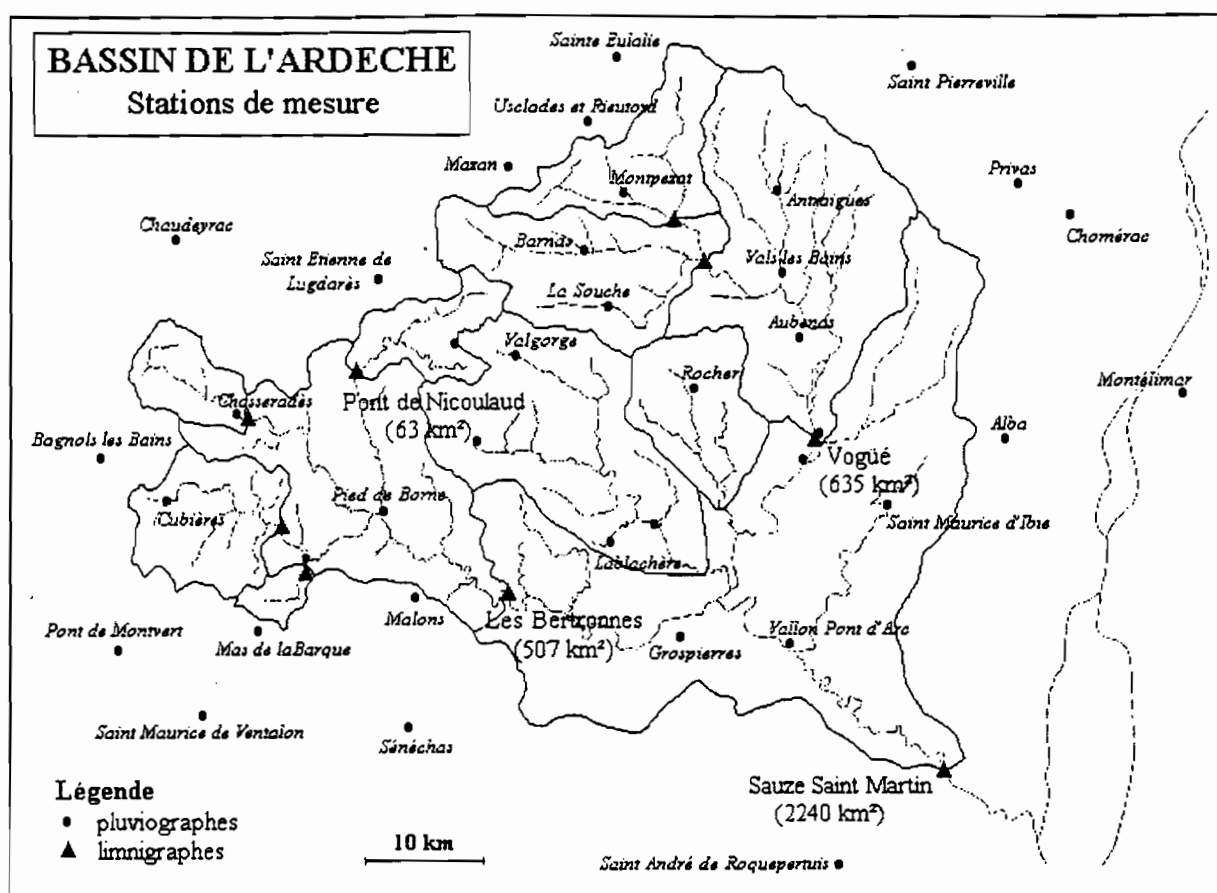


Figure HSURF-13 : Réseau de mesure (pluie, débit) du bassin de l'Ardèche (2200 km²).

Démarré en 1995 et mené en partenariat étroit avec EDF/DTG-Grenoble et Météo-France (SCEM/Direction de la Région Centre-Est-Lyon/CNRM-Toulouse) avec le soutien financier de la Région (XI Contrat de Plan Etat/Région Rhône-Alpes, programme fédérateur "Risques Naturels en montagne) et des programmes nationaux PNRN/Aléas Hydrologiques et PNRH, le projet comporte 3 volets :

- *Une phase d'élaboration, de développement et de mise en place d'outils* (estimation des pluies, transformation en débits) d'une part, *d'établissement des liaisons et d'interconnexions* entre les deux services opérationnels (EDF/DTG, Météo-France/SCEM) d'autre part.
- *Une phase expérimentale d'activation du système de prévision* sur tous les événements pluvieux importants susceptibles de se présenter.
- *Une phase d'évaluation* (retour d'expérience) visant à estimer objectivement les apports supplémentaires d'information et les nouvelles capacités d'anticipation.

Sur la période concernée par le rapport, l'Equipe a essentiellement focalisé son activité sur le **développement de méthodes et d'outils**. Elle participe également, comme observateur à la gestion des épisodes de crues auprès de l'EDF/DTG et assure immédiatement après, le traitement différé des données collectées. Les résultats essentiels sont présentés ci-dessous.

i) Estimation des lames d'eau. Comparaison avec l'information radar.

- Etape essentielle, cette action menée à bien, grâce à une collaboration exemplaire entre les 3 partenaires a consisté à collecter auprès d'organismes divers (EDF/DTG, Météo-France, DIREN, DDE notamment) et réunir, **au sein d'une même base**, les informations, à les critiquer, les valider et à sélectionner un certain nombre d'épisodes (environ 60 depuis 1980 correspondant à 5000 h de pluies au total) présentant soit **une crue** marquée, soit pour le moins, de fortes intensités.
- Les lames d'eau horaires intégrées sur chacun des 7 sous-bassins retenus, après digitalisation de leurs contours ont été estimées par les méthodes (développées au LTHE, dans les années 80) de type krigeage qui ont l'avantage de fournir en complément de la lame moyenne (à une heure et sur un bassin donné), une estimation de son incertitude (Obled et Datin, 1997).
- Leur comparaison avec les informations du radar de Nîmes montre (Datin, Obled, Helloco, 1996) que l'utilisation quantitative de ces dernières en entrée directe des modèles hydrologiques, est hasardeuse (Datin, Saulnier, Obled, 1997) en raison de la localisation du radar (éloignement des zones de la Haute Ardèche, ombre du Mont-Lozère pour celles de Chassezac). A ce jour, seule la morphologie qualitative des systèmes pluvieux est considérée pour proposer des champs pluviométriques distribués. La mise en service des radars de Sembadel (Haute-Loire) et Bollène (Vaucluse) devrait pallier ces difficultés.

On notera que l'on dispose maintenant d'une **base de données incomparable** qui sert et servira également de support au développement de modélisations "cognitives".

ii) Modélisation pluie-débit.

Afin de pouvoir disposer, assez rapidement d'une base modélisatrice de départ, une approche globale fondée sur la détermination de la **Fonction de Production par TOPSIMPL** (développé par G.M. Saulnier, voir ci-dessus) et l'estimation de la **Fonction de Transfert** par la technique DPFT (au développement de laquelle l'Equipe avait largement contribué précédemment en collaboration avec EDF/DTG ; Nalbantis et col., 1995) a été développée. A titre illustratif, 4 exemples de reconstitution d'épisodes de crue (2 en calibration, 2 en validation) sur le sous-bassin de Vogué, présentés figure HSURF-14, montrent des résultats tout à fait satisfaisants (thèse R. Datin, en cours).

BASSIN de VOGUE

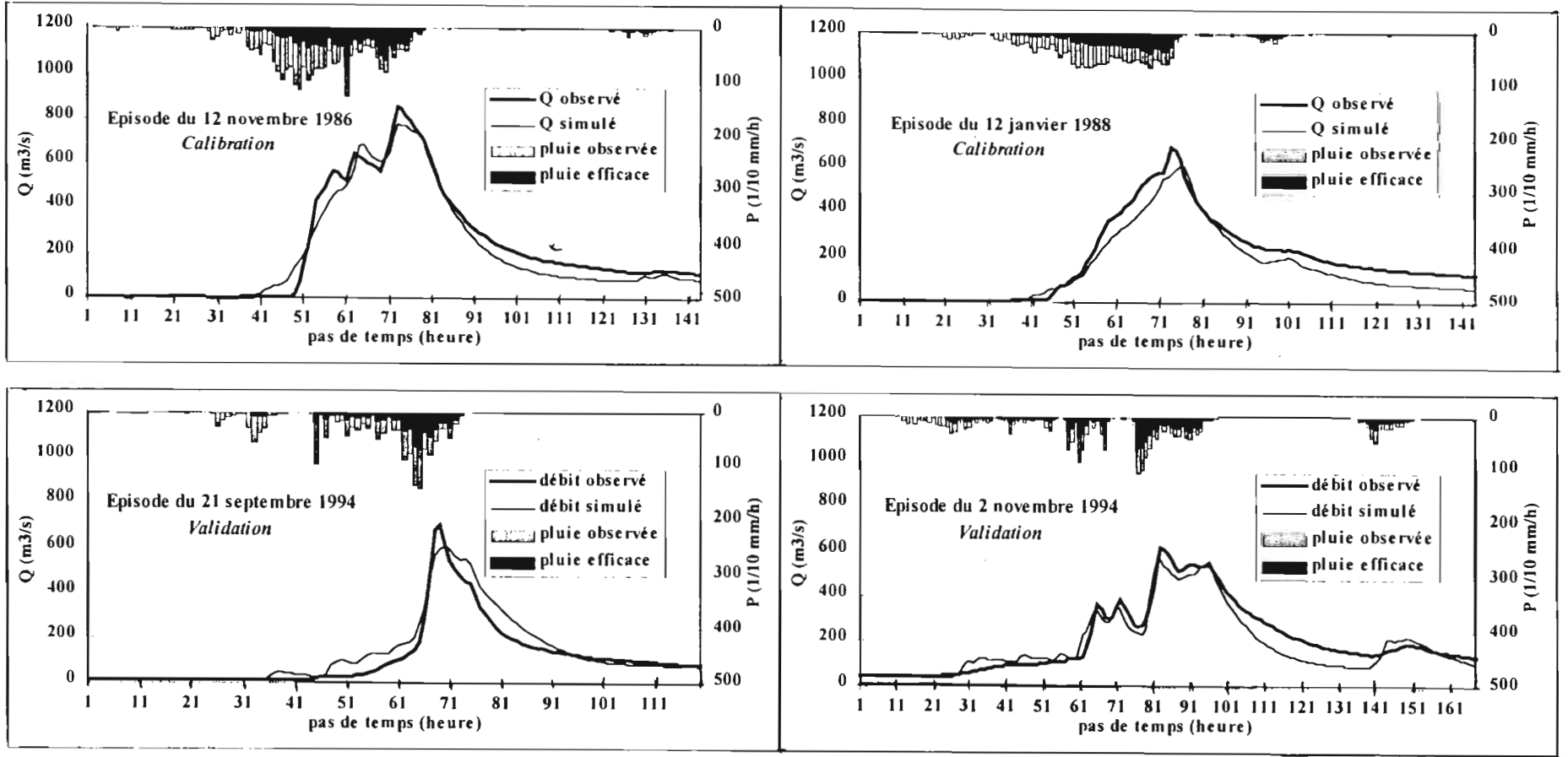


Figure HSURF-14 : Exemples de reconstitution d'épisodes de crue (2 en calibration, 2 en validation) par TOPSIMPL, sur le bassin de Vogüe (635 km²) (R. Datin, thèse en cours, 1998).

iii) Incertitudes de la chaîne de prévision "pluie-débit".

Compte-tenu des différentes sources d'incertitudes (sur le volume et la spatialisation des pluies, sur l'adéquation modèle/bassin réel, sur la mesure des débits, notamment de crue qui servent à la calibration du modèle, sur l'échantillonnage temporel forcément limité), il est **prudent, voire nécessaire** et en tout cas **scientifiquement honnête** de ne pas fournir un débit unique, mais une **valeur affectée d'une frange d'incertitude**. La figure HSURF-15 illustre la démarche pour quantifier l'influence sur les débits simulés, de l'incertitude d'estimation des pluies moyennes sur le sous bassin de Vogué (Datin et col., 1997). Des séries de pluie sont générées (par la méthode de Monte Carlo) dans la fourchette d'incertitude de la pluie moyenne, et introduites comme entrées de TOPSIMPL qui calcule autant de séries de débits probables (informations résumées ici par les quantiles à 10 et 90 %). Ainsi, à titre d'exemple, le pic de débit à 68 h à 80 % de chance de se situer entre 230 et 330 m³/s. Néanmoins, il apparaît que l'incertitude sur les débits peut être assez importante (notamment dans le cas d'un réseau de mesures pluviométriques peu dense), relativisant les performances d'un modèle pluie-débit.

iv) Prévision et anticipation des débits.

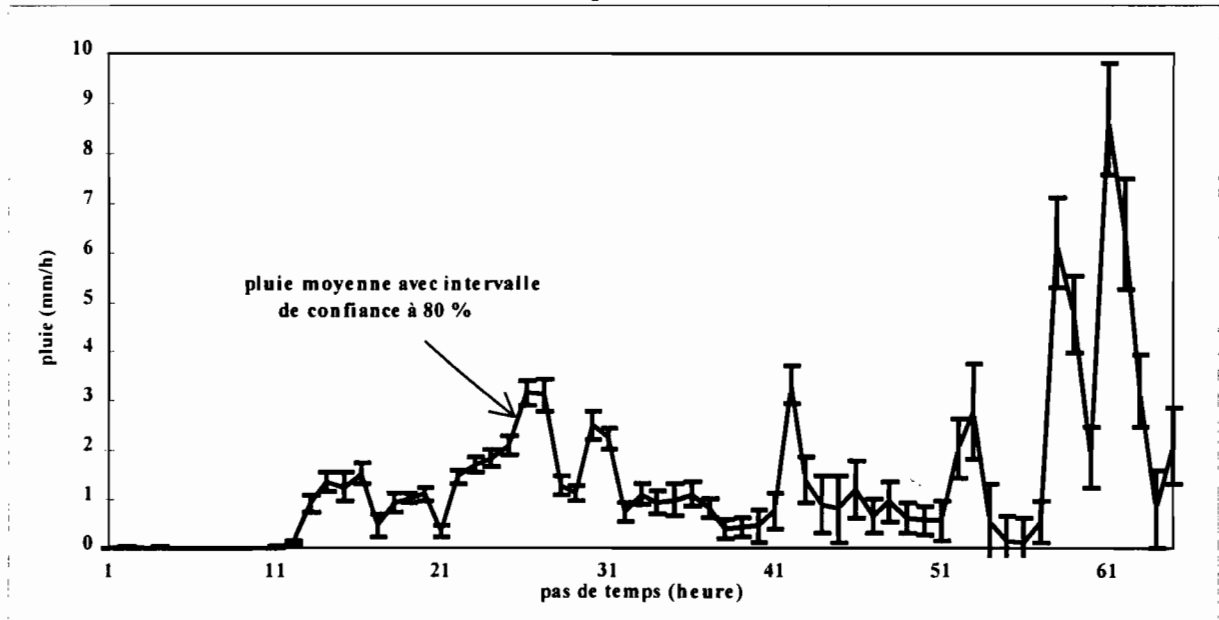
Alors que les pluies observées jusqu'au temps t ne permettent guère l'extrapolation au-delà du temps de montée d'un bassin ($t + 1$ à quelques heures selon sa taille), les besoins opérationnels exigent **6 à 12 heures d'anticipation**. C'est la raison pour laquelle, **un nouveau générateur de scénarii de pluies futures** a été développé. Fondé sur les travaux antérieurs de l'Equipe (thèses de P. Tourasse, 1981 ; Th. Lebel, 1984 ; P. Lardet, 1990) qui avaient proposé des scénarii réalistes conditionnés sur le seul **passé observé** et la climatologie, il est maintenant également **contraint** par des informations futures fournies par :

- la prévision immédiate 1/2 à 2 h de Météo-France à partir de l'observation radar et des modèles d'extrapolation ;
- la prévision synoptique et ses développements récents telle que la méthode des analogues (voir contribution de l'Equipe HMET, thèse S. Guilbaud, 1997 ; Guilbaud et Obled, 1998) pour l'estimation du cumul des précipitations à 12 h et 24 h d'échéance ;
- des informations plus qualitatives déduites par le prévisionniste de l'imagerie radar ou satellitale.

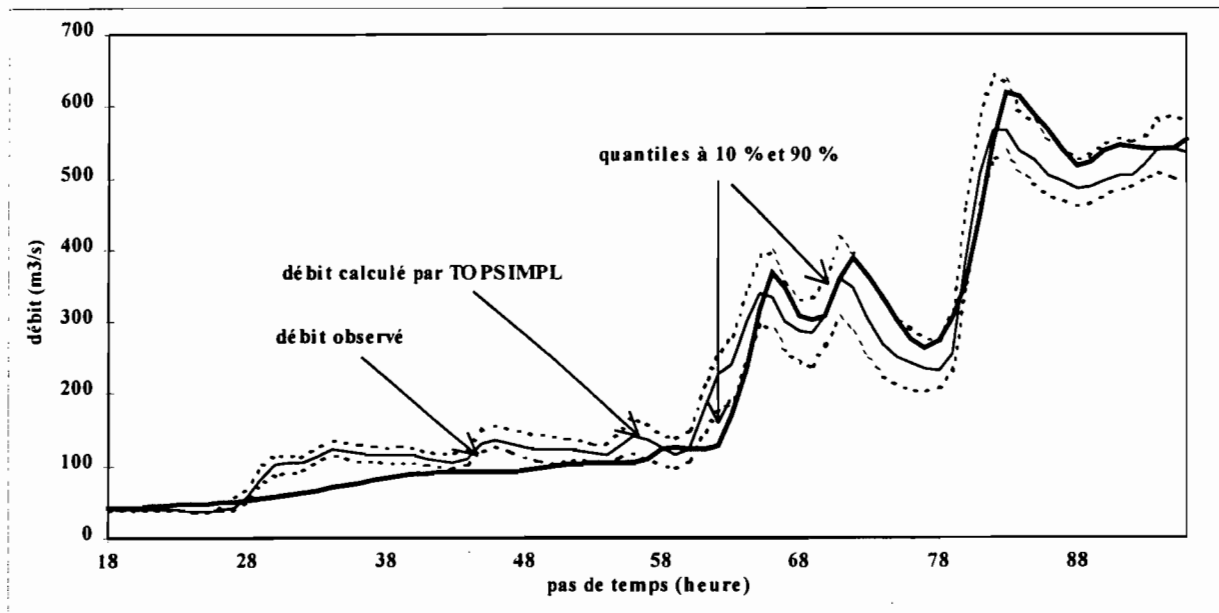
L'exemple de l'épisode du 2/11/94 sur le sous-bassin test d'Aulueyses (figure HSURF-16, Datin et col., 1998, thèse R. Datin en cours) montre **l'apport** très substantiel du générateur contraint par une prévision synoptique des cumuls journaliers à venir :

- en début et fin d'épisode la fourchette de prévision des débits est **plus étroite**, donc plus **informative** que celle qui est obtenue par le générateur qui serait uniquement conditionné par le passé ;
- en milieu d'épisode, les fourchettes équivalentes indiquent qu'une reprise importante des pluies est possible ce qui se vérifie d'ailleurs puisque **le pic est bien anticipé 12 heures à l'avance**.

BASSIN de VOGUE : épisode du 2 novembre 1994



a) Chronique de pluie avec intervalle de confiance à 80 %



b) Débits simulés correspondants avec la fourchette d'incertitude.

Figure HSURF-15 : Influence des incertitudes d'estimation de la pluie moyenne sur la simulation du débit par TOPSIMPL.

BASSIN d'AULUEYRES : épisode du 2 novembre 1994

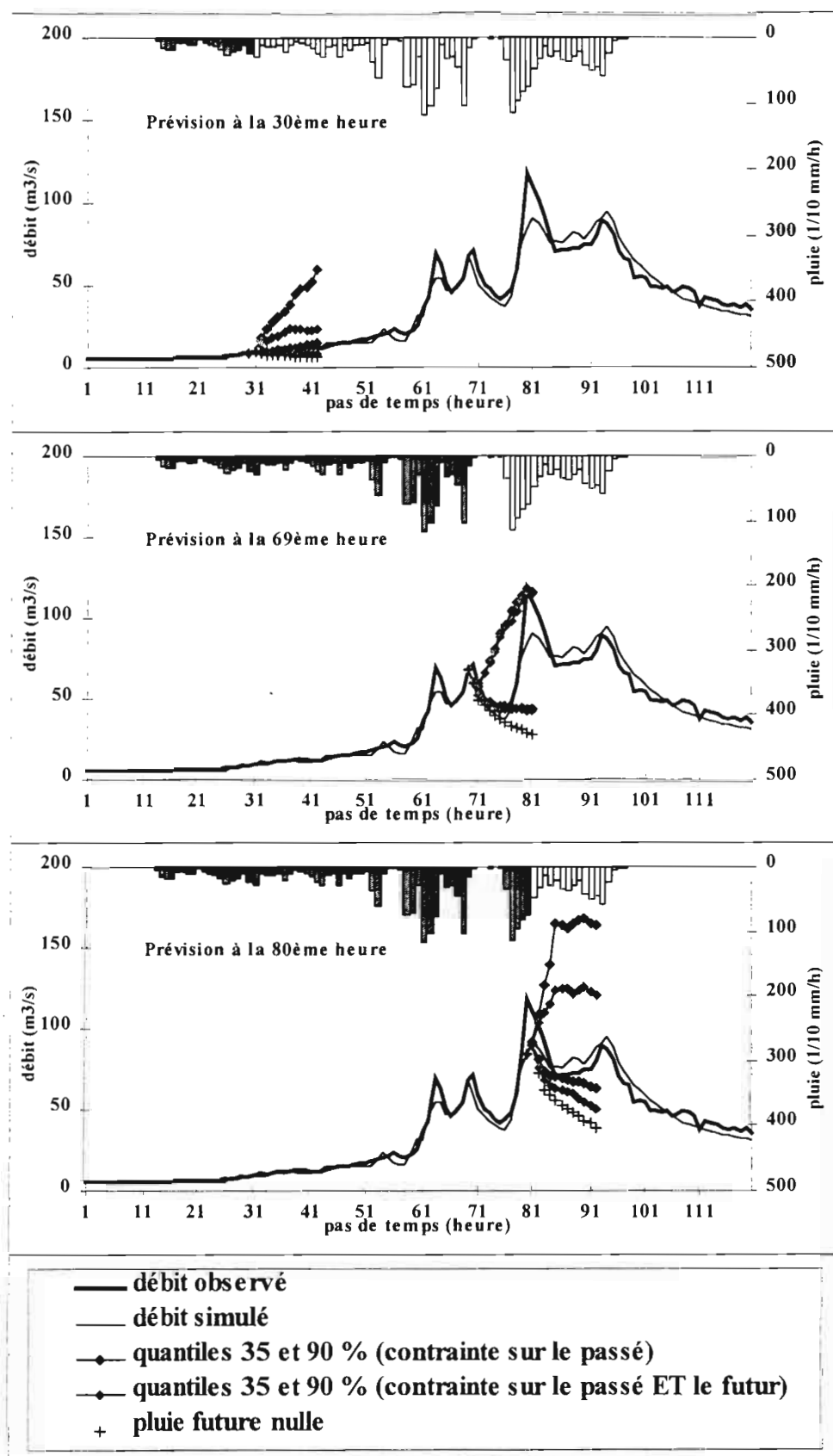


Figure HSURF-16 : Comparaison des fourchettes d'estimation des débits simulés prévus à différents pas de temps, suivant que le générateur est contraint ou non par les pluies journalières futures (R. Datin, thèse en cours, 1998).

PERSPECTIVES

Les perspectives se situent dans la poursuite de nos efforts visant d'une part, à une meilleure compréhension et représentation du fonctionnement hydrologique des bassins versants et de leur réseau hydrographique, d'autre part, à valoriser les acquis théoriques par le développement de méthodes et/ou d'outils susceptibles de contribuer à une estimation plus fiable des risques hydrologiques. Elles s'intègrent dans des actions programmatiques régionales (Programme fédérateur "Risques Naturels en région de montagne" du XI CPER Rhône-Alpes, Pôle Grenoblois d'Etude et de Recherche pour la Prévention des Risques Naturels), nationales (PNRH, PROSE, Programme SAVANES de l'Orstom) et européennes (INTERREG II de l'UE/DG XII) dans lesquelles l'Equipe a déjà des engagements contractuels. Pour chacun des axes précédemment définis, elles sont présentées ci-dessous.

1. Hydrologie physique.

Mise quelque peu en sommeil depuis le départ pour Bordeaux de J. M. Grésillon, l'activité de versant sera relancée, sous la conjonction de trois facteurs :

- le retour sur Grenoble de ce dernier et le recrutement récent de J.P. Vandervaere (voir tableau "mouvement des personnels").
- le rattachement scientifique au LTHE à compter du 1/01/97 d'une équipe Orstom/Sénégal (M. Estèves et O. Planchon, CR, J.M. Lapetite, TRE) qui conduit l'opération EMIRE (Expérimentation et Modélisation sur l'Infiltration, le Ruissellement et l'Erosion), du Programme SAVANES de l'Orstom auquel collaborent des chercheurs du LTHE au travers du projet RIDES (Ruissellement, Infiltration, Dépôt et Etats de Surface) soutenu conjointement par PROSE et PNRH (voir ci-dessus).
- l'affectation au LTHE, début mai 1998, de L. Descroix (CR Orstom), de retour du Mexique, qui a mené pendant 4 ans des études expérimentales sur versants qu'il convient d'interpréter et de valoriser.

Dans ce domaine, notre effort portera sur deux aspects complémentaires.

a) Au plan Expérimental

Le Laboratoire n'ayant pas les moyens (notamment humains) de gérer à lui seul le suivi d'un bassin versant dans son ensemble (et n'est pas persuadé de la pertinence d'initier une telle opération, compte-tenu du dispositif national SOURHY, mis en place sous l'égide du GIP "HydrOsystemes") souhaite néanmoins disposer, à proximité immédiate de ses locaux, d'une "plate-forme expérimentale de terrain" pour :

- tester in-situ des métrologies et des méthodes
- servir de support à la modélisation cognitive des transferts
- accueillir des activités pédagogiques (Formation initiale et continue)

C'est dans cette optique qu'un site a été récemment identifié sur la commune d'Herbeys située sur la partie haute du bassin versant du Verduret (15 km²). Le risque de crue à l'exutoire du bassin, à dominante encore largement agricole, mais dont l'urbanisation va croissant, a conduit les collectivités locales à susciter des études sur son fonctionnement hydrologique. L'instrumentation (très semblable à celle qui avait été mise en oeuvre sur le sous-bassin des Maurêts, voir ci-dessus) de plusieurs transects d'un versant en prairie, complétée par des campagnes de caractérisation (hydrodynamique, géophysique notamment) et l'analyse des données collectées permettra :

- l'identification des grandeurs physiques déterminantes pour la génération des écoulements
- le test d'hypothèses sur le fonctionnement hydrologique des versants
- l'évaluation de la pertinence d'approches descriptives dans les modèles hydrologiques.

b) Au plan de la modélisation, les données acquises sur les différents sites (région grenobloise, Thyse-Kaymor/Sénégal, Mexique) serviront de support à la modélisation mécaniste 2D des écoulements de surface et de subsurface avec, dans le cas sénégalais, l'intégration de données de micro-relief (obtenues par rugosimétrie) dans un modèle d'érosion hydrique, développé en parallèle (thèse B. N'Diaye en cours, collaboration avec l'Equipe HZNS).

2. Modélisation hydrologique du bassin versant.

Dans cet axe, l'accent sera mis sur deux aspects :

a) Développement de modèles distribués.

Il apparaît que, sans remise en cause de certaines hypothèses initiales, l'approche modélisatrice TOPMODEL marque le pas (et nous avons montré précédemment notre contribution récente à l'obtention de ce pallier) dès lors que l'on passe des bassins de quelques dizaines à plusieurs milliers de km². En effet, ce passage d'échelle introduit de nouveaux processus, ou pour le moins modifie leur hiérarchie. Ainsi, afin de préparer le **couplage de l'hydrologie avec la météorologie**, et de contribuer à répondre à la question : *"A quelles échelles de temps et d'espace les systèmes hydrologiques sont-ils sensibles à la variabilité spatiale des champs pluvieux, ou de la fusion nivale ?"*, notre effort portera sur le développement de modèles nouveaux (Programme de G.M. Saulnier, thèse de K. Durot, en cours) par relaxation de certaines hypothèses utilisées jusqu'à maintenant. C'est ainsi que seront prises en compte :

- une alimentation des nappes non **uniforme** dans l'espace
- l'éventualité de la **coexistence de plusieurs nappes**
- l'évolution temporelle de la **dynamique spatiale du drainage latéral** dans les bassins.

Ces travaux, soutenus par le PNRH, s'appuieront sur le site pilote de l'ARDECHE et bénéficieront de l'implantation courant 1999 du radar bande X de l'Equipe HMET.

Notre participation au groupe "Hydrologie" du projet MAP (auquel nous avons déjà fourni les données de l'épisode "Vaison-la Romaine") constituera également une excellente opportunité de progrès dans cet aspect.

Enfin, cette activité s'inscrit pleinement dans une réflexion plus large qui sera menée au sein de l'AMHYE, sur la modélisation couplée hydrologique et météorologique incluant les interactions sol-biosphère continentale-atmosphère (voir les perspectives des Equipes HZNS et HMET).

b) Evaluation des incertitudes.

Plusieurs études (e.g. Saulnier et col., 1997) ont montré que les modèles distribués à base physique, en raison de leur inévitable sur-paramétrisation, pouvaient simuler les variables mesurées (servant de test du modèle) de plusieurs manières différentes sans qu'il soit possible de les départager. Le développement d'une approche **bayésienne** [de type Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE, voir Freere et al., 1996)] appliquée à une modélisation hydrologique

(en l'occurrence et dans un premier temps TOPMODEL en ce qui nous concerne) (collaboration CRESS/Univ. Lancaster, CEREG/Strasbourg) nous permettra de :

- quantifier les incertitudes induites par cette sur-paramétrisation
- déterminer (en liaison avec le projet MInHYE du Laboratoire) les informations complémentaires à acquérir pour réduire ces dernières par une meilleure contrainte du modèle.

3. Hydraulique fluviale et environnement.

a) L'activité "hydraulique fluviale" devrait monter en puissance avec l'arrivée de Ph. Belleudy, Ingénieur au LHF (à 50 %) et PAST/ENSHMG et dont la recherche associée (0,25 ETP) se fera au sein de notre Equipe. Le programme de recherche (mené en collaboration avec le LAMA et le Laboratoire "Écosystèmes Alpains de Grenoble) concerne la **modélisation des champs d'inondation** avec mobilisation des **sédiments** et influence de la **végétation** (projet soutenu par le Pôle Grenoblois "Risques Naturels" et soumis au récent Appel d'Offre "Crues et Inondations" du MATE). Il s'appuiera sur :

- les données collectées à la station hydrométrique du Campus (voir paragraphe des résultats)
- des campagnes de caractérisation de la morphologie du lit de l'Isère
- l'utilisation des codes numériques TELEMAC 2D (pour l'hydrodynamique), SUBIEF (pour le calcul des MES) et SEDICOUP (pour le transport sédimentaire et l'évolution des profils en long), mis à notre disposition par le LHF-Grenoble.

b) Environnement aquatique.

Cette activité s'est développée sur incitation d'EDF qui a mis à disposition de l'ENSHMG une Chaire Industrielle incluant l'affectation d'un Ingénieur (0,25 ETP) et le financement d'une bourse de thèse. Les résultats scientifiques obtenus (voir paragraphe "Résultats") et les efforts substantiels développés de part et d'autre ont permis de mesurer qu'il s'agit d'un thème porteur avec la montée en puissance des demandes de recherche sur la qualité des eaux superficielles. Néanmoins, il ne paraît pas sage et crédible de poursuivre à long terme dans cette voie, en se fondant uniquement sur le mécénat et ses aléas, sauf si l'une des tutelles du Laboratoire considère cette thématique comme prioritaire et y affecte un poste de chercheur ou d'enseignant-chercheur permanent.

4. Risques hydrologiques et Ingénierie.

Outre la poursuite de notre activité de mise au point et de diffusion d'outils "opérationnels" tels que TOPSIMPL, il est bien évident que l'essentiel de l'activité de l'Equipe dans ce domaine concernera l'opération ARDECHE, soutenue notamment par le XI CPER et le PNRH.

- A ce jour, les plates-formes opérationnelles de Météo-France et d'EDF sont connectées et permettent, outre la gestion en temps réel de la crue, l'archivage de tous les épisodes significatifs.
- Pour sa part, l'Equipe, même si elle travaille en temps différé sur les épisodes archivés, poursuivra (thèse I. Zin pour laquelle un financement européen vient d'être sollicité) son activité de modélisation incluant le traitement des incertitudes de l'ensemble de la chaîne de prévision, et l'utilisation de scénarii de pluies futures à 6 h et 12 h intégrant toute information météorologique disponible

DE SAINT SEINE Jacques

Monographie hydrologique et hydraulique du Paillon de Nice en vue de la gestion du risque inondation.

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble

12 Avril 1995

Jury : Président : THIRRIOT C.

Rapporteurs : OBERLIN G., LABORDE J.P.

Examineurs : GASTAUD J.P., SICCARDI F., OBLED Ch.

Résumé

Ce travail comporte d'abord une monographie hydraulique et hydrologique du bassin du Paillon de Nice.

Son objet initial était de collecter et mettre en oeuvre les outils actuellement disponibles pour l'hydrologue et l'hydraulicien : outils de prédétermination des débits de crue, outils de prévision sur le mécanisme de formation des crues et outils de propagations des ondes de crue dans l'arborescence du réseau.

Pour commencer, une analyse fréquentielle classique débouche sur une cartographie réglementaire (crue type centennale) dans laquelle l'aléa et la vulnérabilité sont figés dans le concept de la crue de projet.

L'effort a ensuite porté sur la prévision : prévision par propagation puis par modélisation pluie-débit. Outre la description des méthodes et des performances obtenues, tout ce développement d'outils a mis en évidence le rôle critique de l'échéance et de la durée d'intervention disponible pour mettre en sécurité les biens et les personnes. Cela nous a conduit à reconsidérer la notion initialement statique du risque sous deux aspects :

- du côté aléa ne plus se focaliser sur la notion de période de retour associée à son débit de projet car trop incertain par manque de données,
- du côté vulnérabilité reconnaître que celle-ci peut varier sensiblement même dans la durée de l'événement en fonction de la durée d'intervention disponible et du degré de préparation du tissu économique concerné.

Mots clés : Monographie du Paillon. Historique des crues. Contexte géomorphologique et hydroclimatique. Analyse de la vulnérabilité. Hydraulique des champs d'inondation. Crues de projet. Système d'annonce de crue. Cartographie de zones inondables. Plans d'interventions.

TAHA Ammar

Etude expérimentale et numérique de la contribution des eaux infiltrées à la formation des débits de crues en zone méditerranéenne. Application à un versant du Real Collobrier.

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.

12 Mai 1995

Jury: Président : OBLED Ch.

Rapporteurs : MEROT Ph., TRAVI Y.

Examineurs : GRESILLON J.M., VAUCLIN M., AMBROISE B., LAVABRE J.

Résumé

L'objectif de ce travail est de contribuer à la compréhension du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant méditerranéen, notamment à l'occasion de ses crues.

Il est composé d'un premier volet expérimental destiné à l'observation du comportement des eaux souterraines. Ce volet inclut des mesures de pression de l'eau dans le sol et de niveaux des nappes (fugitives ou pérennes) sous un versant (ligne de plus grande pente perpendiculaire à la rivière), et une analyse approfondie des sols du versant : granulométries, conductivités hydrauliques in situ mesurées à l'aide de différents appareillages, mesures de la rétention en eau des sols, etc... Les propriétés hydrodynamiques des sols en place sont également décrites.

Utilisant cette description hydrodynamique, on tente ensuite de modéliser le comportement du versant lorsqu'il est soumis à la pluie. La modélisation cherche à reproduire les infiltrations et les mouvements de nappes observés. Pour ce faire, on développe un modèle d'infiltration et de montée de nappe dans une zone inclinée d'un sol multicouche. Pour résoudre l'équation de Richards différentes méthodes ont été développées. La meilleure, dans notre travail, s'avère être celle qui utilise les différences finies avec un procédé itératif des directions alternées.

Les résultats de la modélisation confirment qu'en cas de pluies importantes, la nappe peut s'élever relativement rapidement à proximité de la rivière et l'alimenter. Toutefois, les forts débits ne peuvent s'expliquer que par la saturation de l'ensemble du profil du sol qui engendre la montée de ces nappes et par les écoulements de surface que ces aires saturées entraînent.

Mots clés : Hydrologie - Bassin Versant - Versant - Infiltration - Surface contributive - Nappe - Sol - Modèles

Abstract

Experimental and Numerical study of the contribution of infiltrated waters to the formation of flood flows in the mediterranean area : application to a hillslope in "Réal Collobrier".

The objective of this work was to improve the understanding of the hydrological processes of a mediterranean catchment, especially during floods.

This study consisted of an experimental and a numerical part. The experiments were aimed to observe the groundwater behaviour in a hillslope (cross-section of steepest slope perpendicular to the river) by measuring soil water pressure and groundwater levels (temporary and permanent). Also, the granulometry, the in situ hydraulic conductivity (measured by different devices), the soil water retention curves and hydrodynamic properties determined on site of the hillslope soils were carefully analysed.

This hydrodynamic characterisation was then used to model the hillslope hydrological processes during rainfall and to simulate the observed infiltration and groundwater level variations. A specific model was developed for an inclined multi-layer terrain. To solve the Richard's equation several methods were derived, and the onemost applied in this study used the finite-difference method with iterative processes in alternating directions.

The results of the simulation confirmed that during strong rainfall the groundwater level in the vicinity of the river can raise relatively fast, causing increased discharge into the river. However, the strong stream flows can only be explained by the saturation of the soil profile as a whole, causing the raise of the groundwater levels, and by the overland flow caused by saturation of the terrain.

LE MEILLOUR Françoise

Etude expérimentale et numérique de la contribution des eaux de surface et de subsurface à la formation des crues. Conséquences sur l'hydrogramme d'un bassin versant. Application au Real Collobrier.

Docteur de l'Université Joseph Fourier - Grenoble I

12 Janvier 1996

Jury : Président : POCHAT R.

Examineurs : AMBROISE B., CAPPELAERE B., OBLED Ch., GRESILLON J.M.,
VAUCLIN M.

Rapporteurs : BATHURST J., POCHAT R.

Résumé

L'objectif de ce travail est une contribution à l'analyse des processus de formation des crues sur un bassin méditerranéen à l'occasion des épisodes pluvieux. Nous avons essayé de comprendre les caractéristiques hydrologiques d'un bassin par une démarche mécaniste. Pour cela, nous avons étudié la part, dans le débit de la rivière pendant les crues, du débit provenant d'un écoulement soit par ruissellement généralisé, soit souterrain ou de subsurface, soit sur zones saturées contributives. Le bassin versant a été schématisé comme la succession de deux unités hydrologiques : le versant et le réseau hydrographique. Ainsi, la première partie de ce mémoire est consacrée à l'analyse mécaniste des apports à la rivière à l'échelle du versant. Pour chaque processus, une étude expérimentale a été menée afin d'étudier les lois qui régissent ces écoulements. Nous avons montré que les écoulements en surface ne suivent pas une loi d'écoulement plan turbulent. Les écoulements en litière, immédiatement sous la surface du sol, suivent une loi de Manning. Enfin, les écoulements de subsurface suivent une loi de Darcy. A l'échelle du versant, la modélisation des écoulements avec les lois mesurées ne les entretient jamais assez longtemps pour expliquer les hydrogrammes de bassin. La seconde partie de ce mémoire consiste en une modélisation à l'échelle du bassin des écoulements dans le cas des trois processus de formation des crues. Cette modélisation a cherché à reproduire les hydrogrammes du bassin. On montre que lorsque le bassin est sec, les écoulements proviennent principalement du ruissellement généralisé. Lorsque le bassin est plus humide, les pluies mettent d'abord en activité des écoulements souterrains et de subsurface, puis si les pluies sont importantes, le mécanisme d'écoulement sur surfaces saturées contributives devient prépondérant.

Mots clés : Formation des crues. Loi de rugosité. Mécanique. Versant. Réseau hydrographique. Simulation numérique. Ecoulement de surface et de subsurface. Ruissellement plan incliné.

Abstract

The characterization and modelling of surface and subsurface flow during rainfall-runoff events. Consequences on the catchment hydrograph. Application to Real Collobrier's catchment.

This thesis deals with runoff generation mechanisms on a catchment located near the Mediterranean Sea. Applying the principles of fluid mechanics the characteristics of the hydrographs were interpreted for this basin. Three runoff processes were studied : infiltration excess flow, subsurface flow and saturation overland flow. The catchment was divided into two components : the hillslopes, represented by inclined planes, and the channel. The first part of the report deals with the mechanics of the flow occurring on the hillslopes. Each of the three flow processes was studied in an experiment in order to understand the hydraulics of flow. It was found that turbulent free surface flow relationships do not apply to surface flow due to rainfall, but can be used for flow in the mulching zone. Subsurface flow was explain using Darcy's law. At the hillslope scale, the modelled hydrographs are short in duration and inconsistent with the catchment hydrographs. The second part of the report deals with modelling the flow at the basin scale using the three generation mechanisms to try to reproduce the recorded hydrographs. The results are the following : when the catchment is dry, infiltration excess flow prevails. When the catchment is more humid, precipitation generates subsurface flow. If the amount of precipitation is important, saturation overland flow is the prevailing process.

SAULNIER Georges-Marie

Information pédologique spatialisée et traitements topographiques améliorés dans la modélisation hydrologique par TOPMODEL.

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.

15 mars 1996

Jury : Président : MUSY A.

Examineurs : AMBROISE B., VIDAL-MADJAR M.D., GIVONE P., OBLED Ch.

Rapporteurs : MEROT Ph., BEVEN K.

Résumé

Ce travail présente un modèle hydrologique à base physique (TOPMODEL) puis propose des développements substantiels. Ce modèle a prouvé sa capacité à bien reproduire les phénomènes de crues dans les régions tempérées humides ou méditerranéennes. Il introduit la notion de zones saturées contributives et utilise explicitement la topographie des bassins.

Dans une première étape, une variation spatialisée des épaisseurs efficaces des sols a été introduite. Celle-ci correspondent aux profondeurs à travers lesquelles se propagent l'essentiel des flux d'eau générant les crues. Ensuite, des études de sensibilité ont permis de cerner deux questions.

La première concerne la compréhension de l'interaction entre la résolution de la topographie et la valeur de la conductivité efficace à saturation du bassin. Cette relation a déjà été observée empiriquement par d'autres auteurs, et quelques liens analytiques partiels avaient déjà été proposés. Mais ces études n'étaient pas suffisantes sur notre bassin d'application. Nous avons pu explicitement identifier la relation analytique entre la maille du M.N.T. et la conductivité à saturation efficace sur le bassin. La deuxième question abordée est, d'une part la prise en compte du réseau hydrographique dans le calcul de l'indice hydro-topographique, et d'autre part l'identification des zones temporairement saturées mais non connectées au réseau. Dans l'analyse qui est faite de la topographie, nous proposons de différencier les pixels du bassin contenant, ou ne contenant pas de réseau hydrographique. Une solution propose également de traiter séparément les versants droit et gauche des pixels traversés par le réseau. Enfin, la question des zones saturées initialement déconnectées du réseau, mais pouvant brutalement se connecter et provoquer ainsi de fortes non-linéarités dans la génération des crues, a été énoncée et abordée.

Mots clés : TOPMODEL. Modélisation à base physique. Indice hydro-pédo-topographique. Epaisseur efficaces des sols. Réseau hydrographique. Conductivité à saturation. Zones saturées contributives.

Abstract

Use of spatially distributed soil information and improved topographic analyses in the hydrological modelling by TOPMODEL.

This report first introduces and then suggests substantial developments of a physically-based hydrological model (TOPMODEL). This model has proved its capacity to reproduce satisfactorily flood hydrographs in temperate but also in Mediterranean regions. It is based on the saturated areas concept and makes intensive use of the topography of the catchments.

As a first step, some spatially varying of effective soils depths have been input in the model. Effective soils depth is understood as the depths where the water fluxes, that are the most dominating for flood process, mainly take place. Then sensitive studies raised two questions. First of those is the understanding of the relationship between the topographic resolution of the DTM and the effective value of the conductivity at saturation on the catchment. This relation has already been pointed at by empirical observation, and some partial analytical understanding has been submitted in the bibliography. But those results were not sufficient to explain the observed interactions on our catchment. So, we fully sorted out the analytical link between the mesh size of the DTM and the calibrated effective value of conductivity at saturation. The second one consists first in accounting for the hydrographic network in the computation of the hydro-topographic index, and secondly in the identification of the saturated areas that are not connected to the channel network. In the topographic analyses, we allow to make difference between pixel that are, or are not, crossed by a channel. A solution consists in differentiating between right and left hillslope of the pixel crossed by the channel. Finally, the question of saturated areas, previously disconnected from the channel network, that may suddenly become connected, therefore generating some strong non-linearity in flood process, has been introduced and processed.

SCHOBER Anita

Analyse de la variabilité des paramètres caractéristiques de l'hydrologie d'un bassin versant et modélisation des crues en présence de données hydrologiques succinctes.

Docteur de l'Université Joseph Fourier - Grenoble I

22 mars 1996

Jury : Président : OBERLIN G.
Examineurs : RODRIGUEZ Y., OBLED Ch., GRESILLON J.M.
Rapporteurs : CHOCAT B., MICHEL C.
Invité : LAVABRE J.

Résumé

Le but de cette étude est d'élaborer une stratégie de prédétermination ou même de prévision sur les bassins pour lesquels les données hydrométéorologiques sont rares ou inexistantes. Dans une première partie deux méthodes susceptibles d'apporter rapidement des informations hydrologiques sont explorées : une méthode expérimentale à base de simulations de pluie physique sur diverses petites parcelles d'un bassin versant s'avère difficile à mettre en œuvre notamment si le sol est couvert de végétation. L'autre approche est statistique. En analysant les événements pluie-débit faibles à moyennement forts sur cinq bassins versants dont quatre dans la région méditerranéenne et un en Afrique, nous tentons de découvrir les évolutions des réactions d'un bassin versant en vue d'une extrapolation en situation extrême. On examine ainsi quelles sont les grandeurs caractéristiques de la pluie et l'état initial d'un bassin versant qui jouent un rôle sur la fonction de production et sur la fonction de transfert. On étudie en particulier la variabilité de la fonction de transfert sur un bassin versant donné. Dans la deuxième partie on présente des essais de modélisation en profitant des résultats antérieurs. Le modèle empirique intitulé « STORHY » est ajusté selon nos critères. On propose deux versions du modèle, une version avec trois variables d'initialisation et un paramètre et une autre version paramétrique sans variables d'initialisation. Les performances de la dernière catégorie sont étudiées et comparées à celles d'un autre modèle (GR3H). Le modèle avec trois variables d'initialisation est analysé en vue de son utilisation dans un contexte de données rares et semble donner des résultats encourageants.

Mots clés : Modélisation pluie-débit. Bassins non jaugés. Fonction de production. Hydrologie. Caractéristiques des hydrogrammes. Simulation des pluies. Hydrogramme unitaire. Prédétermination des crues.

Abstract

The variability of the parameters characterising the hydrological response of a watershed and the modeling of flood hydrographs if little data is available.

The objective of this study is to elaborate a strategy of predetermination and even forecasting in cases where little hydro-meteorological data is available. In a first part two methods are tested that might lead quickly to a better knowledge of the catchment behavior : an experimental approach based on physical rainfall simulation on a number of small experimental plots on a catchment was rather difficult to carry out particularly if the soil is covered by vegetation. The other approach is based on the statistical analysis of low to mean intensity rainfall-runoff events. Using data from five catchments (four in the Mediterranean region and one in Africa) we have tried to discover the evolution of the catchment behaviour with view to an extrapolation for extreme events. We examine which are the characteristics of the rainfall and the initial moisture condition of a catchment that influence to loss function and the transfer function. We have particularly studied the variability of the transfer function for a given catchment. In the second part we present some modeling attempts using the results obtained in the first part. An empirical model named STORHY is adjusted according to our criteria. We propose two versions of the model ; one version which requires three variables of initialisation and one model parameter and another « parametrical » version that has no variable of initialisation. The performance of the second version is studied and compared to another model (GR3H). The model using three variables of initialisation is analysed with respect to situations where little data is available and seems to produce encouraging results.

Modélisations statistiques et déterministes des paramètres physico-chimiques utilisés en surveillance des eaux de rivières. Application à la validation des séries de mesures en continu (cas de la Loire Moyenne).

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble

[Thèse effectuée dans le cadre d'une convention entre EDF (Chaire Industrielle) et l'ENSHMG].

4 Décembre 1997

Jury : Président : GENTIL S.
Examineurs : GOSSE Ph., POIREL A., OBLED Ch.
Rapporteurs : BERNIER J., M. MEYBECK M., ROUX A.L.

Résumé

Pour la surveillance hydroécologique des centrales nucléaires, des stations automatiques mesurent en continu quatre paramètres physico-chimiques : la température de l'eau, l'oxygène dissous, le pH et la conductivité électrique. Ces stations produisent à chaque heure des mesures, de la qualité de l'eau prélevée en amont, en aval et au droit du rejet des centrales.

Ce travail propose un ensemble d'outils permettant la critique et la validation de ces données. Ces outils devraient permettre de détecter les valeurs aberrantes, les discontinuités et les dérives des enregistrements les plus fréquemment observées. La procédure mise au point compare, à travers des tests statistiques classiques, la mesure à d'autres informations : autres mesures ou prévisions de « modèles ». Les modèles s'appuient soit sur les propriétés internes de la série temporelle de chaque variable considérée, soit sur des relations avec des variables externes hydro-météorologiques : température de l'air, rayonnement solaire et débit. Ces liaisons peuvent s'exprimer soit par un modèle totalement ou partiellement déterministe, soit par un modèle statistique, l'un comme l'autre nécessitant une calibration sur des données anciennes. On a notamment utilisé les modèles de Box et Jenkins, les réseaux de neurones ou des modèles déterministes comme CALNAT ou une adaptation de BIOMOX (EDF-Chatou). Ces méthodes et outils ont été développés et appliqués en validation croisée sur cinq années de données pour la Loire à Dampierre (1990 - 1994).

Mots clés : Oxygène dissous, Conductivité électrique, Température de l'eau, Loire Moyenne, Critique des données, Réseau de neurones, Box et Jenkins, Tests statistiques, Qualité des rivières.

Abstract

Statistical and deterministic modelling of four physical chemical parameters used for river quality monitoring. Application : on line data series validation (case study : Middle Loire).

Automated gauging stations are used to monitor the hydroecological effects of nuclear power stations. These stations continuously measure four physical chemical parameters: water temperature, dissolved oxygen content, pH and electrical conductivity. Every hour, they provide the results of water quality measurements on samples taken upstream, downstream and at the site of the power plants.

This work proposes a series of tools for critically analysing and validating the collected data. They should provide a means of detecting the abnormal values, discontinuities and recording drifts most frequently observed. Using conventional statistical tests, the procedure developed compares the measured value with other information: other measurements or models forecasts. The models are based either on the internal properties of the time-dependent series of each variable considered, or on relationships with external hydro-meteorological variables: air temperature, solar radiation and flow rate. These links can be expressed either by a totally or partially deterministic model, or by a statistical model, both of which require prior calibration using past data. In particular, the models of Box and Jenkins, neural networks or deterministic models such as CALNAT or an adaptation of Biomox (EDF-Chatou) have been used. These methods and tools were developed and applied with a cross-validation procedure covering five years of data records for the river Loire at Dampierre (1990-1994).

VINE Pascal

Identification de l'hétérogénéité spatio-temporelle des comportements hydrologiques. Apports de la télédétection satellitale. Application aux bassins versants du Real Collobrier (France) et de la Mare d'Oursi (Bourkina-Faso).

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble
(Thèse en collaboration entre le LTHÉ et le CEMAGREF-ENGREF Montpellier)
17 Décembre 1997

Jury : Président : HUBERT P.
Examineurs : CHASTAN B., LACAZE B., OBLED C., GRESILLON J.M.
Rapporteurs : CHEVALLIER P., SEGUIN B.

Résumé

La modélisation hydrologique distribuée est confrontée à deux difficultés majeures qui sont, d'une part, la méconnaissance du rôle hydrologique de certains facteurs pourtant essentiels à la genèse des écoulements (ex : états de surface, végétation), et d'autre part, une faible capacité à intégrer les changements d'échelle (passage du local au global).

Dans ce travail, nous montrons comment des segmentations de l'espace, obtenues notamment par télédétection, aident à l'identification de l'hétérogénéité spatio-temporelle des comportements hydrologiques qui dominent à l'échelle des bassins versants. L'objectif est de préciser le rôle de différents facteurs et de poser les bases de nouveaux modèles. Deux études sont conduites en sites sahélien et méditerranéen.

La première repose sur une approche désagrégative. A partir de coefficients d'écoulement de bassins versants observés à différents pas de temps, nous étudions le rôle des facteurs "état de surface" et "végétation". Dans le cas où ces facteurs sont explicatifs des écoulements, une démarche de modélisation distribuée est proposée. D'autres segmentations fondées sur des critères morphologiques sont testées et mettent en évidence le rôle des zones saturées sur les bassins méditerranéens.

La seconde s'appuie sur une analyse hydrologique globale. Elle concerne des petits bassins versants forestiers méditerranéens incendiés. La télédétection permet l'analyse de la reprise végétale après incendie et la comparaison de cette reprise avec l'évolution temporelle des caractéristiques hydrologiques des bassins. Le rôle hydrologique (production et transfert) de la végétation est ainsi mis en évidence.

Ces deux études confirment l'intérêt des données de télédétection pour le développement d'une véritable hydrologie distribuée.

Mots clés : Hydrologie distribuée, Télédétection, Etats de Surface, Feu de forêt, Changement d'échelle, Désagrégation, Coefficient d'écoulement, Végétation.

Abstract

Identification of hydrological behavior heterogeneity in space and time. Contribution of remote sensing data. Application to Real Collobrier (France) and Mare d'Oursi (Burkina-Faso) watersheds.

The development of hydrological distributed models is limited by two major difficulties, which are, on one hand, the lack of knowledge concerning the role of certain runoff conditional factors, such as surface features of soils or vegetation, and on the other hand, a weak capacity to accept scale transfers.

In this work, remote sensing data are used to subdivide catchments in order to map hydrological variability at the watershed scale. The objective is to try to assess the role of different factors and to help the development of new distributed models.

Two studies are undertaken on Sahelian and Mediterranean test sites.

The first one is based on disaggregation approach using runoff coefficient as hydrological variable. We analyze the hydrological role of "surface features of soils" and "vegetation" at different time scales. When these factors explain a large part of hydrological behavior of catchments, a distributed model is proposed. Others segmentations linked to morphological criteria are tested. They put in evidence the role of saturated areas in the case of Mediterranean basins.

The second one uses global hydrological analysis. It concerns small Mediterranean catchments destroyed by a forest fire. Vegetation regrowth is mapped by remote sensing and compared to hydrological behavior of catchments after fire. Vegetation impact, on runoff production and transfer, is shown.

These studies confirm the interest of remote sensing data for the development of a real distributed hydrology.

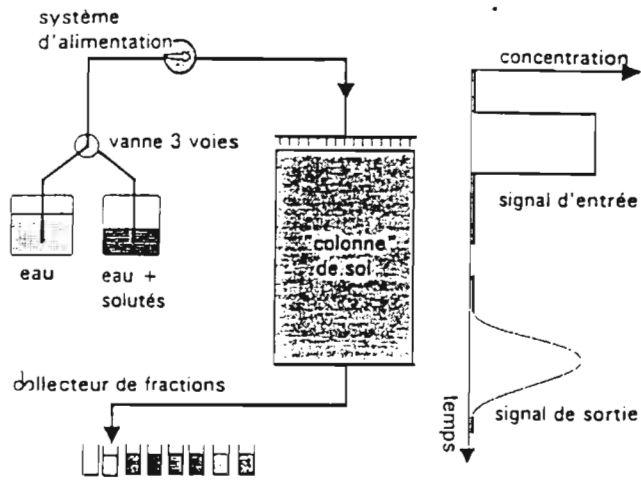
QUELQUES REALISATIONS TECHNOLOGIQUES

QUELQUES MOYENS DE MESURES ET D'ANALYSES

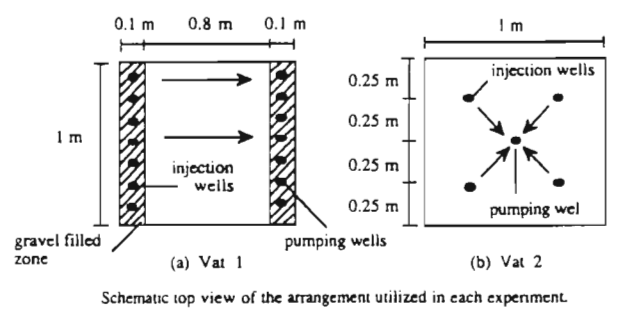
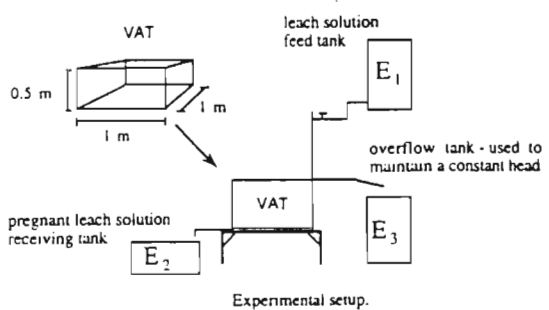
QUELQUES RESULTATS

- I -

**Schémas de principe de dispositifs expérimentaux
développés pour l'étude des transferts couplés
"hydro-bio-physicochimiques" dans les milieux poreux**

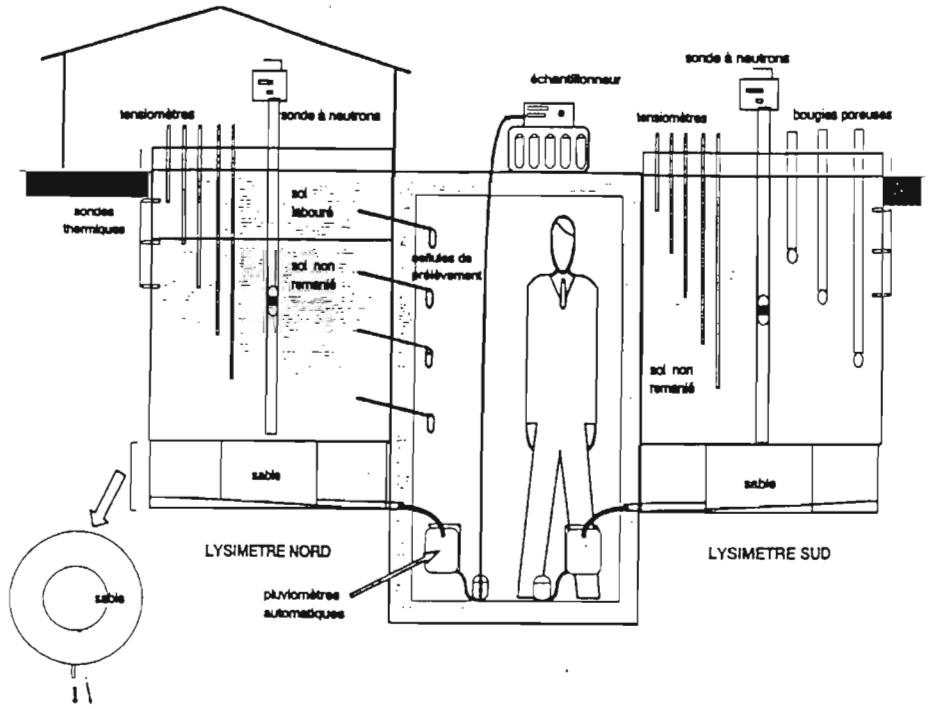


A - Colonne 1D de Laboratoire

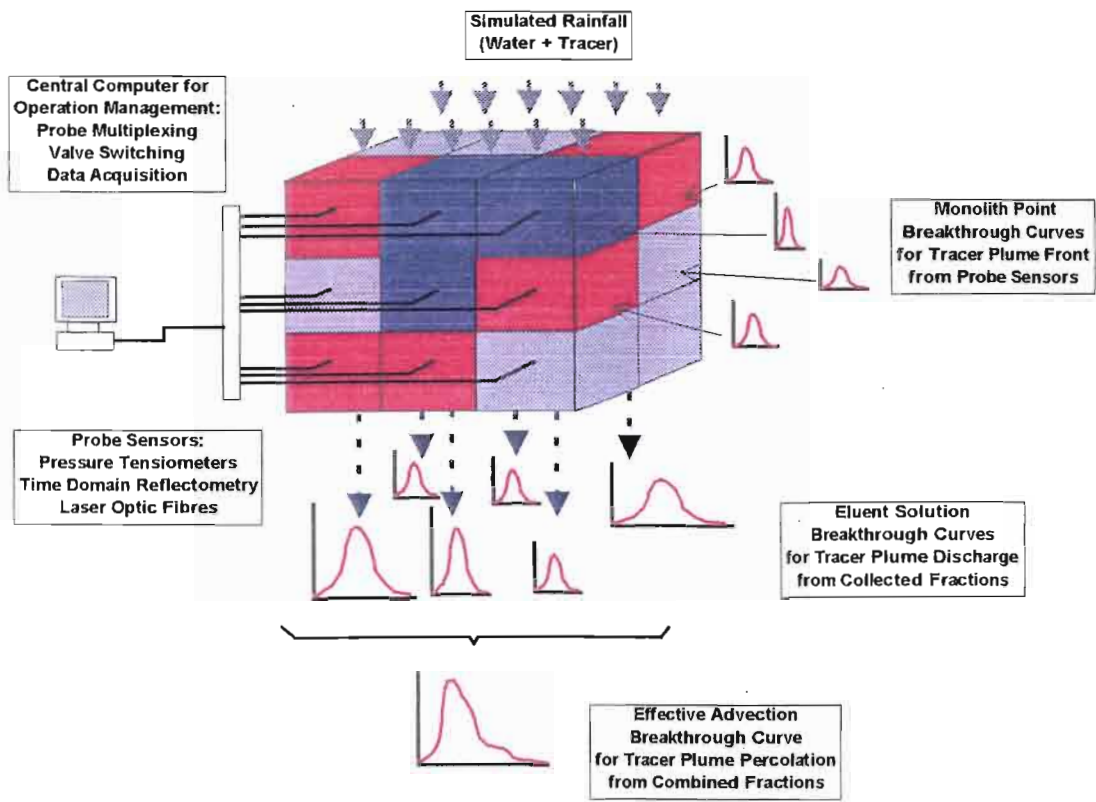


Schematic top view of the arrangement utilized in each experiment.

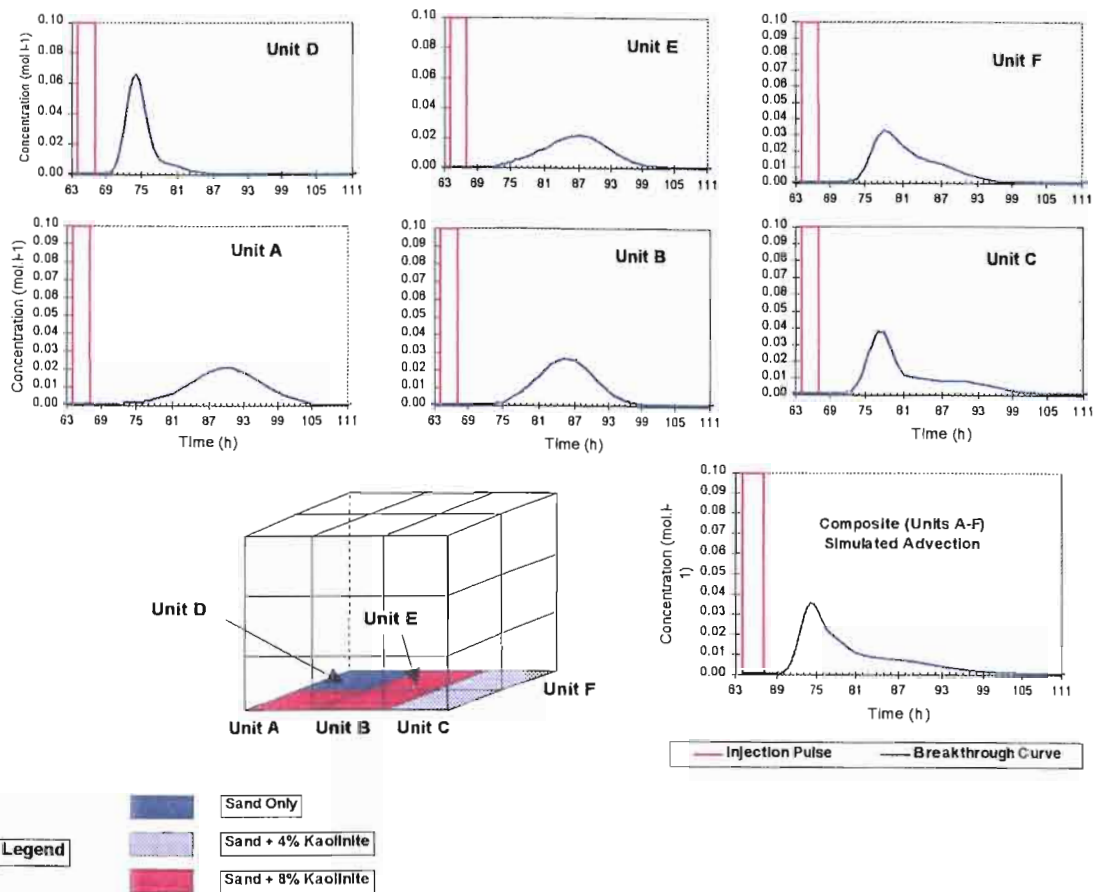
B - Modèle physique 2D (col. LTHE/DIHA-Santiago)



C - Lysimètre de terrain (Observatoire de la Côte-Saint André)



- a -



- b -

Modèle physique pour l'étude des écoulements préférentiels (a) et résultats de calcul des 6 courbes de percée de la face inférieure (b) (d'après C. Peugeot, et col., 1997)

D - Modèle physique 3D (col. LTHE/CCR.UE-Ispra)

Cellules expérimentales développées pour l'étude des modèles de conversion permittivité électrique/teneur en eau des milieux poreux

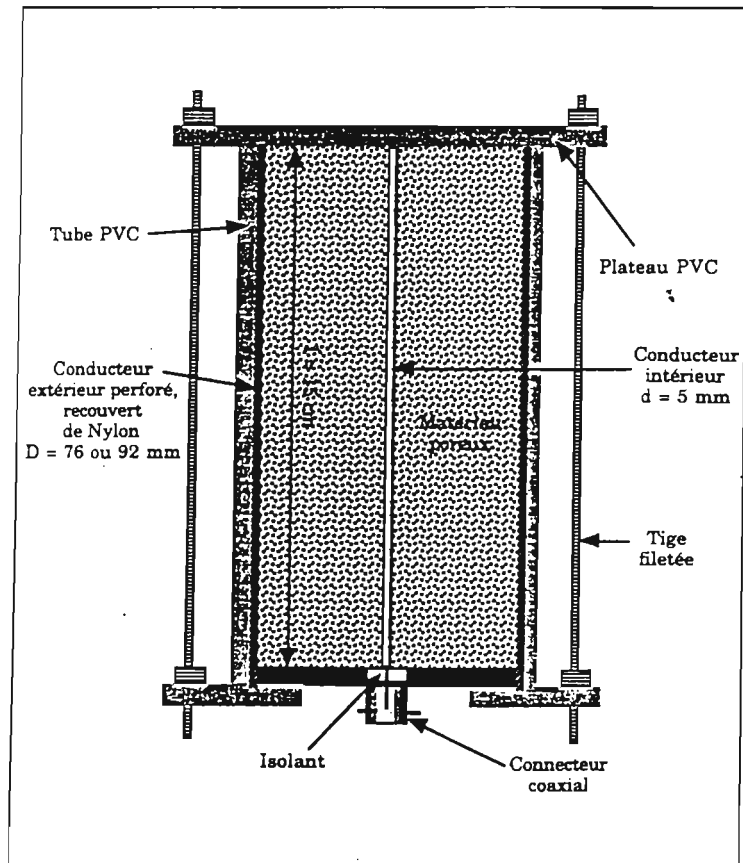


Schéma de la sonde coaxiale utilisée pour les matériaux non-consolidés

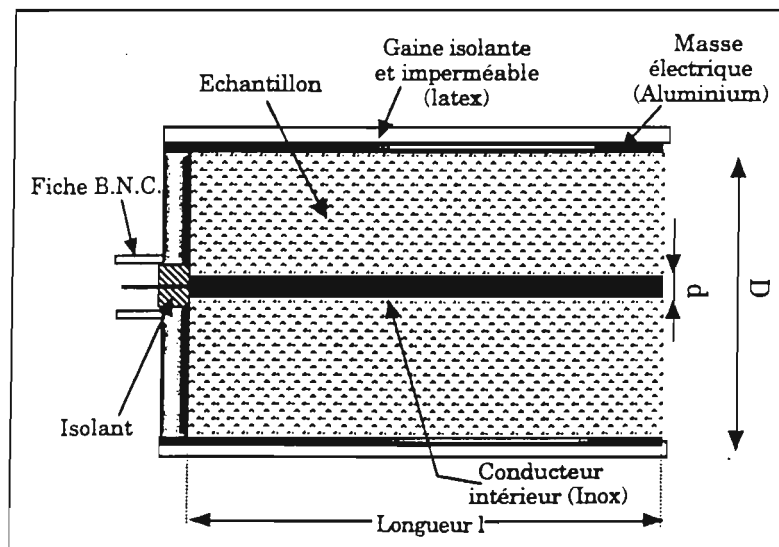
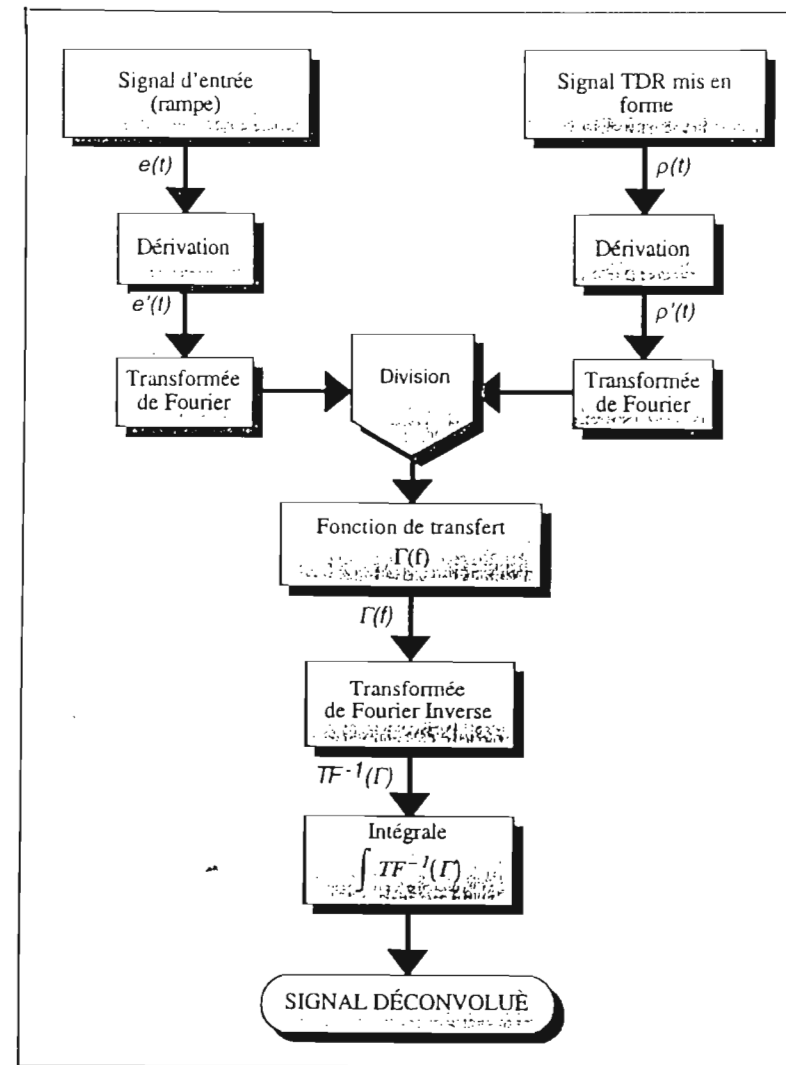
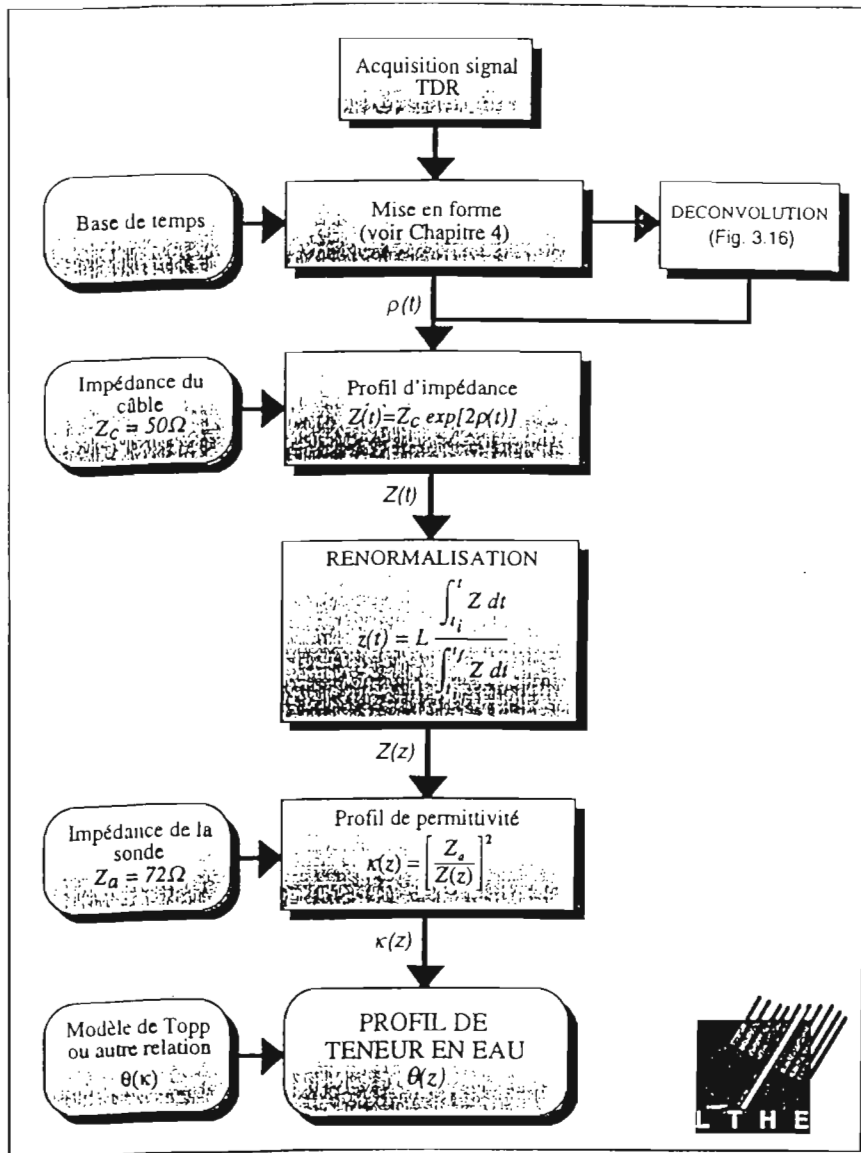


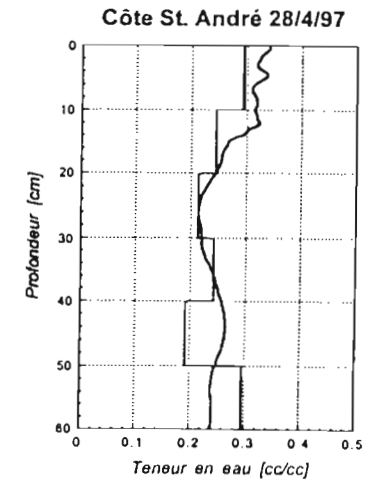
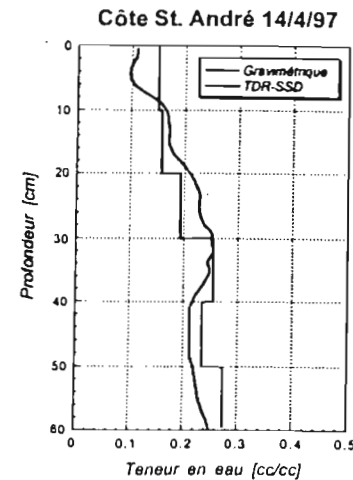
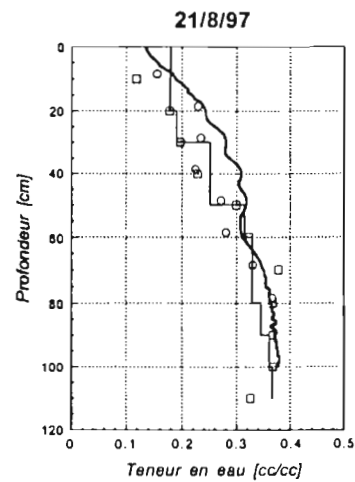
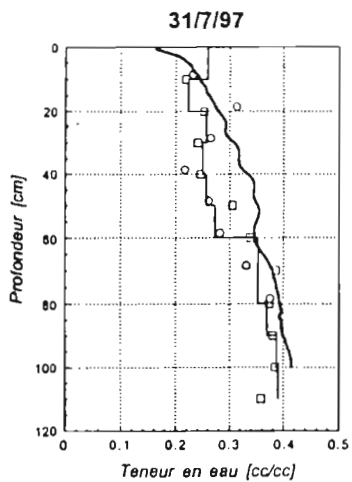
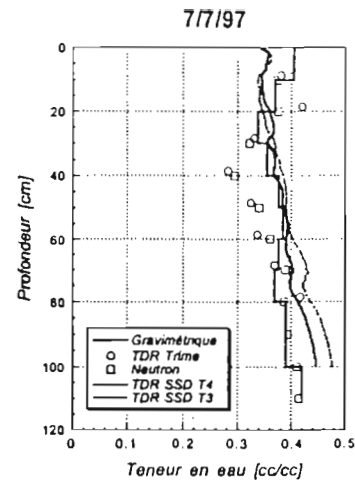
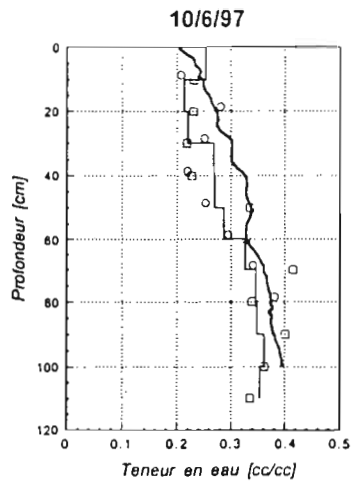
Schéma de la sonde coaxiale utilisée pour les matériaux consolidés

- III -

Méthode TDR - SSI



A - Principe d'estimation d'un profil de teneur en eau à partir d'un seul signal TDR



Profils mesurés à la Côte St. André les 14/4 et 28/4/97.

Exemples de profils de teneurs en eau mesurés sur le site Campus par différentes méthodes : gravimétrie (courbes en escalier), sonde à neutrons (◻), sonde TDR Trime (○) et par la méthode TDR-SSD (courbe en trait continu : T4, pointillés : T3)

B - Evaluation in-situ de la méthode

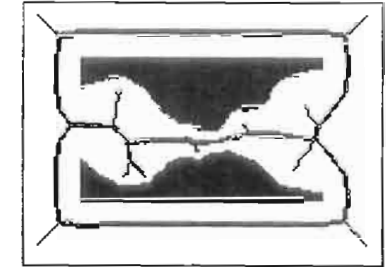
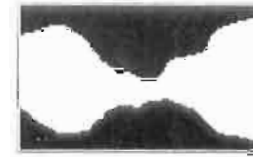
- IV -

**Visualisation de structures poreuses
et traitement d'images**

(quelques exemples de résultats)

Capillary-Dominated Displacements

The main flow requirement in the image borders are the "perpendicular" (or normal) flow path condition, representing a constant angular component in the "control" data domain. A "skeleton normal flow condition" in the network input-output.

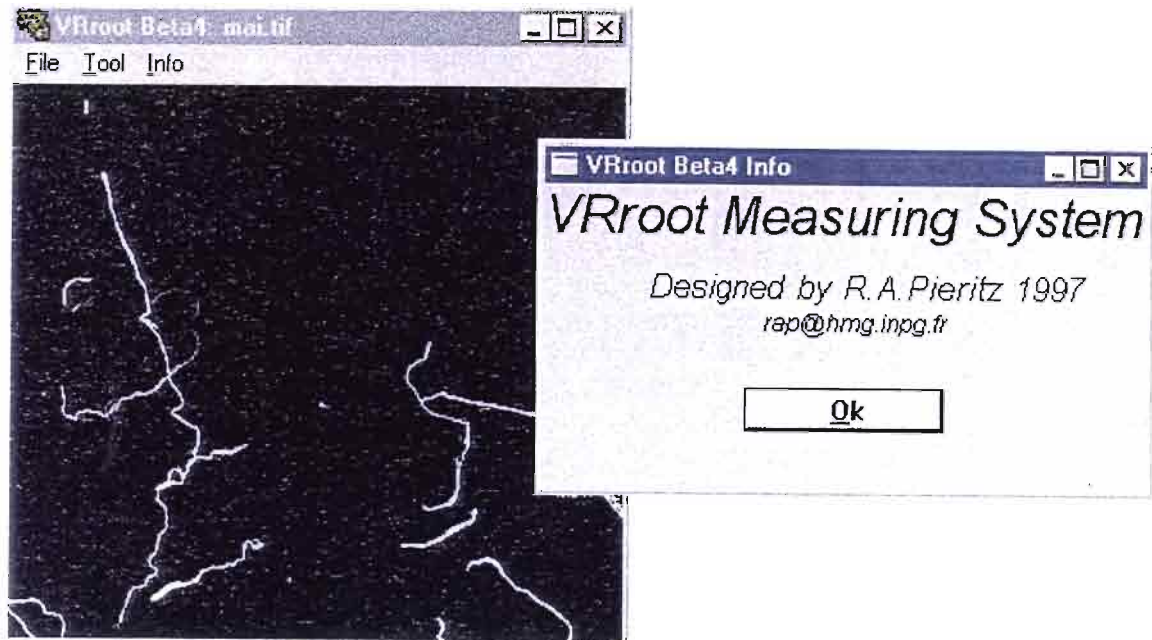


Imbibition simulation in the simple 2-D model pore system, where nonwetting phase can only enter from the left. Nonwetting phase is blue, and wetting phase is white. Increase of capillary pressure ($r_0 = 50$ to $r_N = 3$ - in $d34$ integer chamfer units).

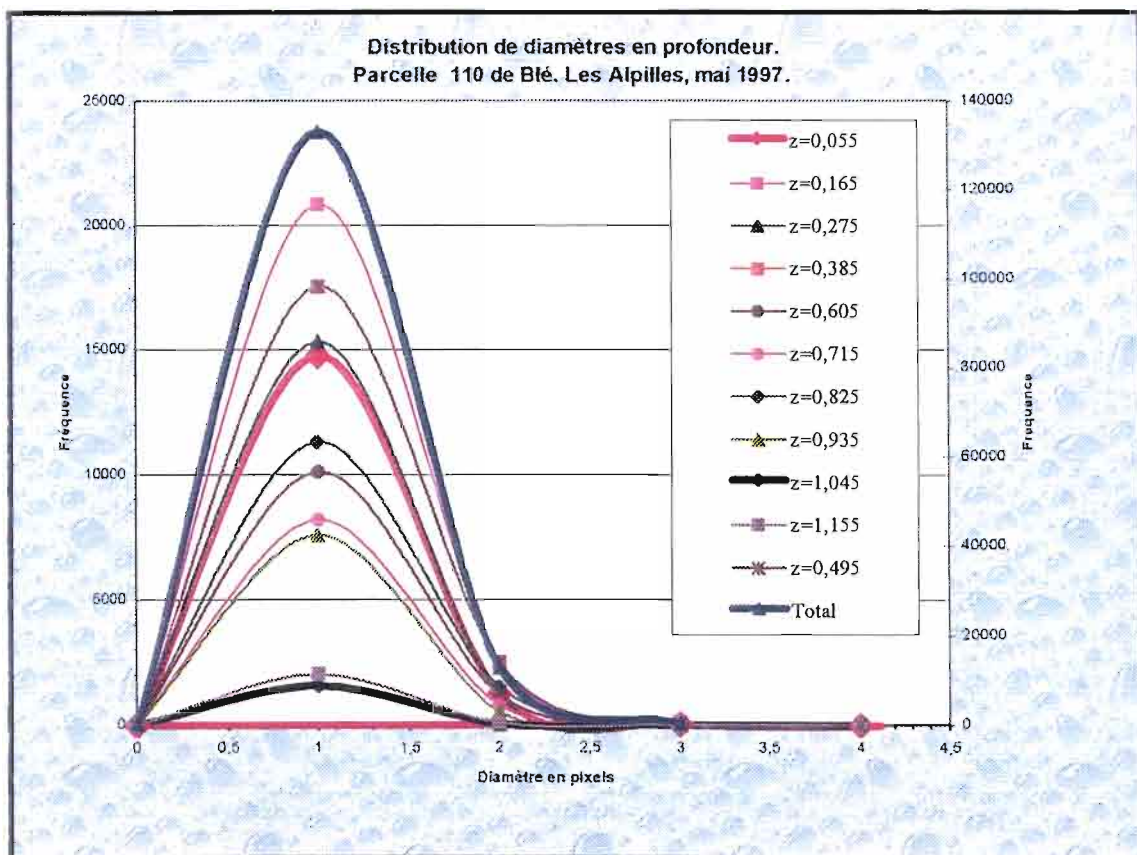


rainage simulation in the simple 2-D model pore system, where nonwetting phase can only exit from the right. Nonwetting phase is blue, and wetting phase is white. Decrease of capillary pressure ($r_0 = 15$ to $r_N = 50$ - in $d34$ integer chamfer units).

A - Invasion et drainage de fluides non mouillants la matrice poreuse (simulateur VRflow, thèse R. Pieritz, en cours)



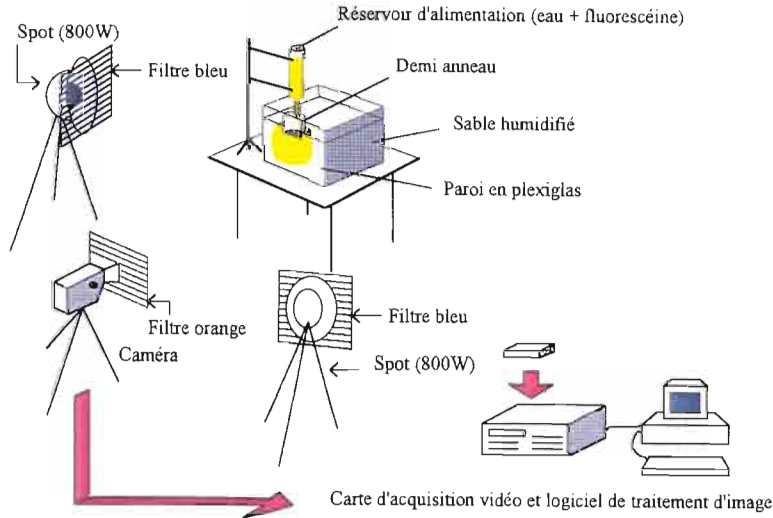
Logiciel VRroot pour mesurer le longueur et diamètre moyen de racines à partir d'images 2D



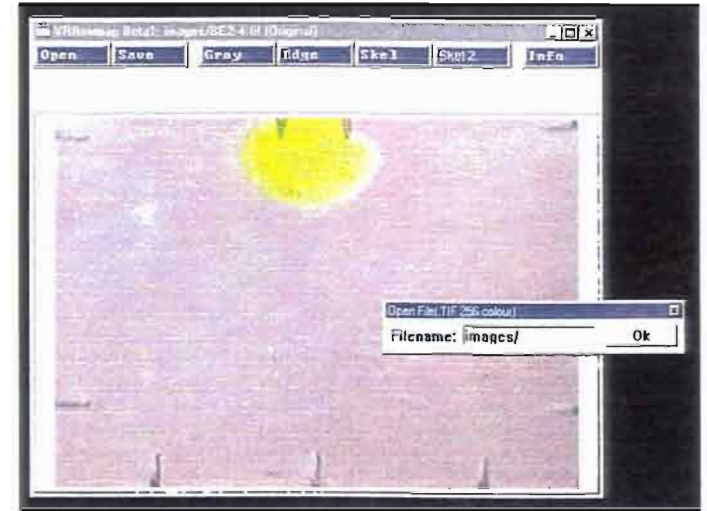
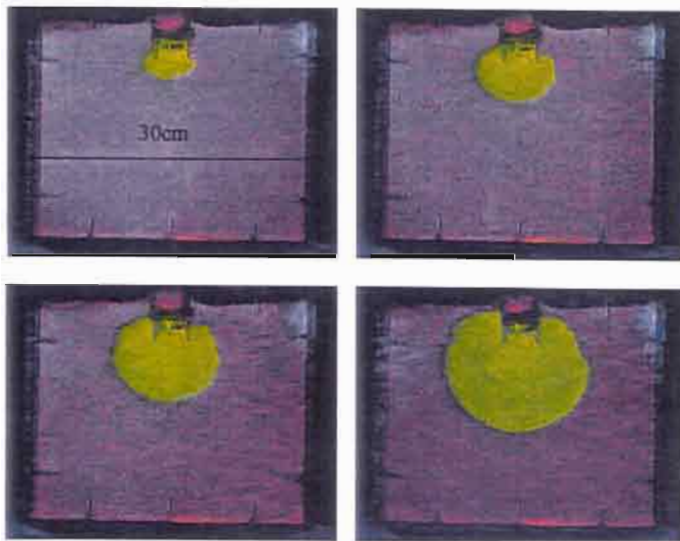
Répartition des diamètres de racines de blé dans un profil de sol

B - Caractérisation géométrique du système racinaire d'un blé (logiciel VRroot, R. Pieritz et E. Gonzalez-Sosa, projet ALPILLES)

Essais d'infiltration : dispositif expérimental



Résultats

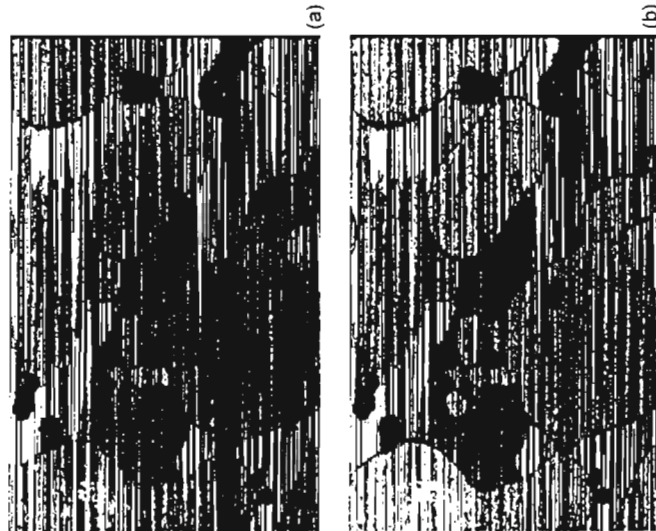


Logiciel Vrflowmap développé pour mesurer les caractéristiques morphologiques du front d'invasion à partir d'images 2D (sable – Franck Gondola 97/ Ecole de Mines de Dou.

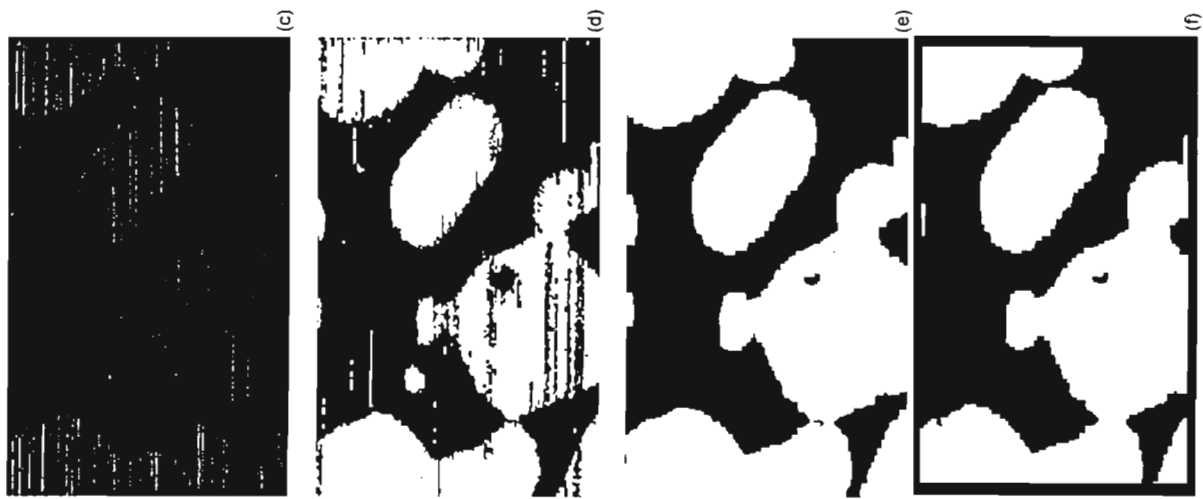


Visualisation du front d'invasion pour différents instants, obtenu par le Logiciel VRflowmap.

C - Principe d'acquisition et traitement d'images 2D pour la détermination des caractéristiques morphologiques des fronts d'infiltration (logiciel VRflow.map, col. LTHE/Ecole des Mines-Douai, Thèse F. Gandola en cours)



Images de la neige surgelée, après la coupure (a) et après sublimation (b)



Traitement informatique pour la segmentation des images de la neige pour reconstruction de la phase solide. Image différentielle (c) (a-b), image dilatée (d), image filtrée par taille (e) et image binaire finale de phase solide (couleur blanche) (f)

- V -

**Le conductivimètre thermique portable
(Field Thermal ConductiviMeter)**

A field thermal conductivity meter (FTCM)

J.P. Laurent

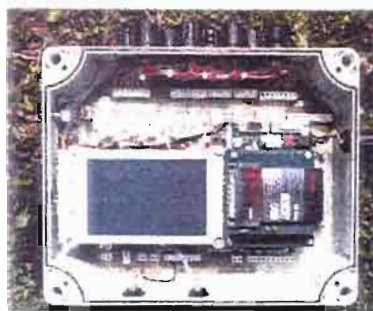


Laboratoire d'étude des
Transferts en
Hydrologie et
Environnement

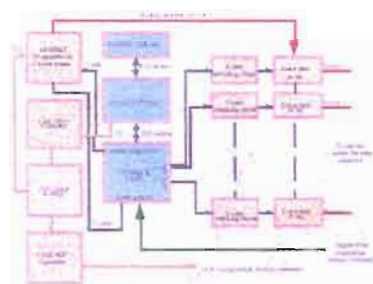
UMR 5564 CNRS-INPG-UJF
BP 53 38041 Grenoble-Cedex 9 FRANCE

With the financial support of the French Research Program in Hydrology ("PRH" : INSU-CNRS), a portable instrument has been developed by the LTHE for measuring the thermal conductivity of porous materials in their natural environment.

FTCM general view:



FTCM schematic diagram :



The Probe :



Main characteristics

- Use of the "line source method" for measuring the thermal conductivity.
- Optimized original cylindrical probes .
- PC104 architecture. PC-compatible softwares. Storage of softs and results on a PCMCIA SRAM Card
- Measurements on up to 8 probes simultaneously.
- High quality temperature sensors and converters. Use of 4-20 mA signal transmission allowing high lengths between the instrument and the measurements points.
- Stand-alone power energy sources from 12V DC : standard batteries, solar panels... Autonomy up to 24h.

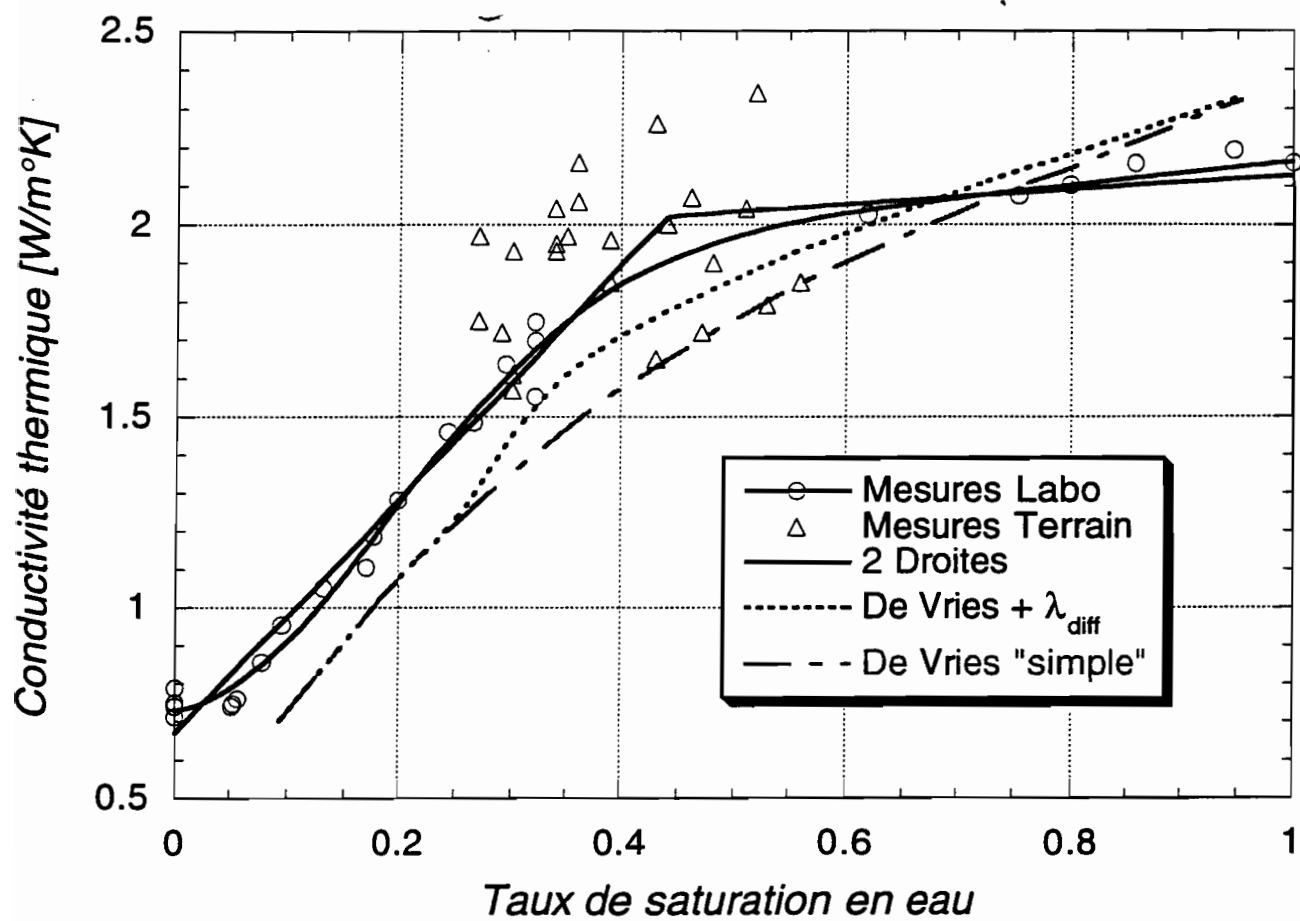
Applications fields

- Soil physics, agronomy.
- Food & wood processing.
- Building materials industries ...

Contact

Jean-Paul Laurent, LTHE
Tel. (33) 04.76.82.50.59, Fax. (33) 04.76.82.52.86
E.Mail : jean-paul.laurent@hmg.inpg.fr

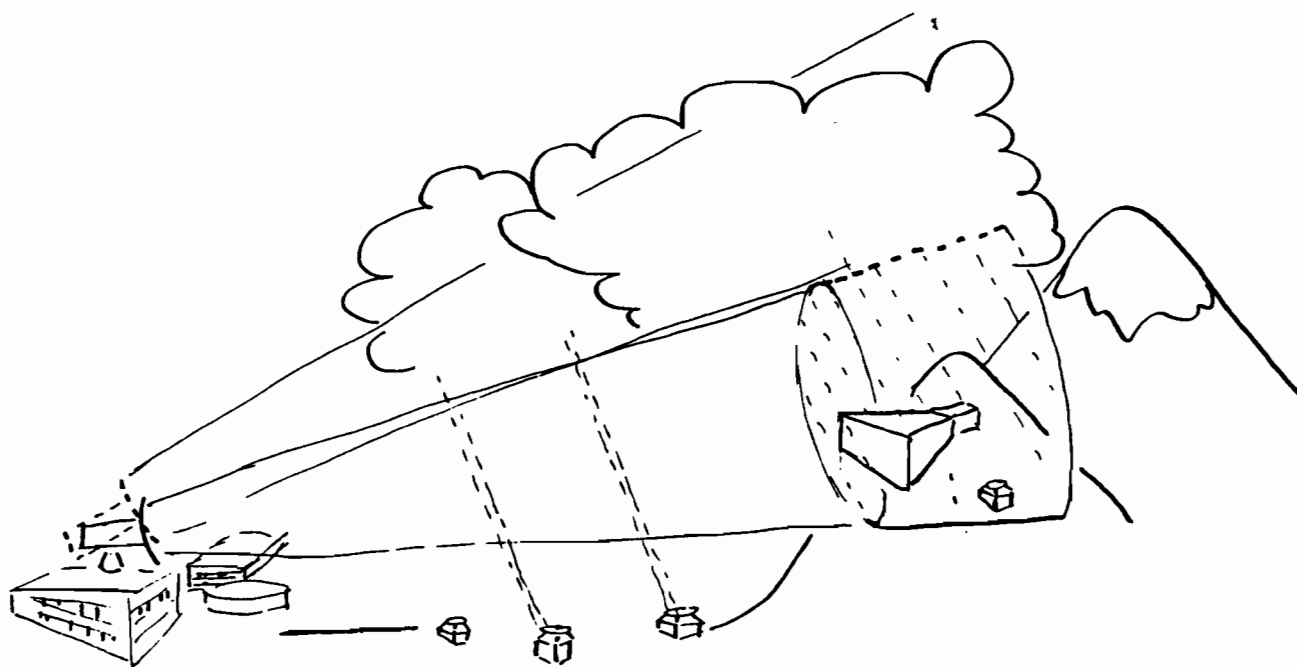
A - Principe



B - Exemple de résultats sur le site "MUREX" (col. LTHE/CNRM/CESBIO-Toulouse)

- VI -

Estimation des précipitations par radar météorologique



A - Schéma de principe de l'Expérience Grenoble 97



B - Vue du radar, bande X de configuration légère

LES PERSPECTIVES DU LABORATOIRE

I - LE CONTEXTE DU DEVELOPPEMENT A QUATRE ANS

Partant du principe élémentaire qu'un Laboratoire Universitaire associé à des organismes de recherche n'est pas une entité isolée du contexte scientifique, technique, économique et sociétal d'une part, local, régional, national et international d'autre part, sa réflexion prospective se doit d'intégrer :

- *Les orientations gouvernementales* qui, pour ce qui concerne le LTHE, placent l'Environnement en général et l'eau en particulier parmi les thèmes prioritaires à développer dans les années à venir (voir par exemple les conclusions du 1er Forum Mondial de l'Eau, Marrakech, 21-22/03/97 : "L'eau, le choc pétrolier du XXIème Siècle" ou la tenue à Paris, 19-21/03/98, à l'initiative de la Présidence de la République de la Conférence Internationale "Eau et Développement Durable").
- *Les schémas stratégiques* des organismes (CNRS-INSU et Orstom en l'occurrence) déclinés récemment dans les documents suivants (liste non exhaustive) :
 - Rapport de conjoncture 1997 du Comité National de la Recherche Scientifique
 - Documents de Prospective des Commissions Spécialisées de l'INSU (Divisions Océan-Atmosphère 1994, Sciences de la Terre 1997)
 - Les Grands Programmes de l'Orstom 1997

qui mettent en exergue les problèmes posés par la gestion de la Planète (eaux continentales, sols, déchets) et les enjeux scientifiques correspondants.

- *Les préoccupations régionales et locales* exprimées notamment au travers des programmes fédérateurs du Contrat de Plan Etat-Région et du Pôle Grenoblois d'Etude et de Préventions des Risques Naturels.
- *Les besoins en formation*, formulés par les Etablissements Grenoblois d'Enseignement Supérieur (UJF et INPG).

Dans ce contexte, le Laboratoire souhaite mettre l'accent sur les axes suivants de son développement.

a) En ce qui concerne la Recherche

- *Consolidation de l'association avec l'Orstom*, partenaire institutionnel du CNRS, de l'UJF et de l'INPG dans l'UMR-LTHE depuis le 1/01/97. Dans le cadre de la structuration des activités scientifiques de l'Orstom en Grands Programmes et de sa politique volontariste de rapprochement avec les Universités et le CNRS, le LTHE est considéré comme l'un des Pôles Métropolitains pour le développement des recherches en Hydrologie Continentale contenues dans les Programmes suivants :
 - Variabilité climatique tropicale et impacts régionaux.
 - Dynamique et usages des milieux terrestres méditerranéens et tropicaux (proparte).
- *Renforcement des collaborations interdisciplinaires*, dans le cadre de Programmes structurants qu'ils soient régionaux (e.g. Pôle Grenoblois d'Etude des Risques Naturels,

Contrat de Plan Etat-Région, Ville et Génie Urbain), **nationaux** (e.g. PATOM, PNRH, PROSE, suite du PIR-EVS, GEOMATERIAUX, PNTS, qui présentent peu ou prou tous une composante hydrologique et dans lesquels le laboratoire est très présent), ou **internationaux** (e.g. GEWEX-Hydrologie, MAP, INTERREG II), et ce, autour des thèmes suivants :

Au plan grenoblois :

- Hydrologie et géophysique de surface et de subsurface (LTHE/LGIT/Météo France/CEN, CEMAGREF-Grenoble)
- Hydrologie et (bio) géochimie des eaux et des sols (LTHE/LGIT/CEA-Grenoble + LEMS/ENTPE-Lyon)
- Hydrologie, érosion et transport solide (LTHE/LAMA/Lab. Ecosystèmes Alpains)
- Modélisation hydrologique et hydro-météorologique (LTHE/LEGI/LMC + LA/CNRM-Toulouse)

Au plan régional

- Aléas/risques hydro-météorologiques en zones urbaine, péri-urbaine (LTHE/INSA/CEMAGREF-Lyon + LCPC-Nantes) et rurale, notamment montagneuse (LTHE/EDF-Grenoble/Météo France-Bron)
- Environnement et pollutions diffuses (LTHE/LEMS-Lyon/SCA-Vernaison/LPCV-Grenoble/Lycée Agricole-Ferme Expérimentale de la Côte-Saint André).

Au plan national

- Pilotage (par le) ou participation (du) LTHE à des réseaux :
 - de laboratoires (e.g. Milieux Poreux en cours de constitution) visant à la mise en commun de dispositifs expérimentaux (laboratoire, terrain), de banques de données, de modèles et codes numériques.
 - thématiques comme par exemple les réseaux multi-organismes français MEDITE (Mesures Diélectriques de la Teneur en Eau) qui a pour objectif le développement d'une métrologie innovante de la mesure de l'humidité des milieux poreux (sols, roches, géomatériaux, neige, glace...) ou GEO pour les études de durabilité des géomatériaux, et étrangers tels qu'HYDROMET pour les radars hydrologiques.
- Animation Scientifique du Service d'Observations Utilisé pour la Recherche en Hydrologie (réseau SOURHY), au sens et selon le cahier des charges définis par l'INSU et soutenu par le GIP multi-organismes "HydrOsystemes Continentaux"
- Développement et domiciliation éventuelle du Système de Gestion de Bases de Données du réseau SOURHY (collaboration avec CEMAGREF-Lyon, soutien de l'INSU).

Au plan international

- Poursuite de la constitution de réseaux européens de Laboratoires, dans le cadre du 5ème PCRD de l'UE.
- Renforcement des collaborations avec les PED et émergents, notamment francophones, en s'appuyant sur la présence institutionnelle de l'Orstom.
- **Participation à la structuration** à l'échelle grenobloise des activités de recherche (et d'enseignement) dans le domaine des Sciences de la Terre et de l'Univers à l'UJF-Grenoble 1, sous l'égide de l'Observatoire de Grenoble afin notamment d'accroître la

lisibilité de ce secteur, et de promouvoir des actions transversales, qui pour ce qui nous concerne, sont relatives aux géosciences de la surface appliquées à l'Environnement et à l'Ingénierie des milieux naturels et anthropisés.

b) En ce qui concerne la Formation et l'Enseignement

Le LTHE accompagnera, à due concurrence de son potentiel et de ses compétences, les projets de ses tutelles universitaires relatifs :

- à la *"rénovation"* des enseignements des géosciences à l'UJF-Grenoble 1 (2ème cycle) en les orientant plus nettement vers les enveloppes fluides superficielles de la Planète (émergence d'un axe : eau/air/sols/pollutions).
- à l'*inflexion* de certains enseignements dispensés à l'ENSHMG vers la prise en compte des aspects "qualité" et des risques de pollution correspondants d'une part, *le développement* d'autres sur les impacts environnementaux de la réalisation d'aménagements et d'ouvrages d'autre part.
- *au soutien* à une politique active de **Formation Continue** visant à favoriser d'éventuelles mobilités thématiques et des transferts de connaissances scientifiques et technologiques.

II - LES PROJETS DE RECHERCHE

Ils s'inscrivent bien évidemment dans le contexte précédemment décrit et dans une optique de consolidation des actions de recherche récemment initiées. Ils visent notamment au **renforcement de la capacité métrologique et méthodologique** (laboratoire, terrain) du Laboratoire, au **développement de modélisations** "cognitives" et "opérationnelles" et à leur exploitation en fonction des applications visées. Ils résultent également d'une analyse la plus objective possible et d'un compromis entre le **nécessaire** (lever certains verrous de la connaissance, répondre à des préoccupations de la Communauté Scientifique et de la Société Civile, préserver un espace de liberté intellectuelle et de créativité à chacune et chacun) et le **possible** (apprécié par les moyens, notamment humains, actuellement mobilisables et ceux qu'il est permis d'espérer en complément dans les années à venir).

De façon synthétique (voir la contribution de chaque Equipe pour plus de détails), les perspectives d'actions peuvent être regroupées en **4 axes complémentaires**.

1. Projets expérimentaux de laboratoire.

- Réalisation d'un modèle physique 3 D d'étude des transferts hydro-géochimiques dans les milieux poreux complexes (projet MEET-MPC). Support expérimental aux tests de théories et méthodes de macroscopisation. Activités interdisciplinaires, menées notamment dans le cadre du PNRH et d'une collaboration renforcée avec les géochimistes grenoblois et toulousains.
- Remise à niveau de la spectrométrie gamma mono et double sources pour la caractérisation macroscopique du comportement hydro-mécanique des milieux poreux (équipement de base du laboratoire physique).

2. Projets expérimentaux de terrain

- **Implantation sur une parcelle agricole** en bordure du campus, *d'une station de mesure* des transferts hydro-thermiques dans le sol et des échanges avec l'atmosphère. Acquisition de longues séries chronologiques et tests de nouveaux instruments (e.g. radiomètre, bande L) et capteurs (e.g. les méthodes électriques). Activités "Recherche-Formation" en liaison avec un renforcement du partenariat avec la géophysique et l'évolution de l'enseignement (2ème cycle) des géosciences sur Grenoble.
- **Mise en place** dans la proche banlieue grenobloise d'une *plate-forme expérimentale* d'étude du fonctionnement hydrologique de versants avec l'équipement d'un site de suivi des écoulements de surface et de subsurface. Activités "Recherche" soutenues par le Pôle Grenoblois d'Etude et de Recherche pour la prévention des Risques Naturels et "Formation" (filières "géosciences" à l'UJF-Grenoble 1, "Ressources en Eau" à l'ENSHMG).
- **Implantation** au sommet d'un bâtiment de l'ENSHMG d'un *dispositif expérimental* dédié à l'étude de l'interception de la pluie par une paroi verticale. Projet soutenu par le Programme INSU "GEOMATERIAUX" et visant à ouvrir ultérieurement une voie de recherche sur la micro-hydrologie urbaine.
- **Poursuite des suivis hydrométriques** sur la station du domaine universitaire de Saint-Martin d'Hères avec une inflexion vers la prise en compte des aspects qualitatifs, en liaison avec le développement des études sur le transport sédimentaire (collaboration avec le LHF, le LAMA et le Laboratoire "Ecosystèmes Alpains" de Grenoble, soutien du Pôle Grenoblois "Risques Naturels").

On notera que, par rapport à la période 1995-98, le recentrage de ces projets expérimentaux vers notre base géographique d'implantation se justifie par : i) une plus grande facilité d'acquisition de longues séries chronologiques de données de qualité, ii) la nécessité de pouvoir disposer, à proximité immédiate, de "Laboratoires de terrain" pour le développement et le test de métrologies et de méthodologies d'une part, pour l'accueil des activités de formation initiale (2ème, voire 1er cycles, de l'Université, Ecole d'Ingénieurs) et continue d'autre part. Cependant, il n'exclut pas, la participation ponctuelle du Laboratoire à des campagnes intensives de mesure sur sites extérieurs, pour ses besoins spécifiques ou à la demande de ses partenaires, et ce dans le cadre de collaborations structurées par des programmes. C'est notamment dans ce cadre qui convient de citer :

- **la mise en oeuvre du radar météorologique** sur des projets d'hydrométéorologie en zones rurales (projet ARDECHE soutenu par le XI CPER, le PNRH et le MATE, collaboration Météo France/EDF-DTG) et urbaines (ville de Marseille, projet HYDROMET de l'UE).
- **la poursuite des campagnes de mesure** sur des chantiers français (e.g. réseau national MEDITE, projet RIDES des programmes PROSE et PNRH) et étrangers (e.g. Bénin, Sénégal, Mexique, Burkina-Faso) en collaboration avec l'Orstom et ses chercheurs physiquement présents ou scientifiquement rattachés au Laboratoire.

La plupart de ces projets, qu'ils soient de laboratoire ou de terrain, nécessitent le développement de capteurs, systèmes de mesure, et méthodologies expérimentales associées. Parmi ceux-ci, on citera :

- **les méthodes électriques** (TDR, Potentiels Spontanés) pour l'estimation de la teneur en eau des milieux poreux et de la concentration ionique de la solution.

- *le test de nouveaux capteurs* tels que le "Ground Penetrating Radar" pour l'imagerie 3D de la distribution de l'eau du sol, le radiomètre, bande L pour la mesure non intrusive des teneurs en eau de surface.
- *le développement de systèmes portables et leur automatisation* tels que l'infiltrométrie TRIMS, appareil TDR de nouvelle génération bénéficiant des récents acquis théoriques.
- *les méthodes et algorithmes d'inversion de signaux hyperfréquence* (profils hydriques du sol par TDR-SSI, PVR du radar, bande X).

Il est évident que l'ensemble des Equipes du Laboratoire est intéressé à ces développements, qui par ailleurs impliquent bien souvent un partenariat externe. C'est la raison pour laquelle il nous paraît opportun de créer, parallèlement à l'AMHYE (et en concertation étroite avec celui-ci) un "atelier" transversal baptisé : "Métrologie et Instrumentation pour l'HYdrologie et l'Environnement (MInHYE)". Placé sur la responsabilité scientifique de J.P. Laurent, il vise quatre objectifs principaux :

- *structurer en interne* les activités de développements métrologiques et expérimentaux, suscités notamment par la modélisation.
- *favoriser les échanges* d'informations et d'expériences
- *attirer/fédérer* des compétences et moyens complémentaires externes
- *favoriser le transfert du savoir-faire* vers le secteur applicatif aval (incluant éventuellement les industriels, notamment PME-PMI).

3. Réflexion prospective sur une activité "Observatoire Hydrométéorologique".

Il s'agit ici, et en liaison avec le réseau SOURHY, d'étudier la faisabilité scientifique, technique et logistique d'une telle activité dont le lancement, s'il s'avérait pertinent et possible, prendrait plusieurs années. Elle prolonge de manière logique certains développements instrumentaux, évoqués ci-dessus. Deux directions pouvant s'inscrire dans la problématique GEWEX sont envisagées :

- *La première* concerne l'Afrique de l'Ouest et l'objectif serait **de créer un site de validation sol des estimations de la pluie par télédétection satellitaire**. Il existe déjà de tels sites en zone tropicale mais tous se trouvent en zone maritime et non continentale. Les moyens nécessaires à ce type de validation sont bien entendu un réseau de pluviomètres couplé à un réseau de radars et un ensemble d'algorithmes adaptés. L'Orstom, fort de ses expériences en cours dans la région (EPSAT-Niger et CATCH-Bénin), aurait bien sûr vocation à piloter ce projet qui pourrait également intégrer un volet "vérité terrain" d'estimation de l'humidité des couches superficielles du sol par radiométrie, bande L embarquée (projet RAMSES).
- *La deuxième direction* concerne nos régions et le but serait de **documenter des événements hydrologiques significatifs**. Il s'agirait en fait de conditionner l'observation hydrologique de terrain à la surveillance radar des champs de pluie en tentant de répondre à l'idée simple de se trouver au bon endroit au bon moment. Cette fonction d'observatoire mobile nécessite une importante réflexion préalable sur i) la stratégie et les moyens d'observations et ii) sur les hypothèses que l'on souhaite tester lors d'une telle démarche. L'ensemble de l'AMHYE est bien sûr concerné par cette réflexion.

4. Projets en modélisation.

Ils s'inscrivent bien évidemment dans le cadre de l'Atelier de Modélisation Hydrologique et Environnementale (AMHYE) dont on rappelle qu'il vise au plan du LTHE à intégrer les savoir-faire de ses différentes composantes et valoriser au mieux les nombreux acquis expérimentaux, et au **plan plus général** de la communauté, à attirer des compétences externes et favoriser les synergies entre disciplines autour de la modélisation des processus hydrologiques vue comme un **intégrateur des connaissances** (rôle structurant de la démarche scientifique) donc par voie de conséquence un **révélateur des lacunes, un médiateur disciplinaire, un outil d'aide à la décision ou à l'analyse de scénarii** (rôle socio-économique).

Les recrutements récents (voir tableau "mouvements des permanents") de G.M. Saulnier, CR-CNRS, Ph. Belleudy, PAST-ENSHMG, B. Galabertier, IE-CNRS et le souhait de S. Anquetin, CR-CNRS (actuellement affectée au LEGI) de rejoindre dès que possible le LTHE, permettent de conforter très significativement la structuration de cette activité, initiée précédemment par I. Braud et de prévoir sa montée en puissance dans les prochaines années.

Les projets dans ce domaine ont été précisés dans les contributions spécifiques de chaque équipe. On se contente ici d'en rappeler les grandes tendances : orientation vers une approche modélisatrice multi-échelles, renforcement des couplages d'une part, entre **compartiments** (sol/biosphère continentale/atmosphère, zone **non saturée** du sol/aquifère) d'autre part, entre **processus physiques** (masse-eau et particules solides-, énergie) et **bio-géochimiques** dans les hydrosystèmes continentaux. Ainsi l'accent sera plus particulièrement mis sur les aspects suivants.

a) Le développement d'une macro-hydrologie régionale comportant :

- La modélisation **hydrologique** des bassins versants en zone de relief marqué (vallées alpines Cévennes-Vivarais, Ardèche notamment via TOPMODEL, ou TOPODYN en développement) couplée à la modélisation de la **couche limite atmosphérique** (via les codes Méso-NH et SUBMESO).
- Le développement de modèles statistico-dynamiques permettant de prendre en compte la variabilité spatio-temporelle des entrées (précipitations, demande évaporative de l'atmosphère) et des paramètres (sol, topographie, végétation), d'estimer l'influence des incertitudes correspondantes et susceptibles d'exprimer les réponses d'un système en termes probabilistes, donc in-fine de **risques**.
- L'assimilation de données de télédétection dans les modèles hydrologiques et des schémas de surface (type SiSPAT).
- Le développement d'une méthode objective de spatialisation des caractéristiques hydrodynamiques des sols et des flux.

b) La modélisation des écoulements couplés au transport de substances chimiques et/ou particulières dans les eaux souterraines et/ou superficielles incluant :

- Le traitement des **non linéarités** dans les processus de transfert/transport/interactions en milieux poreux et la prise en compte des équilibres géochimiques (via le modèle IMPACT) ou des phénomènes de (bio)dégradation (azote et produits phytosanitaires notamment).

- Le couplage entre l'hydrodynamique fluviale et le transport sédimentaire (via les codes TELEMAR 2D, SUBIEF et SEDICOU).
- Le développement d'algorithmes d'estimation des paramètres par méthodes inverses et leur introduction dans la modélisation des processus correspondants.
- Les méthodes de changement d'échelles et de macro(méga)scopisation des processus en milieux hétérogènes.

c) *La valorisation des résultats de la recherche* par le développement de logiciels orientés vers l'utilisateur et leur transfert vers le secteur aval.

III - LA GEOMETRIE DU LABORATOIRE PROJETEE AU 1/01/99.

Présentée dans l'organigramme ci-contre elle résulte :

- du souhait de certains responsables d'Equipes de "passer la main" :
 - J.D. Creutin (pour "Hydrométéorologie")
 - J.P. Gaudet (pour "Transferts en Matériaux Poreux")

et leur remplacement, respectivement par **Th. Lebel** et **J.P. Laurent**. L'Equipe de ce dernier s'intitulant "Transferts et **Interactions** en Matériaux Poreux (TIMP)" afin de mieux rendre compte de la montée en puissance des activités de processus couplés internes et externes, aux milieux poreux ;

- de la réflexion prospective menée ces derniers mois aux plans individuel et collectif ;
- d'un nécessaire compromis entre les projets (ou affinités) personnel(le)s et les objectifs plus globaux du Laboratoire ;
- du développement de différents projets impliquant les compétences présentes au sein de plusieurs équipes ;
- des affectations, déjà effectives à la date de rédaction du présent document, ou attendues dans les mois suivants, de chercheurs, notamment CNRS et Orstom ;
- du rattachement scientifique de chercheurs et techniciens Orstom, exerçant leurs activités, dans d'autres lieux et dont la plupart (notamment les expatriés) ont vocation à être affectés à l'UMR-LTHE, au terme de leur mission (sous réserve de l'accord de la Direction de l'Orstom) ;
- de l'émergence de deux actions transversales, structurant les activités métrologiques et instrumentales (MInHYE) et de modélisation (AMHYE) ;
- d'une réflexion prospective sur les activités "d'observations".

IV - LA PARTICIPATION A LA CONSTITUTION D'UN POLE GRENOBLOIS "GEOSCIENCES ET INGENIERIE DES MILIEUX NATURELS ET ANTHROPISES".

En effet, alors que :

- que de nombreuses compétences multi-disciplinaires et très complémentaires sont présentes sur le site grenoblois (Filières Universitaires de Formation, Ecoles d'Ingénieur, Laboratoires Universitaires -dont la plupart sont associés à des EPST-, CEA/SAT, CEMAGREF, CEN, Entreprises-EDF/DTG, LHF, SIMULOG, voir inventaire publié par l'Institut de l'Environnement),
- que la Société Civile exerce une forte pression qui perdurera dans les domaines de la gestion des ressources en eaux et en sols (quantité, qualité), de la prévision et de la prévention des risques (crues, inondations, sécheresse, pollutions ponctuelles et diffuses), de la réhabilitation des sites pollués, etc...
- que les secteurs industriels et de service concernés par ces aspects sont encore créateurs d'emplois en France et à l'Etranger.

Il est permis de regretter le **manque**, voire l'**absence de visibilité** du potentiel grenoblois dans le dispositif national concerné, contrairement à d'autres centres régionaux tels que Montpellier, Nancy, ou Toulouse.

Les problèmes posés par la gestion de la Planète (eaux continentales, sols, déchets) et les enjeux correspondants laissent la place pour un autre Pôle Français qui aurait ses propres spécificités, et qui pourrait s'intégrer à la structure :

« Observatoire de Grenoble »

fédérant ainsi les aspects « **recherche** » des laboratoires SdTU et « **enseignement rénové des géosciences** » de la place, tout en identifiant et préservant l'activité spécifique « **observations** » pour les Unités concernées actuellement, ou qui le seraient dans un futur plus ou moins immédiat. Sous réserve d'une politique volontariste des différents partenaires institutionnels et des acteurs concernés/intéressés par/à un tel schéma, le LTHE est prêt à s'y investir à due concurrence de son potentiel et de ses compétences, sans pour autant se couper de la communauté mécanicienne de l'Université J. Fourier et de l'INPG via l'ENSHMG.

LABORATOIRE D'ETUDE DES TRANSFERTS EN HYDROLOGIE ET ENVIRONNEMENT

Situation projetée au 1/01/99

SERVICES ADMINISTRATIFS

Affaires générales :
H. RIVAUX (SARex CNRS)
Affaires scientifiques :
S. FABRY (80 %) (ADJA UJF)
Comptabilité :
O. ARCHINARD (80 %)(CDI/AjA)

DIRECTION

Directeur : M. VAUCLIN
Directeur Adjoint : J.D. CREUTIN

SERVICES TECHNIQUES

Communs Equipes LTHE :
S. BOUBKRAOUI (ADJT UJF)
F. CAZENAVE (AI Orstom)
H. DENIS (AI CNRS)
B. GALABERTIER (IE2 CNRS)
R. LATY (IE1 INPG)
J.M. TAUNIER (IE2 CNRS)
Communs Labos/Ecole/UFR
G. JARRIL (ADJT UJF)
B. PERROUX (TCS CNRS)

TRANSFERTS ET INTERACTIONS EN MATERIAUX POREUX <i>Responsable : J.P. LAURENT</i>	HYDROLOGIE DE LA ZONE NON SATUREE <i>Responsable : R. HAVERKAMP</i>	HYDROMETEOROLOGIE <i>Responsable : Th. LEBEL</i>	HYDROLOGIE DE SURFACE <i>Responsable : Ch. OBLED</i>
PERMANENTS			
R. ANGULO -JARAMILLO J.F. DAIAN J.P. GAUDET J.P. LAURENT Y. LEWANDOWSKA J.L. THONY M. VAUCLIN	R. ANGULO-JARAMILLO I. BRAUD S. GALLE J.P. GAUDET J.M. GRESILLON R. HAVERKAMP J.D. TAUPIN J.L. THONY G. VACHAUD J.P. VANDERVAERE M. VAUCLIN R. WOUmeni	S. ANQUETIN (1) I. BRAUD Ph. BOIS J.D. CREUTIN G. DELRIEU M. GOSSET (2) J.P. LAURENT T. LEBEL Ch. OBLED	Ph. BELLEUDY Ph. BOIS L. DESCROIX (3) J.M. GRESILLON R. HAVERKAMP T. NGUYEN DONG Ch. OBLED G.M. SAULNIER J.P. VANDERVAERE
PERMANENTS ORSTOM SCIENTIFIQUEMENT RATTACHES AU LTHE			
P. BARBIERO (Sénégal) P. BOIVIN (Montpellier) C. HAMMECKER (Sénégal)	P. BOIVIN (Montpellier) O. RIBOLZI (Burkina-Faso)	C. DEPRAETERE (Bénin) H. LAURENT (Brésil)	M. ESTEVES (Sénégal) O. PLANCHON (Sénégal) J.M. LA PETITE (Sénégal)

ANIMATEURS DES PROJETS

« Métrologie et Instrumentation pour l'Hydrologie et l'Environnement » (MinHYE) : J. P. LAURENT

« Atelier de Modélisation Hydrologique et Environnementale » (AMHYE) : G.M. SAULNIER

CHARGES DE MISSION

Réseau, micro-informatique : B. GALABERTIER, H. DENIS
Communication : J.D. CREUTIN - *Documentation :* R. ANGULO-JARAMILLO
Infrastructure : S. BOUBKRAOUI (Acmo) - *Technologie :* J.L. THONY - *Observatoires :* Ph. BOIS
Séminaire : Th. LEBEL ; *Formation 3ème Cycle :* G. DELRIEU

- (1) CR-CNRS, au LEGI, demandant son affectation au LTHE
- (2) CR-Orstom, réintégrée fin mai 1998 après mise en disponibilité
- (3) CR-Orstom, retour du Mexique, début mai 1998

LES BESOINS DU LABORATOIRE

Dans les années à venir, le LTHE qui occupe par ses orientations scientifiques une position importante voire centrale dans le dispositif national et européen de recherche dans les domaines des milieux poreux et de l'hydrologie continentale (aux plans expérimental et de la modélisation) ne pourra faire face à la pression (à la fois scientifique et socio-économique) qui s'exerce sur lui, **sans un soutien actif** de ses tutelles aux plans des ressources humaines, financières et d'infrastructure.

I - RESSOURCES HUMAINES

1. Chercheurs/Enseignants-chercheurs (profils souhaités en recherche).

a) *"Transferts de fluides et biogéochimie en milieux poreux"* (CR-CNRS), en liaison avec les projets expérimentaux (laboratoire/terrain) des Equipes TIMP et HZNS, s'inscrivant dans plusieurs programmes nationaux.

b) *"Hydrologie et hydrodynamique des sols"* (MC ou PR), avec de solides prédispositions expérimentales, pour conforter l'approche physique développée au sein des équipes HZNS et HSURF et rééquilibrer la pyramide des âges vers un "rajeunissement" !

c) *"Hydrologie radar et risques hydrométéorologiques"* (CR-CNRS), en liaison avec les projets de l'Equipe HMET sous-tendus par une forte demande régionale et soutenus par des programmes nationaux.

d) *"Hydrodynamique fluviale et transport sédimentaire"* (MC ou PR), expérimentation et modélisation, pour l'équipe HSURF en relation avec la problématique de la qualité des eaux superficielles et des solidarités bassins versants-réseaux hydrographiques.

e) *"Modélisation couplée hydro-météorologique en terrain complexe"* pour conforter la collaboration entre la communauté des atmosphériciens et celle des hydrologues, soutenue par les programmes nationaux (PATOM, PNRH) et internationaux (MAP, GEWEX). Demande de mobilité de S. Anquetin (CR1-CNRS) vers le LTHE.

2. Personnels Techniques et Administratifs.

Comme il a été précédemment mentionné dans le paragraphe "Conclusion et bilan succinct" du chapitre introductif au présent rapport d'activité, le Laboratoire souffre d'un **manque flagrant et cruel** de personnels techniques et administratif [ratio respectifs de 0,32 et 0,09 par chercheur]. De plus, **2 collaborateurs techniques** et **1 collaboratrice administrative** vont très certainement faire valoir leur droit à la retraite (CPA ou définitive) au cours du prochain contrat quadriennal. Il en découle les besoins minimum suivants :

a) En personnels techniques :

- **Ingénieur de Recherche en calcul scientifique** (Bap I).

Objectif : Structurer les activités de modélisation numérique au sein du Laboratoire dans le cadre de l'AMHYE.

Fonction : Conception et développement de codes numériques sur gros calculateurs.

On notera que dans le cadre de la procédure AFIP-CNRS ouverte en mars 1998, cette demande n'a pu être satisfaite, faute de candidature à la mobilité. La création d'un poste est donc sollicitée auprès du Département SDU.

- **Ingénieur d'Etudes - Mesures Physiques (Bap VII).**

Objectif : Coordonner les aspects métrologiques et instrumentations, dans le cadre du projet transversal MInHYE.

Fonction : Conception de capteurs et de systèmes (à base d'électronique notamment hyperfréquence) ; mise en place sur le terrain et conduite de grosses expérimentations hors murs. Relation avec le secteur aval, notamment industriel.

- **Assistant-Ingénieur - Mesures Physiques (Bap VII).**

Objectif : Renforcer la capacité expérimentale du laboratoire physique.

Fonction : Conduite d'expériences sur modèles physiques de laboratoire. Assistance aux doctorant(e)s).

b) En personnels administratifs

- **Secrétaire Administratif de Recherche (Bap V).**

Objectif : Renforcer le potentiel du Secrétariat (actuellement 1,8 ETP sur budget d'Etat et 0,8 ETP/CDI sur ressources propres) du Laboratoire (70 à 75 personnes relevant de 4 tutelles).

Fonction : 50 % comptabilité, 50 % secrétariat/gestion administrative/documentation scientifique.

3. Les besoins en formation.

Les actions de formation souhaitées s'efforcent, à partir d'une analyse des activités et des compétences des Personnels de prendre en compte les stratégies individuelles (quand elles se sont clairement exprimées) d'une part, les besoins liés aux perspectives du Laboratoire et les objectifs qu'il se propose d'atteindre d'autre part. Elles peuvent être synthétisées en 2 axes :

a) Disciplines et techniques en évolution.

- **Disciplines scientifiques**

- Ecoulements réactifs en milieux poreux
- Géochimie des eaux et des géomatériaux

- **Outils et techniques scientifiques**

- Analyse de données et traitement du signal
- Gestion de bases de données, Systèmes d'Informations Géographiques
- Télédétection en hyperfréquences
- Calcul scientifique (méthodes particulières diverses, éléments/volume finis, ..., méthodes inverses)
- Logiciels d'analyse d'images

- **Informatique scientifique**
 - Réseaux, UNIX, Serveur NT
 - Outils de génie logiciel, langages (Delphi, Visual C++, Visual Basic)
 - Calcul parallèle, langages de programmation
- **Techniques expérimentales**
 - Technologie des matériaux plastiques
 - Interfaçage d'équipements et systèmes d'acquisition de données
- **Bureautique** : Word, Excel

b) Fonctions et métiers en évolution.

- Hygiène et sécurité : ACO, Secouriste du travail
- Psychologie du travail "Comprendre et gérer les tensions professionnelles"
- Gestion de projets scientifiques
- Langues : anglais, allemand, portugais

Les besoins peuvent être satisfaits par les dispositifs de Formation proposés par le CNRS et les Etablissements Grenoblois d'Enseignement Supérieur.

II - EQUIPEMENTS SCIENTIFIQUES > 100 kF (prévisions sur 1999-2002).

Les besoins synthétisés dans le tableau suivant concernent 3 types d'opérations.

Opérations	Echéancier				Total	Responsable
	1999	2000	2001	2002		
1. Jouvence						
• Spectrométrie gamma (densimètre terrain/banc laboratoire)	150	-	-	-	150	J.L. Thony/H. Denis
• Modernisation des radars bande X	125	125	125	125	500	G. Delrieu/F. Cazenave
• Remplacement véhicule (type Break Laguna)	-	-	120	-	120	S. Boubkraoui
2. A terminer						
• Réseau informatique+serveur	130	-	-	-	-	B. Galabertier
3. Nouvelles						
• Granulomètre laser	125	125	-	-	250	H. Denis
• Tektronix IPA 510	-	-	200	200	400	J.P. Laurent
• Projet MEET-MPC	50	100	-	-	150	J.P. Laurent
• Transpondeur hyperfréquence	-	100	100	-	200	G. Delrieu
Total (kF HT)	580	450	545	325	1900	

1. Les opérations de jouvence.

a) La nouvelle réglementation sur les normes de détention et d'utilisation de sources radioactives scellées, nous impose une **remise à niveau** de nos dispositifs expérimentaux de laboratoire (**banc de spectrométrie gamma**), et le remplacement d'un **gamma-densimètre** de terrain, qui constituent des équipements de base pour les équipes "TIMP" et "HZNS".

b) Modernisation des deux radars, bande X (Equipe HMET).

Il s'agit de concevoir un nouveau logiciel radar permettant :

- de tirer parti des possibilités "hard" de ces radars
- de rendre leur utilisation plus fiable et plus souple
- d'unifier les systèmes qui les pilotent de manière à pouvoir les utiliser en mode "stéréo"

Les besoins sont relatifs à l'achat d'éléments et de logiciels d'informatique industrielle.

c) *Remplacement du véhicule administratif* (type Break) du LTHE acquis en 1991 pour la réalisation logistique d'expérimentations sur sites/chantiers extérieurs (transport de matériels, interventions sur alertes hydrométéorologiques, ...).

2. Les opérations à terminer.

Elles concernent essentiellement **l'informatique** : recablage de l'un des bâtiments d'implantation du Laboratoire et l'acquisition d'un Serveur Windows-NT pour une meilleure gestion et sécurisation de l'accès aux ressources informatiques du Laboratoire.

3. Les opérations nouvelles.

a) Granulomètre laser.

Le Laboratoire ne dispose actuellement d'aucun moyen précis pour caractériser une distribution granulométrique sur une large place de diamètres. Il nous paraît indispensable de combler cette lacune, notamment dans le cadre des recherches en cours sur la physique des poreux et le transport particulaire. Les Equipes "TIMP", "HZNS" et "HSURF" sont concernées par cette acquisition.

b) *Chaîne d'acquisition de signaux hyperfréquences* (Type Tektronix IPA 510) comportant un oscilloscope large bande, un système TDR et un logiciel d'inversion/simulation des signaux temporels et des comportements fréquentiels pour l'étude fine des propriétés diélectriques des matériaux poreux humides, le développement et le test de nouveaux capteurs. Cet équipement constituerait un élément de base du projet MInHYE.

c) Modèle physique d'étude des transferts en milieux poreux complexes.

Dans la mesure où il s'agit de simuler, en laboratoire, des situations aussi proches que possible de celles présente en conditions naturelles, le projet MEET-MPC de l'Equipe "TIMP" s'inscrit

dans la problématique du Groupe ad-hoc "instrumentation" de la CSST/INSU. Il s'agit de réaliser une plate-forme expérimentale (maquette 3D dûment instrumentée) permettant l'étude fine des transferts en milieux poreux complexes, par couplage entre suivi hydrodynamique et géo(physico)chimique, et modélisations associées.

d) Développement d'un transpondeur.

Il s'agit de faire évoluer la balise hyperfréquence passive dont dispose l'Equipe "HMET" vers un système actif vu comme un instrument de calibration des radars et un instrument de recherche, dont l'utilité a été montrée lors de l'expérience Grenoble 97. Deux phases menées en relation avec la Société SC/Electronique sont prévues : amélioration de la sensibilité et de la dynamique de détection, développement de l'émetteur et du système de traitement associé au niveau du radar.

III - FONCTIONNEMENT

1. Soutien de base.

Compte-tenu de probables tensions budgétaires, le réalisme et la sagesse nous conduisent à solliciter un **accroissement des crédits récurrents de fonctionnement**, par rapport au précédent contrat quadriennal, **proportionnel** à l'augmentation forte du nombre de chercheurs (CNRS et Orstom) et d'enseignants-chercheurs (INPG et UJF) intervenue sur cette période, suite aux divers recrutements et nouvelles affectations d'agents Orstom.

En revanche, un **effort sur les crédits ministériels d'équipement** est suggéré, la subvention précédente étant notoirement insuffisante et très en deça de notre demande par ailleurs réaliste à l'époque.

2. Infrastructure.

Un **accroissement très significatif** des crédits d'infrastructure est une nouvelle fois sollicité, la subvention précédente (115 kF/an pour 813 m² SHON) couvrant moins de 50 % des dépenses courantes (fluides, nettoyage, maintenance minimum des locaux).

3. Heures de calcul.

Le développement d'un groupe de modélisation, au sein du projet AMHYE, et la perspective d'affectation de S. Anquetin, conduira le laboratoire à accroître très notablement sa demande en crédit d'heures de calcul.

L'ensemble des crédits récurrents demandés pour la période 1999-2002 ainsi que le bilan 1995-98 est récapitulé dans le tableau ci-dessous, qui inclut une proposition de répartition fondée sur le respect des grands équilibres entre les contributeurs.

Origine	Crédits moyens annuels		
	1995-1998		1999-2002
	Sollicités	Obtenus	Sollicités
MENRT (kF HT, BQR déduit)			
• Fonctionnement (Rech./ Accueil)	166	169	240
• Equipement	100	65	150
• Infrastructure	168	115	200
CNRS (kF HT)			
• SB	370	304	370
• Heures de Calcul	120	130	400
Orstom (kF HT)			
• SB	150	150	220

Estimation des besoins annuels en crédits récurrents

IV - LOCAUX

1. Situation actuelle.

L'effectif du Laboratoire, en personnels permanents, a fortement crû ces dernières années : il est passé de 22 au 1/01/92 (date de la création du LTHE en tant qu'URA et de son intégration à la Communauté SDU du CNRS), à 26 au 01/01/95 (passage au statut d'UMR), pour atteindre 34 au 30/04/98 (36 fin mai 1998 avec l'arrivée programmée de 2 chercheurs Orstom), soit un taux de croissance de 64 % en 6 ans, au caractère équilibré entre ses différentes tutelles.

De plus, le laboratoire accueille, en régime permanent, une vingtaine de doctorant(e)s et de manière régulière et récurrente 18 stagiaires et 3 à 4 post-docs par an.

Comme l'indique le rapport documentaire joint, il occupe actuellement, au sein des locaux de l'ENSHMG, une surface de 813 m² SHON répartie sur 3 bâtiments dont 20 % n'ont pas accès à la lumière naturelle. Le manque notoire de surface reconnu par les Directeurs successifs (Y. Fautrelle, J.M. Grésillon) de l'ENSHMG :

- a conduit à délocaliser géographiquement ces dernières années certaines activités expérimentales lourdes vers d'autres centres (e.g. Institut de l'Environnement de l'UE/Ispra Italie) d'une part, et des doctorant(e)s vers différentes unités (e.g. LHF, CSTB, CEA-Grenoble, LCPC-Nantes) d'autre part.

- ne permet plus l'accueil de nouveaux chercheurs
- inhibe tout projet de développements expérimentaux
- mènerait, s'il devait perdurer, à un pilotage non scientifiquement fondé d'une grande partie de ses orientations.

2. Projet immobilier.

Ces raisons évoquées ci-dessus conduisent le Laboratoire à proposer la réalisation (construction ou rénovation d'un bâtiment) d'un projet immobilier baptisé M2E (Maison "Eau et Environnement) qui permettrait de satisfaire simultanément plusieurs objectifs :

- Contribuer fortement à accroître la visibilité du fort potentiel grenoblois dans le dispositif régional et national (voire international) concerné par la thématique.
- Renforcer l'interdisciplinarité par l'accueil, en son sein, de façon pérenne ou momentanée, des chercheurs de communautés scientifiques différentes mais complémentaires pour la réalisation de projets spécifiques.
- Assurer un développement satisfaisant des activités de recherche (notamment expérimentales et dont la plupart sont mises en sommeil faute de m² disponibles) du LTHE.
- Faire face, dans les prochaines années, à l'accroissement prévisible de son effectif.
- Réaliser son unité géographique ainsi que celle subséquente d'autres laboratoires de l'ENSHMG qui verraient par la même leur surface augmenter, grâce au déménagement du LTHE.

Les besoins en surface "recherche" sont estimés à 1600 m² SHON

D'autre part, et en liaison notamment avec le projet de restructuration des Enseignements de Géosciences (1er/2ème cycles) et leur réorientation vers les Enveloppes Fluides Superficielles dans laquelle le LTHE est partie prenante, il conviendrait de prévoir :

Une surface supplémentaire (à préciser) en salles de cours et amphithéâtre

qui pourrait également être utilisée pour la tenue de sessions de formation permanente et/ou d'Ecoles Thématiques.

Pour ce qui le concerne, et dans le cadre de ses missions de recherche et de formation par ou à la recherche, le LTHE sollicite l'appui conjoint de ses 2 tutelles grenobloises (INPG et UJF) pour soutenir et porter le projet M2E auprès des instances régionale (dans le cadre de la préparation du XII CPER) et nationale (à l'occasion de la présente contractualisation (MENRT/Etablissements d'Enseignement Supérieur/EPST-CNRS et Orstom), sans oublier le plan U3M du Ministère.



ORSTOM



L T H E

Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement

Unité Mixte de Recherches, UMR 5564

CNRS, Département Sciences de l'Univers

Institut National Polytechnique de Grenoble, ENSHMG

Université Joseph Fourier-Grenoble 1, UFR-MECANIQUE

Institut français de recherches scientifiques pour le Développement en Coopération
(Orstom, Département Ressources Environnement Développement)

PUBLICATIONS ET PRODUCTIONS

1995 - 1998



Directeur :

Directeur-Adjoint :

M. VAUCLIN

J.D. CREUTIN

PUBLICATIONS DANS UNE REVUE A COMITE DE LECTURE

1995

- HMET-PUB 95 **ANDRIEU H., J.D. CREUTIN, 1995**
 Identification of vertical profiles of radar reflectivity using an inverse method:
 1. Formulation. *J. of Applied Meteorology*, 34 (1) 225-239.
- HMET-PUB 95 **ANDRIEU H., G. DELRIEU, J.D. CREUTIN, 1995**
 Identification of vertical profiles of radar reflectivity using an inverse method:
 2. Sensitivity analysis and case study. *J. of Applied Meteorology*, 34 (1) 240-259.
- HZNS-PUB 95 **BRAUD I., A.C. DANTAS-ANTONINO, M. VAUCLIN, 1995**
 A stochastic approach to study the influence of the spatial variability of soil
 hydraulic properties on surface fluxes, temperature and humidity. *Journal of*
Hydrology, 165, 283-310.
- HZNS-PUB 95 **BRAUD I., A. DANTAS-ANTONINO, M. VAUCLIN, J.L. THONY,**
P. RUELLE, 1995
 A simple soil plant atmosphere transfer model (SiSPAT). Development and field
 verification. *Journal of Hydrology*, 166, 213-250.
- HZNS-PUB 95 **BARRY D.A., J.Y. PARLANGE, R. HAVERKAMP, P.J. ROSS, 1995**
 Infiltration under ponded conditions : An explicit predictive infiltration formula.
Soil Science, 160, n° 1, 8-17.
- HZNS-PUB 95 **BARRY D.A., J.Y. PARLANGE, R. HAVERKAMP, 1995**
 Comment on falling head ponding infiltration by J.R. Philip. *Water Resources*
Research, 31, 787-789.
- HMET-PUB 95 **DELRIEU G., J.D. CREUTIN, H. ANDRIEU, 1995**
 Simulation of X-band weather radar mountain returns using a digitized terrain
 model. *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, 12(5) : 1038-1049.
- HZNS-PUB 95 **HOGARTH W.L., J.Y. PARLANGE, J. SPRINTALL, R. HAVERKAMP,**
M.B. PARLANGE, 1995
 Addendum to "Interaction of wetting fronts with an Impervious Surface".
Transport in Porous Media, 21, n° 1, 95-99.
- HZNS-PUB 95 **IBRAHIMA A., A. MERMOUD, G. VACHAUD, 1995**
 Techniques culturales et alimentation en zone soudano-sahélienne. *Cahiers*
Agriculture, 1995, vol. 4 : 29-38.
- TMP-PUB 95 **LAURENT J.P., C. GUERRE-CHALEY, 1995**
 Influence de la teneur en eau et de la température sur la conductivité thermique
 du béton cellulaire autoclavé. *Materials and structures*, 28, 464-472.
- HZNS-PUB 95 **LIU Y., J.Y. PARLANGE, T. S. STEENHUIS, R. HAVERKAMP, 1995**
 A soil water hysteresis model for fingered flow data. *Water Resources*
Research, 31, n° 9, 2263-2266.

- HZNS-PUB 95 MORENO F., F. CABRERA, L. ANDREU, R. VAZ, J. MARTIN-ARANDA, G. VACHAUD, 1995
Water movement and salt leaching in drained and irrigated soils of SW Spain. *Agricultural Water Management*, 27, 25-44.
- HSURF-PUB 95 NALBANTIS I., Ch. OBLED, J.Y. RODRIGUEZ, 1995
Unit Hydrograph and effective precipitation identification. *Journal of Hydrology*, 168, 127-157.
- HZNS-PUB 95 ROSS P.J., J.Y. PARLANGE, R. HAVERKAMP, 1995
Two dimensional interaction of a wetting front with an impervious layer : analytical and numerical solutions. *Transport in Porous Media*, 20, n° 3, 251-263.
- HZNS-PUB 95 SMETTEM K.R.J., P.J. ROSS, R. HAVERKAMP, J.Y. PARLANGE, 1995
Three-dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer. III. Parameter estimation using a double disc tension infiltrometer. *Water Resources Research*, vol. 31, n° 10, 2491-2495.
- HZNS-PUB 95 TABUADA M.A., Z.J.C. REGO, G. VACHAUD, 1995
Two-dimensional infiltration under furrow irrigation : modelling, validation and applications. *Agricultural Water Management*, 27, n 2, 105-1243.

1996

- HMET-PUB 96 AMANI A., T. LEBEL, J. ROUSSELLE, J.D. TAUPIN, 1996
Typology of rainfall fields to improve rainfall estimation in the Sahel by the area threshold method. *Water Resources Research*, 32, n° 8, 2473-2487.
- HZNS-PUB 96 ANDREU L., N.J. JARVIS, F. MORENO, G. VACHAUD, 1996
Simulating the impact of irrigation management on the water and salt balance in drained marsh soils (Marismas, Spain). *Soil Use and Management*, 12, 109-116.
- HZNS-PUB 96 ANGULO-JARAMILLO R., J.P. GAUDET, J.L. THONY, M. VAUCLIN, 1996
Measurements of Hydraulic properties and mobile water content of field soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60 : 710-715.
- HZNS-PUB 96 BOURAOU F., T.A. DILLAHA, 1996
ANSWERS-2000 : Runoff and Sediment transport model. *J. Environ. Eng., Div. ASCE*, 126 (6) : 493-502.
- HZNS-PUB 96 CONNELL L.D., R. HAVERKAMP, 1996
A quasi-analytical model for soil solute movement under plant water use. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, vol. 60, n° 5, 1350-1355.
- TMP-PUB 96 CRAUSSE P., J.P. LAURENT, B. PERRIN, 1996
Influence des phénomènes d'hystérésis sur les propriétés hydriques de matériaux poreux. Comparaison de deux modèles de simulation du comportement thermohydrigue de parois de bâtiment. *Revue Générale de thermique*, 35 : 95-106.
- HSURF-PUB 96 FRANCHINI M., J. WENDLING, Ch. OBLED, E. TODINI, 1996
Physical interpretation and sensitivity analysis of the TOPMODEL. *Journal of Hydrology*, 175, 293-338.
- HZNS-PUB 96 FUENTES C., M. VAUCLIN, J.Y. PARLANGE, R. HAVERKAMP, 1996
A note on the soil-water conductivity of a fractal soil. *Transport in Porous Media*, vol. 23, n° 1, 31-36.

- HZNS-PUB 96 **GABRIELLE B., L. KENGNI, 1996**
 Analysis and Field-Evaluation of the CERES Models Soil Components : Nitrogen Transfer and Transformations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60, 142-149.
- HSURF-PUB 96 **GRESILLON J.M., 1996**
 Le bassin versant, échelles d'analyse et compréhension des processus. *Géomorphologie, relief, processus Environnement* n° 3 : 3-15.
- HZNS-PUB 96 **MARENCO JA., S.E. NICHOLSON, A.R. LARE, B.A. MONTENY, S. GALLE, J.D. COOPER, 1996**
 Application of evapoclimatology to monthly surface water balance calculations at the HAPEX-Sahel supersites. *J. Appl. Meteorol.*, 35 : 562-573.
- HZNS-PUB 96 **PARLANGE J.Y., R. HAVERKAMP, D.A. BARRY, W.L. HOGARTH, T. STEENHUIS, P.J. ROSS, K.R.J. SMETTEM, 1996**
 Comment on « In-situ method for estimating subsurface unsaturated hydraulic conductivity ». *Water Resources Research*, vol. 32, n° 6, 1895-1896.
- HZNS-PUB 96 **REVOL Ph., B.E. CLOTHIER, P. KOSUTH, G. VACHAUD, 1996**
 The free-water pond under a trickle source : a field test of existing theories. *Irrigation Sciences*, 16, 169-173.
- HZNS-PUB 96 **ROSS P.J., R. HAVERKAMP, J.Y. PARLANGE, 1996**
 Calculating parameters for infiltration equations from soil hydraulic functions. *Transport in Porous Media*, vol. 24, n°3, 315-339.
- HMET-PUB 96 **SKAUGEN T., J.D. CREUTIN, L. GOTTSCHALK, 1996**
 Reconstruction and frequency estimates of externe daily areal precipitation. *J. of Geophysical Research*, 101 (D21) : 26287-26295.
- HZNS-PUB 96 **TASLI S., P. RAVANEL, M. TISSUT, J.L. THONY, B. GARINO, 1996**
 Atrazine movement and dissipation in a sandy loam soil under irrigation : an immunoenzymatic study. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 56, 359-366.
- HZNS-PUB 96 **TASLI S., L. PATTY, H. BOETTI, P. RAVANEL, G. VACHAUD, C. SCHARFF, J. FAVRE-BOIVIN, M. KOUADJI, M. TISSUT, 1996**
 Persistence and leaching of atrazine in corn culture in the experimental site of la Côte-St. André (Isère, France). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 30:203-212.

1997

- HMET-PUB 97 **AMANI A., T. LEBEL, 1997**
 Lagrangian kriging for the estimation of sahelian rainfall at small time steps. *Journal of Hydrology*, 192 : 125-157.
- HMET-PUB 97 **ANDRIEU H., J.D. CREUTIN, G. DELRIEU, D. FAURE, 1997**
 Use of a weather radar for the hydrology of a mountainous area. Part I : Radar measurement interpretation. *Journal of Hydrology*, 193 (1-2) : 1-25.
- HZNS-PUB 97 **ANGULO-JARAMILLO R., F. MORENO, B.E. CLOTHIER, J.L. THONY, G. VACHAUD, E. FERNANDEZ-BOY, J.A. CAYUELA, 1997**
 Seasonal variation of hydraulic properties of soils measured using a tension disk infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 61 : 27-32.
- HMET-PUB 97 **BA M.B., G. DEDIEU, Y.H. KERR, S.E. NICHOLSON, J. LECOCQ, 1997**
 Reduction of bidirectional effects in NOAA-AVHRR data acquired during the HAPEX-Sahel experiment. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 725-748.

- TMP-PUB 97 **BOUGUERRA A., J.P. LAURENT, M.S. GOUAL, M. QUENEUDEC, 1997**
Measurement of the thermal conductivity of solid aggregates using transient plane source technique. *J. Phys. D : Appl. Phys.*, 30 : 2900-2904.
- HZNS-PUB 97 **BOULET G., I. BRAUD, M. VAUCLIN, 1997**
Study of the mechanisms of evaporation under arid conditions using a detailed model of the soil atmosphere continuum. Application to the Efeda-I experiment. *Journal of Hydrology*, 193 (1-2) : 114-141.
- HZNS-PUB 97 **BRAUD I., P. BESSEMOULIN, B. MONTENY, M. SICOT, J.P. VANDERVAERE, M. VAUCLIN, 1997**
Unidimensional modeling of a fallow savannah during the Hapex-Sahel experiment using the SiSPAT Model. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 912-945.
- HMET-PUB 97 **BROMLEY J., W.M. EDMUNDS, E. FELLMAN, J. BROUWER, S.R. GAZE, J. SUDLOW, J.D. TAUPIN, 1997**
Estimation of rainfall inputs and direct recharge to the deep unsaturated zone of southern Niger using the chloride profile method. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 139-154.
- HMET-PUB 97 **CREUTIN J.D., H. ANDRIEU, D. FAURE, 1997**
Use of a weather radar for the hydrology of a mountainous area. Part II : Radar measurement validation. *Journal of Hydrology*, 193 (1-2) : 26-44.
- HZNS-PUB 97 **CUENCA R.H., J. BROUWER, A. CHANZY, P. DROOGERS, S. GALLE, S. GAZE, M. SICOT, H. STRICKER, R. ANGULO-JARAMILLO, S.A. BOYLE, J. BROMLEY, A.G. CHEHBOUNI, J.D. COOPER, A. J. DIXON, J.C. FIES, M. GANDAH, J.C. GAUDU, L. LAGUERRE, M. SOET, H.J. STEWART, J.P. VANDERVAERE, M. VAUCLIN, 1997**
Soil measurements during the HAPEX-Sahel Intensive Observation Period. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 224-266.
- HMET-PUB 97 **DELRIEU G., S. CAUDAL, J.D. CREUTIN, 1997**
Feasibility of using mountain return for the correction of ground-based X-band weather radar data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, vol. 14 (3) : 368-385.
- HMET-PUB 97 **DESCONNETS J.C., J.D. TAUPIN, T. LEBEL, C. LEDUC, 1997**
Hydrology of the HAPEX-Sahel central Super-Site : surface water drainage and aquifer recharge through the pool systems. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 155-178.
- HMET-PUB 97 **DOLMAN A.J., J.H.C. GASH, J.P. GOUTORBE, Y. KERR, T. LEBEL, S.D. PRINCE, J.M.M. STRICKER, 1997**
The rôle of the land surface in sahelian climate : HAPEX-Sahel results and future research needs. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 1067-1079.
- HMET-PUB 97 **FAURE D., H. ANDRIEU, J.D. CREUTIN, 1997**
Comparaison d'estimations radar et pluviométriques de pluies horaires sur de petits bassins versants cévenols. *La Houille Blanche*, 1/2, 19-34.
- TMP-PUB 97 **FERNANDES C.P., F.S. MAGNANI, P.C. PILIPPI, J.F. DAIAN, 1997**
Multiscale geometrical reconstitution of porous structures. *Physical Review E*, vol. 54 : 1734-1741.
- TMP-PUB 97 **GARNIER P., E. PERRIER, R. ANGULO-JARAMILLO, P. BAVEYE, 1997**
Numerical model of 3-dimensional anisotropic deformation and 1-dimensional water flow in swelling soils. *Soil Science*, vol. 162 (6) : 410-420.

- TMP-PUB 97 **GARNIER P., M. RIEU, P. BAVEYE, P. BOIVIN, M. VAUCLIN, 1997**
Determining swelling soil hydraulic properties by parameter estimation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 61 (6) : 1555-1563.
- HMET-PUB 97 **GASH J.H.C., P. KABAT, B.A. MONTENY, M. AMADOU, P. BESSEMOULIN, H. BILLING, E.M. BLYTH, H.A.R. deBRUIN, J.A. ELBERS, T. FRIBORG, G. HARRISON, C.J. HOLWILL, C.R. LLOYD, J.P. LHOMME, J.B. MONCRIEFF, D. PUECH, H. SOEGAARD, J.D. TAUPIN, A. TUZET, A. VERHOEF, 1997**
The variability of evaporation during the HAPEX-Sahel intensive Observation period. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 385-399.
- TMP-PUB 97 **GERARD-MARCHANT P., R. ANGULO-JARAMILLO, R. HAVERKAMP, M. VAUCLIN, 1997**
Estimating the hydraulic conductivity of slowly permeable and swelling materials from single-ring experiments. *Water Resources Research*, vol. 33 (6) : 1375-1382.
- HMET-PUB 97 **GOUTORBE J.P., T. LEBEL, A.J. DOLMAN, J.H.C. GASH, P. KABAT, Y.H. KERR, B. MONTENY, S.D. PRINCE, J.N.M. STRICKER, A. TINGA, J.S. WALLACE, 1997**
An overview of HAPEX-Sahel : a study in climate and desertification. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 4-17
- HZNS-PUB 97 **GOUTORBE J.P., J. NOILHAN, P. LACARRERE, I. BRAUD, 1997**
Modeling of the atmospheric column over the central sites. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 1017-1039.
- HMET-PUB 97 **KIEFFER A., Ph. BOIS, 1997**
Variabilité des caractéristiques statistiques des pluies extrêmes dans les Alpes Françaises. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2 : 199-216.
- HMET-PUB 97 **LE BARBE L., T. LEBEL, 1997**
Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 43-73.
- HMET-PUB 97 **LEBEL T., J.D. TAUPIN, N. D'AMATO, 1997**
Rainfall monitoring during HAPEX-Sahel. 1 : General rainfall conditions and climatology. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 74-96.
- HMET-PUB 97 **LEBEL T., L. LEBARBE, 1997**
Rainfall monitoring during HAPEX-Sahel. 2 : Point and areal estimation at the event and seasonal scales. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 97-122.
- HZNS-PUB 97 **MONTENY B.A., J.P. LHOMME, A.G. CHEHBOUNI, D. TROUFLEAU, M. AMADOU, M. SICOT, S. GALLE, F. SAID, A. VERHOEF, C. LLOYD, 1997**
The role of the sahelian biosphere in the water and the CO2 cycle during the HAPEX-Sahel experiment. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 516-535.
- HMET-PUB 97 **MONCRIEFF J.B., B. MONTENY, A. VERHOEF, Th. FRIBORG, J. ELBERS, P. KABAT, H. de BRUIN, H. SOEGAARD, P.G. JARVIS, J.D. TAUPIN, 1997**
Spatial and temporal variations in net carbon flux during HAPEX-Sahel. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 563-588.
- TMP-PUB 97 **MUNOZ J.F., P. RENGIFO, M. VAUCLIN, 1997**
Acid leaching of copper in a saturated porous material : parameter identification and experimental validation of a two dimensional transport model. *J. Contaminant Hydrology*, 27 : 1-24.

- HZNS-PUB 97 **NICHOHLSON S.E., J.A. MENRENGO, J. KIM, A.R. LARE, S. GALLE, Y. KERR, 1997**
 A daily resolution evapoclimatology model applied to surface water balance calculations at the HAPEX-Sahel Supersites. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 946-964.
- HZNS-PUB 97 **NORMAND B., S. RECOUS, G. VACHAUD, L. KENGNI, B. GARINO, 1997**
 Nitrogen-15 tracers combined with tension neutronic method to estimate the nitrogen balance of irrigated maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61 (5) : 1508-1518.
- HZNS-PUB 97 **PARLANGE J.Y., D.A. BARRY, M.B. PARLANGE, W.L. HOGARTH, R.HAVERKAMP, P.J. ROSS, L. LING, T.S. STEENHUIS, 1997**
 New approximate analytical technique to solve Richards equation for arbitrary surface boundary conditions. *Water Resources Research*, 33 (4) : 903-906.
- HZNS-PUB 97 **PEUGEOT C., M. ESTEVES, J.L. RAJOT, J.P. VANDERVAERE, S. GALLE, 1997**
 Runoff generation processes : results and analysis of field data collected at the East Central Supersite of the HAPEX-Sahel experiment. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHEL" : 179-202.
- HZNS-PUB 97 **REVOL Ph., M. VAUCLIN, G. VACHAUD, B.E. CLOTHIER, 1997**
 Infiltration from a surface point source and drip irrigation.
 1. The midpoint soil water pressure. *Water Resources Research*, 33 (8) : 1861-1867.
- HZNS-PUB 97 **REVOL Ph., B.E. CLOTHIER, G. VACHAUD, M. VAUCLIN, 1997**
 Infiltration from a surface point source and drip irrigation.
 2. An approximative time dependent solution for wet-front position. *Water Resources Research*, 33 (8) : 1869-1874.
- HSURF-PUB 97 **SAULNIER G.M., Ch. OBLED, K. KEVEN, 1997**
 Digital elevation analysis for distributed hydrological modeling : reducing scale dependence in effective hydraulic conductivity data. *Water Resources Research*, vol. 33, (9) : 2097-2101.
- HSURF-PUB 97 **SAULNIER G.M., Ch. OBLED, K. BEVEN, 1997**
 Analytical compensation between DTM grid resolution and effective values of saturated hydraulic conductivity within the TOPMODEL Framework. *Hydrological Processes*, vol. 11 : 1331-1346.
- HZNS-PUB 97 **SEGHIERI J., S. GALLE, J.L. RAJOT, M. EHRMANN, 1997**
 Relationships between the soil moisture regime and the growth of the herbaceous plants in a natural vegetation mosaic in Niger. *J. Arid. Environ.*, 36 : 87-102.
- HMET-PUB 97 **SKAUGEN T., 1997**
 Classification of rainfall into small- and large scale events by statistical pattern recognition. *Journal of Hydrology*, 200 : 40-57.
- HSURF-PUB 97 **TAHA A., J.M. GRESILLON, B.E. CLOTHIER, 1997**
 Modelling the link between hillslope water movement and stream flow : application to a small mediterranean forest watershed. *Journal of Hydrology*, 203 (1-4) : 11-20.
- HMET-PUB 97 **TAUPIN J.D., 1997**
 Caractérisation de la variabilité spatiale des pluies aux échelles inférieures au kilomètre en région semi-aride (région de Niamey, Niger). *CR Acad. Sci., Paris, Sciences de la Terre et des Planètes*, t. 325 : 251-256.
- HMET-PUB 97 **TAYLOR C., F. SAID, T. LEBEL, 1997**
 Interactions between the land surface and mesoscale rainfall variability during HAPEX-Sahel. *Monthly Weather Rev.*, 125 (9) : 2211-227.

- HMET-PUB 97 **THIELEN J., J.D. CREUTIN, 1997**
An Urban hydrological model with high spatial resolution rainfall from a meteorological model. *Journal of Hydrology*, vol. 200 : 58-83.
- HZNS-PUB 97 **THONY J.L., P. MORAT, G. VACHAUD, J.L. LE MOUËL, 1997**
Field characterisation of the relationship between electrical potential gradients and soil water flux. *CR Acad Sci. Paris, Sciences de la Terre et des Planètes*, 325 : 317-321.
- HZNS-PUB 97 **VANDERVAERE J.P., C. PEUGEOT, M. VAUCLIN, R. ANGULO-JARAMILLO, T. LEBEL, 1997**
Estimating hydraulic conductivity of crusted soils using disc infiltrometers and micro-tensiometers. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHÉL" : 203-223.
- HMET-PUB 97 **WAI M.K., E.A. SMITH, P. BESSEMOULIN, A.D. CULF, A.J. DOLMAN, T. LEBEL, 1997**
Variability in boundary layer structure during HAPEX-Sahel wet-dry season transition. *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4), "Special Issue HAPEX-SAHÉL" : 965-997.
- TMP-PUB 97 **XU K., J.F. DAIAN, D. QUENARD, 1997**
Multiscale structures to describe porous media. Part I : Theoretical background and invasion by fluids. *Transport in Porous Media*, 26 : 51-73.
- TMP-PUB 97 **XU K., J.F. DAIAN, D. QUENARD, 1997**
Multiscale structures to describe porous media. Part II : Transport properties and application to test materials. *Transport in Porous Media*, 26, (3) : 319-338.
- 1998**
- HMET-PUB 98 **AMANI A., J.D. TAUPIN, 1998**
Estimation des pluies par satellite au Sahel : Evaluation des erreurs dues à l'échantillonnage temporel. *Revue des Sciences de l'Eau* (acceptée).
- HMET-PUB 98 **AMANI A., Th. LEBEL, 1998**
Relationship between point rainfall, average sampled rainfall and ground truth at the event scale in the Sahel. *Stochastic Hydrology and Hydraulics* (soumise).
- HSURF-PUB 98 **BELLEUDY Ph., 1998**
Restoring flow capacity in the Loire River bed. *Hydrological Processes* (soumise).
- HZNS-PUB 98 **BONILLA C.A., J.F. MUNOZ-PARDO, M. VAUCLIN, 1998**
OPUS simulation of nitrate transport of a maize field plot. *Ecological Modelling* (soumise).
- HZNS-PUB 98 **BOULET G., J.D. KALMA, L. GUERRA, 1998**
Estimation of catchment scale evaporation : comparison of a soil-vegetation-Atmosphere Transfer (SVAT) model and two hydrological models. *Environ. Software J.*, 12 (4) : 323-328.
- HZNS-PUB 98 **BOULET G., J.D. KALMA, I. BRAUD, M. VAUCLIN, 1998**
Towards effective land surface parameterization in regional-scale water balance studies. *Journal of Hydrology* (soumise).
- HZNS-PUB 98 **BOURAOUI F., G. VACHAUD, R. HAVERKAMP, B. NORMAND, 1998**
A distributed physical approach for surface-subsurface water transport modeling in agricultural watersheds. *Journal of Hydrology*, 203 (1-4) : 75-88.

- HZNS-PUB 98** **BOURAOUI F., G. VACHAUD, T. CHEN, 1998**
 Prediction of the effects of climatic changes and land use management on water resources by coupling of a hydrological model with a GIS. *Physics & Chemistry of Earth* (sous presse).
- HZNS-PUB 98** **BOURAOUI F., G. VACHAUD, L.ZX LI, H. LE TREUT, 1998**
 Evaluation of the impact of climate change on water storage and groundwater recharge at the watershed scale. *J. of Climate* (soumise).
- HZNS-PUB 98** **BOURAOUI F., T.A. DILLAHA, 1998**
 ANSWERS 2000 : Non point source nutrient transport model. *J. Environ. Eng., Div. ASCE* (soumise).
- HZNS-PUB 98** **BOURAOUI F., M.L. WOLF, R. HAVERKAMP, 1998**
 Evaluation of a rangeland model using two infiltration equations. *J. of Range Management* (soumise).
- HZNS-PUB 98** **BRAUD I., 1998**
 Spatial variability of surface properties and estimation of surface fluxes of a Savannah. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 89, n° 1, 15-44.
- HZNS-PUB 98** **CONNELL L.C., R. HAVERKAMP, C. COTE, P.J. ROSS, 1998**
 An inverse methodology for the determination of soil physical properties from positive head infiltration. *Water Resources Research* (soumise).
- HMET-PUB 98** **D'AMATO N., Th. LEBEL, 1998**
 On the characteristics of the rainfall events in the Sahel with a view to the analysis of climatic variability. *Intern. Journal of Climatology* (sous presse).
- TMP-PUB 98** **DEKKER L.W., C.J. RITSEMA, K. OOSTINDIE, O. WENDROTH, W. POHL, N. JARVIS, M. LARSSON, J.P. GAUDET, 1998**
 Moisture distributions and wetting rates of soils at experimental fields in the Netherlands, France, Sweden and Germany. *Journal of Hydrology* (soumise).
- HMET-PUB 98** **DELRIEU G., L. HUCKE, J.D. CREUTIN, 1998**
 Sensitivity study of attenuation in rain for X- and C-band weather radar systems. *J. Appl. Meteorology* (soumise).
- HMET-PUB 98** **DELRIEU G., H. ANDRIEU, J.D. CREUTIN, 1998**
 Quantification of path-integrated attenuation for X- and C-band weather radar systems operating in heavy rainfall. *J. Appl. Meteor.* (soumise).
- HMET-PUB 98** **DELRIEU G., S. SERRAR, E. GUARDO, J.D. CREUTIN, 1998**
 Rain measurement in hilly terrain with X-band systems : validation of the "Mountain Reference Technique". *J. of Atmospheric and Oceanic Technology* (soumise).
- HZNS-PUB 98** **DUWIG C., T. BECQUER, B.E. CLOTHIER, M. VAUCLIN, 1998**
 Nitrate leaching in oxisols of the Loyalty Islands (New Caledonia) under intensified agricultural practices. *Geoderma* (sous presse).
- HMET-PUB 98** **FAURE D., H. ANDRIEU, J.D. CREUTIN, 1998**
 Comparaison d'estimation radar et pluviométriques de pluies horaires sur de petits bassins versants cévenols. *La Houille Blanche* (sous presse).
- HZNS-PUB 98** **FREISSINET C., M. VAUCLIN, M. ERLICH, 1998**
 Comparaison of first-order analysis and fuzzy set approach in the evaluation of imprecisions in pesticide groundwater pollution using a screening model. *J. of Contaminant Hydrology* (sous presse).
- HZNS-PUB 98** **FREISSINET C., M. ERLICH, M. VAUCLIN, 1998**
 A fuzzy logic-based approach to assess imprecisions of soil water contamination modelling. *Soil Technology* (acceptée).

- TMP-PUB 98 **GABRIEL U., J.P. GAUDET, L. SPADINI, L. CHARLET, 1998**
Reactive transport of uranyl in a goethite column : an experimental and modelling study. *Chemical Geology* (acceptée).
- HZNS-PUB 98 **GALLE S., M. EHRMANN, C. PEUGEOT, 1998**
Water balance in a banded vegetation pattern. A case study of tiger bush in western Niger. *Catena, Special Issue* (sous presse).
- HZNS-PUB 98 **GANDOLA F., N.E. ABRIAK, R. HAVERKAMP, 1998**
Vizualisation and analysis of infiltration in unsaturated porous medium by the use of fluorescence. *Revue Française de Chimie-Physique* (soumise).
- TMP-PUB 98 **GARNIER P., R. ANGULO-JARAMILLO, D. Di CARLO, T.W.J. BAUTERS, T. STEENHUIS, J.Y. PARLANGE, P. BAVEYE, 1998**
Rapid measurements of water flow and soil swelling using dual-energy synchrotron X-rays. *Water Resources Research* (soumise).
- TMP-PUB 98 **GARNIER P., R. ANGULO-JARAMILLO, D.A. Di CARLO, T.W.J. BAUTERS, C. DARNAULT, T. STEENHUIS, J.Y. PARLANGE, Ph. BAVEYE, 1998**
Synchrotron X-ray measurements of rapid soil density and water content changes in swelling soils during infiltration. *Water Resource Research* (soumise).
- HSURF-PUB 98 **GRESILLON J.M., A. TAHA, 1998**
Les zones saturées contributives en climat méditerranéen : condition d'apparition et influence sur les crues. *Journal des Sciences Hydrologiques*, 43 (2) : 267-282.
- HSURF-PUB 98 **GRESILLON J.M., A. TAHA, A. SCHOBER, 1998**
Analysis of the variability of the infiltration rate with respect to the rainfall intensity. Rôle of vegetation. *Journal of Hydrology* (acceptée).
- HMET-PUB 98 **GUILBAUD S., Ch. OBLED, 1998**
Prévision quantitative des précipitations par une technique de recherche d'analogues : optimisation du critère d'analogie. *CR Acad. Sci., Paris, Sciences de la Terre et des Planètes* (acceptée).
- HMET-PUB 98 **GUILLOT G., 1998**
Sahelian rainfall fields modelling with meta-gaussian random functions. 1 : model definition and methodology. *Stochastic Hydrology and Hydraulics* (soumise).
- HMET-PUB 98 **GUILLOT G., Th. LEBEL, 1998**
Sahelian rainfall fields modelling with meta-gaussian random functions. 2 : parameter estimation and comparison to date. *Stochastic Hydrology and Hydraulics* (soumise).
- HZNS-PUB 98 **GUINOT V., M. VAUCLIN, 1998**
Simplified transfer functions for pesticides in the unsaturated zone. *J. of Contaminant Hydrology* (soumise).
- HZNS-PUB 98 **GUINOT V., M. VAUCLIN, 1998**
Physically -based modelling for aquifer well protection against contamination by pesticides. *J. of Contaminant Hydrol.* (soumise).
- HZNS-PUB 98 **HAVERKAMP R., J.L. ARRUE, P.J. ROSS, F.N. DALTON, M.V. LOPEZ, F. BOURAOUI, R. GARCIA, 1998**
Influence of stones and porous coarse fragments on water content measurements and bulk density at field scale. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (soumise).
- HZNS-PUB 98 **HAVERKAMP R., P.J. ROSS, C. FUENTES, L. CONNELL, J.Y. PARLANGE, D.A. BARRY, 1998**
Infiltration under ponded conditions : Prediction of infiltration parameters with changing initial conditions. *Soil Science* (soumise).

- HZNS-PUB 98 **KALMA J.D., G. BOULET, 1998**
Measurement and prediction of soil moisture in a medium-sized catchment. *Hydrological Science Journal* (acceptée).
- HMET-PUB 98 **LAURENT H., N. D'AMATO, T. LEBEL, 1998**
How important is the contribution of the mesoscale convective complexes to the Sahelian rainfall. *Physics and Chemistry of the Earth* (acceptée).
- HMET-PUB 98 **LAURENT H., I. JOBARD, A. TOMA, 1998**
Validation of satellite and ground based estimates of precipitation over the Sahel. *Atmospheric Research* (acceptée).
- HMET-PUB 98 **LEBEL Th., I. BRAUD, J.D. CREUTIN, 1998**
A space-time rainfall disaggregation model adapted to sahelian mesoscale convective complexes. *Water Ressources Research* (acceptée).
- HMET-PUB 98 **LEBEL Th., A. AMANI, 1998**
Rainfall estimation in the Sahel : What is the ground truth ? *J. of Applied Meteor.* (soumise).
- HZNS-PUB 98 **LINDER W., J. NOILHAN, M. BERGER, K. BLUEMEL, E. BLYTH, G. BOULET, I. BRAUD, A. DOLMAN, F. FIEDLER, J. GRUNWALD, R. HARDING, B. vd.HURK, G. JAUBERT, A. MUELLER, M. OGINK , 1998**
Intercomparison of surface schemes using EFEDA flux data. *Annales Geophysicae* (soumise).
- TMP-PUB 98 **MUNOZ J.F., P. RENGIFO, C. SHACKELFORTH, A. SUAZO, M. VAUCLIN, 1998**
In situ acid leaching of copper tailing deposits : a case study. *Groundwater* (soumise).
- TMP-PUB 98 **NETTO A.M., R.A. PIERITZ, J.P. GAUDET, 1998**
Field study on the local variability of soil water content and solute concentration. *Journal of Hydrology* (acceptée).
- HZNS-PUB 98 **PARLANGE J.Y., W.L. HOGARTH, D.A. BARRY, T.S. STEENHUIS, M.B. PARLANGE, R. HAVERKAMP, P.J. ROSS, L. LING, 1998**
Comment on series solution for Richards equation under concentration boundary conditions and uniform initial conditions. *Water Ressources Research* (soumise).
- HZNS-PUB 98 **PARLANGE J.Y., W.L. HOGARTH, M.B. PARLANGE, R. HAVERKAMP, D.A. BARRY, P.J. ROSS, T.S. STEENHUIS, 1998**
Approximate Analytical Solution of the non-linear diffusion equation for arbitrary boundary conditions. *Transport in Porous Media*, 30 : 45-55.
- HZNS-PUB 98 **ROSS P.J., R. HAVERKAMP, K.R.J. SMETTEM, J.Y. PARLANGE, 1998**
Three-dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer. IV. Improved solution based on numerical investigation. *Water Ressources Research* (sous presse).
- HMET-PUB 98 **SALLES C., J.D. CREUTIN, D. SEMPERE-TORRES, 1998**
The optical spectro-pluviometer revisited. *J. of Atmospheric and Oceanic Technology* (acceptée).
- HSURF-PUB 98 **SAULNIER G.M., Ch. OBLED, K. BEVEN, 1998**
Including spatially variable effective soil depths in TOPMODEL. *Journal of Hydrology*, 202 (1-4) : 158-172.
- TMP-PUB 98 **SCHOEN R., J.P. GAUDET, D.E. ELRICK, 1998**
Modelling of solute transfer in a large undisturbed lysimeter, during steady-state water flux. *Journal of Hydrology* (acceptée).

- TMP-PUB 98 **SCHOEN R., J.P. GAUDET, T. BARIAC, 1998**
 Preferential flow and solute transport in a large lysimeter under controlled boundary conditions. *Journal of Hydrology* (acceptée).
- HMET-PUB 98 **SEMPERE-TORRES D., J.M. PORRA, J.D. CREUTIN, 1998**
 Experimental evidence of a general description for raindrop size distribution properties. *Journal of Geophysical Research*, 103 (D2) , (sous presse).
- TMP-PUB 98 **SIMUNEK J., R.ANGULO-JARAMILLO, M. SCHAAP, J.P.VANDERVAERE, M. Th. VAN GENUCHTEN, 1998**
 Using an inverse method to estimate the hydraulic properties of crusted soils from tension disc infiltrometer data. *Geoderma* (soumise).
- HMET-PUB 98 **TAUPIN J.D., 1998**
 Variabilité isotopique à l'échelle infra-événement de quelques épisodes pluvieux dans la région de Niamey. *CR Acad. Sci., Paris, Sciences de la Terre et des Planètes* (soumise).
- HMET-PUB 98 **TAYLOR C., T. LEBEL, 1998**
 Observational evidence of persistent convective scale rainfall patterns. *Monthly Weather Rev.* (soumise).
- HMET-PUB 98 **THIELEN J., W. WOBROCK, A. GADIAN, P. MESTAYER, J.D. CREUTIN, 1998**
 The influence of the lower boundary on convective rainfall development. *Atmospheric Research* (soumise).
- HMET-PUB 98 **UIJLENHOET R., J.N.M. STRICKER, P.J.J.F. TORFS, J.D. CREUTIN, 1998**
 Testing the Poisson homogeneity hypothesis in rainfall. *Physics and Chemistry of the Earth* (soumise).
- HMET-PUB 98 **UIJLENHOET R., J.N.M. STRICKER, 1998**
 A consistent rainfall parameterization based on the Marshall-Palmer raindrop size distribution. *Journal of Hydrology* (soumise).
- HZNS-PUB 98 **VANDERVAERE J.P., M. VAUCLIN, R. HAVERKAMP, C. PEUGEOT, J.L. THONY, M. GILFEDDER,, 1998**
 Prediction of crust-induced surface runoff with disc infiltrometer data. *Soil Science*, 163 : 9-21.
- TMP-PUB 98 **ZAKRI T., J.P. LAURENT,, M. VAUCLIN, 1998**
 Theoretical evidence of the "Lichtenecker's mixture formulae" based on the effective medium theory. *J. of Physics D : Applied Physics* (sous presse).
- TMP-PUB 98 **ZAKRI T., J.P. LAURENT, 1998**
 Time domain reflectometry techniques for water content measurement. *High Temperatures*, vol. 30 : 19-23

ARTICLES DANS REVUE SANS COMITE DE LECTURE

1996

- HSURF-PUB 96 **OBLED Ch., S. SENESI, 1996**
 La prévision des crues. *Sciences et Avenir*, n° Hors Série, « Le futur est-il prévisible » ? (3 pages).

1997

HSURF-PUB 97

OBLED Ch., 1997

Les crues des rivières torrentielles en Isère. *Inforisques* (revue de l'IRMA), n° 8 : 6-9

OUVRAGE OU EXTRAIT

1995

TMP-OUV 95

DAIAN J.F., LAURENT J.P., 1995

Structure poreuse et transport d'humidité dans les roches. Cours européen "Sciences et matériaux du patrimoine culturel. 1ère session, Ravello/Rome, 13-20 avril 93, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato/

TMP-OUV 95

LAURENT J.P., 1995

Caractérisation de matériaux poreux par mesures électriques. Bilan Scientifique "Gréco Géomatériaux", vol. 2, Mécanique des géomatériaux, chapitre "Interactions", Ed. F. Darve, Hermès, Paris.

HZNS-OUV 95

SMETTEM K.R.J., K.L. BRISTOW, P.J. ROSS, R. HAVERKAMP, S.E. COOK, A.K.L. JOHNSON, 1995

Trends in water modelling at field scale using Richard's equation. In "Trends in Hydrology" Ed. C. Marland, Australian Institution of Engineers, pp. 385-402.

1996

HMET-OUV 96

DELRIEU G., 1996

Contribution à la révision du « MAP Design Proposal » pour l'hydrologie radar. Eds. P. Binder et Ch. Schaër, Map Program Office, Swiss Meteorological Institute, Zurich, Dec. 96.

HZNS-OUV 96

VACHAUD G., L. KENGNI, B. NORMAND, J.L. THONY, 1996

Water and Nitrate Balance in Irrigated Soils. In « Sustainability in Agriculture », NATO ASI Series, Kluwer Acad. Publish., pp. 395-406.

1997

HMET-OUV 97

CREUTIN J.D., "Eurydice 92", 1997. Articles longs sur Intensité-durée fréquence, pluviomètre, précipitations et radar météorologique dans "Encyclopédie de l'hydrologie urbaine". Ed. Lavoisier, Collection Tec & Doc., 1136 p.

HZNS-OUV 97

FUENTES C., M. VAUCLIN, J.Y. PARLANGE, R. HAVERKAMP, 1997

Soil water conductivity of a fractal soil, in "Fractals and chaos in Soil Science", Ed. P. Baveye, J.Y. Parlange, B.A. Stewart, ISBN 1-56670-105-8, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA : 333-340.

1998

- HZNS-OUV 98 **HVERKAMP R., F. BOURAOUI, R. ANGULO-JARAMILLO, C. ZAMMIT, 1998**
Soil properties and moisture movement in the unsaturated zone. In « Groundwater Engineering Handbook », Ed. J.W. Delleur, CRS Press (*sous presse*).
- HZNS-OUV 98 **HVERKAMP R., J.Y. PARLANGE, R. CUENCA, P.J. ROSS, T.S. STEENHUIS, 1998**
Scaling of the Richards'equation and its application to watershed modeling. In « scale invariance and scale dependence in Hydrology », Ed. G. Sposito, Cambridge University Press (*sous presse*).
- HMET-OUV 98 **GUILBAUD S., Ch. OBLED, J.Y. RODRIGUEZ, 1998**
Utilisation des techniques de recherche d'analogues pour la prévision quantitative des précipitations journalières.
Méthodes Statistiques et approches Bayésiennes en Hydrologie, E. Parent, P. Hubert, B. Bobee et J. Miquel (eds), UNESCO Paris, PHI Series : 339-414 (*sous presse*).
- HZNS-OUV 98 **PARLANGE J.Y., T.S. STEENHUIS, R. HVERKAMP, D.A. BARRY, P.J. CULLIGAN-HENSLEY, W.L. HOGART, M.B. PARLANGE, 1998**
Soil properties and water movement.
In « Vadose zone hydrology, cutting across disciplines », Ed. M.B. Parlange and J. Hopmans, Oxford Univ. press (*sous presse*).

COMMUNICATIONS

ART : ARTICLES A COMITE DE LECTURE

1995

- TMP-COM/ART 95 **ANGULO-JARAMILLO R., P. GERARD-MARCHANT, J.P. GAUDET, J.L. THONY, M. VAUCLIN, R. HVERKAMP, D. ELRICK, 1995**
Field measurement of hydraulic conductivity in slowly permeable swelling soils under saturated-unsaturated conditions. *First Intern. conf. on unsaturated soils*. Paris, (6-8/09/95), , In E.E. Alonso and P. Delage (eds). *Unsaturated Soils*, Ed. Balkena, ISBN 90 5410 585 2, vol. 2, 821-826.
- TMP-COM/ART 95 **ANGULO-JARAMILLO R., J.P. GAUDET, J.L. THONY, J.P. VANDERVAERE, M. VAUCLIN, B.E. CLOTHIER, 1995**
The mobile water content in aggregated unsaturated soil. *First Intern. conf. on unsaturated soils* Paris, (6-8/09/95) , In E.E. Alonso and P. Delage (eds). *Unsaturated Soils*, Ed. Balkena. ISBN 90 5410 584 2, vol. 1, 349-354.

- HZNS-COM/ART 95** **BOULET G., J.D. KALMA, J.M. HACKER, 1995**
 Short-term modelling of regional-scale energy and mass exchange at the land surface and comparison with aircraft measurements. *Int. Congress MODSIM 95 "Regional Development and Environmental Change"*, Newcastle, Australie (27-30/11/95). CR : 202-207.
- HZNS-COM/ART 95** **BOULET G., J.D. KALMA, L. GUERRA, 1995**
 Estimation of catchment scale evaporation : comparison of a soil-vegetation-atmosphere Transfer (SVAT) model and two hydrological models. *Int. Congress MODSIM 95 "Regional Development and Environmental Change"*, Newcastle, Australie (27-30/11), CR : 208-213.
- HZNS-COM/ART 95** **FUENTES C., R. HAVERKAMP, J.Y. PARLANGE, M. VAUCLIN, 1995**
 La solución cuasi-lineal de la infiltración. *XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*, Mexico, (14-17 /11/1995). CR : 14-17.
- HSURF-COM/ART 95** **GRESILLON J.M., A. TAHA, F. LE MEILLOUR, J. LAVABRE, Ch. PUECH, 1995**
 Analyse temporelle et spatiale des apports de crue sur un bassin méditerranéen. Relation avec les processus hydrologiques. *IAHS, IUGG General Assembly*, Boulder (Colorado), (2-14/07/95). Pub. n° 226 : 119-129.
- TMP-COM/ART 95** **KIM D.J., R. ANGULO-JARAMILLO, M. VAUCLIN, J. FEYEN, 1995**
 Comparison of Eulerian and Lagrangian approaches in soil deformation and water flow. *First Intern. conf. on Unsaturated Soils*. Paris, (6-8/09/95). In E.E. Alonso and P. Delage (eds). *Unsaturated Soils*, Ed. Balkema (Rotterdam), ISBN 90 5410 585 2, vol. 2, 751-757.
- HMET-COM/ART 95** **LEBEL T., A. AMANI, F. CAZENAVE, J. LECOCQ, J.D. TAUPIN, E. ELGUERO, M. GREARD, L. LE BARBE, H. LAURENT, N. D'AMATO et J. ROBIN, 1995**
 La distribution spatio-temporelle des pluies au Sahel : apports de l'expérience EPSAT-Niger. Preprints : *l'Hydrologie Tropicale : géoscience et outil pour le développement*, Paris, IAHS, Publ. n° 238, 77-98.
- HMET-COM/ART 95** **LEBEL Th., J. LECOCQ, F. CAZENAVE, J.D. TAUPIN, M. GREARD, L. LE BARBE, 1995**
 Vers une meilleure compréhension des fluctuations pluviométriques au Sahel : l'expérience EPSAT-Niger. *XXIème Assemblée Générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale*. Boulder (Colorado) 2-14/07/95), *Comité National Français de Géodésie et de Géophysique. Rapport quadriennal 1991-1994*, 225-236., publié avec le concours de l'Académie des Sciences de Paris.
- HMET-COM/ART 95** **LECOCQ J., H. BENICHOU, T. LEBEL, 1995**
 Rainfall climatology in tropical Africa using a C-band weather radar : (2) a case study involving a validation by raingauge measurements. *Proc. of the 3rd Intern. Symp. on Hydrological Applications of Weather Radars*. Sao Paulo, Brésil (20-23/08/95), 309-320.
- HZNS-COM/ART 95** **PARLANGE J.Y., T.S. STEENHUIS, R. HAVERKAMP, D.A. BARRY, P.J.CULLIGAN-HENSLEY, W.L. HOGARTH, M.B. PARLANGE, 1995**
 Soil properties and water movement. *International Kearney Foundation of Soil Science Conference « Vadose Zone Hydrology-Cutting across Disciplines »*, Davis (California, USA). (6-8/09/95). *Conférence invitée*. Proceedings : 181-200.
- HZNS-COM/ART 95** **REVOL P., B.E. CLOTHIER, G. VACHAUD, 1995**
 An approximate time-dependent solution for point-source infiltration. *Proceeding of the 5h Intern. Conf. "Microirrigation"*, (2-6/04/95) ORLANDO (USA), 603-608.

HZNS-COM/ART 95 **TOUMA J., R. HAVERKAMP, 1995**
Influence of the exponent of the hydraulic conductivity-water content relation on infiltration. *International Kearney Foundation of Soil Science Conference « Vadose Zone Hydrology-Cutting across Disciplines »*, Davis (California, USA). (6-8/09/9595). Proceedings : 117-126.

1996

HZNS-COM/ART 96 **BOURAOUI F., G. VACHAUD, 1996**
Développement d'un modèle spatialement distribué pour la prédiction de la recharge de la nappe aquifère dans les régions agricoles. *Colloque Intern. ESRA'96 « L'eau souterraine en région agricole »*, Poitiers (9-12/9/96). Comptes-rendus : S5 13-16.

HZNS-COM/ART 96 **DESCONNETS J.C., S. GALLE, C. LEDUC, C. PEUGEOT, 1996**
Les processus de redistribution des eaux en région sahélienne : l'hydrologie dans l'expérience Hapex-Sahel. *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement (Actes de la Conférence de Paris, mai 95)*, IAHS Publ. n° 238 : 125-137.

HZNS-COM/ART 96 **DUWIG C., T. BECQUER, B.E. CLOTHIER, M. VAUCLIN, 1996**
Nitrate leaching in the Loyalty Islands (New Caledonia) under intensified agricultural practices. *First International Conference on « Contaminants in the Soil Environment in the Australia-Pacific Region »*, Adelaïde, Fev. 96. Comptes-rendus : 27-38.

HZNS-COM/ART 96 **FREISSINET C., V. GUINOT, M. VAUCLIN, 1996**
Validity of calibration and exploitation results of models. *HYDROINFORMATICS 96*, IAHR Zurich (9-11/9/96). Comptes-rendus vol. 1 : 355-362.

HSURF-COM/ART 96 **GRESILLON J.M., C. PUECH, 1996**
Estimation des débits des crues sur les petits bassins versants en zones sahéliennes et tropicales. Analyse de données et suggestions pour le dimensionnement. *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement (Actes de la Conférence de Paris, mai 1995)*, IAHS publ. n° 238 : 395-412.

HMET-COM/ART 96 **GUILBAUD S., Ch. OBLED, Y. RODRIGUEZ, C. LLASAT, J. GIBERGANS, 1996**
Daily quantitative precipitation forecast by an analog technique : improvements and application to Italian catchments. *Int. Conf. on « Prevention of hydrological hazards : the rôle of scientific research*, Alba/Italie (5-7/11/96). Comptes-rendus : 347-350.

HZNS-COM/ART 96 **GUINOT V., M. VAUCLIN, 1996**
Modélisation des transferts de produits phytosanitaires en milieu souterrain et protection des captages en aquifères. *Colloque Intern. ESRA'96 « L'eau souterraine en région agricole »*, Poitiers (9-12/9/96). Comptes-rendus:S3 17-20

HMET-COM/ART 96 **KIEFFER A., Ph. BOIS, 1996**
Statistical analysis of long time series of rainfall risks in the French Alps. *Int. Conf. on « Prevention of hydrological hazards : the rôle of scientific research*, Alba/Italie (5-7/11/96). Comptes-rendus : 365-366.

TMP-COM/ART 96 **LAURENT J.P., 1996**
Modelling water and heat transfers in stones under climatic influence : Physical Basis », *8th International Congress on the Deterioration of Stone*, Berlin, 30.9-4.10/96 (J. Riederer, Ed.). Comptes-rendus : 733-738.

- TMP-COM/ART 96 **LAURENT J.P., R.A. PIERITZ, 1996**
Discrete multiphase equilibrium simulation in porous media. *Proc. of the Brazilian Congress of Engineering and thermal Sciences* (Florianopolis 11-14/11/96)., ENCIT/LATCYM 96, vol. II, p. 917-922.
- HMET-COM/ART 96 **LEBEL T., A. AMANI, F. CAZENAVE, J. LECOCQ, J.D. TAUPIN, E. ELGUERO, M. GREARD, L. LE BARBE, H. LAURENT, N. D'AMATO, J. ROBIN, 1996**
La distribution spatio-temporelle des pluies au Sahel : apports de l'expérience EPSAT-Niger. *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement* (Actes de la Conférence de Paris, mai 1995), IAHS publ. n° 238 : 77-98.
- HZNS-COM/ART 96 **NORMAND B., L. KENGNI, J.L. THONY, G. VACHAUD, 1996**
Estimation in situ des pertes en eau et en azote sous maïs irrigué de 1991 à 1994. *Colloque Intern. ESRA'96 « L'eau souterraine en région agricole »*, Poitiers (9-12/9/96). Comptes-rendus : S4 77-80.
- TMP-COM/ART 96 **SAADI Z, MASLOUHI A., J.P. GAUDET, 1996**
Transferts de soluté dans un milieu poreux non-saturé. *Colloque Intern. ESRA'96 "L'eau souterraine en région agricole"*, Poitiers (9-12/9/96).
- TMP-COM/ART 96 **VAUCLIN M., R. ANGULO-JARAMILLO, 1996**
Field measurement of soil hydraulic properties by disk and ring infiltrometers: state of the art and recent developments. *Intern. Thurnau Workshop on advanced methods to determine hydraulic properties of soils*. Bayreuth (Allemagne), 10-12/06/96. Comptes-rendus : 1-5. *Conférence invitée*.
- HZNS-COM/ART 96 **VAUCLIN M., 1996**
Modélisation des transferts de solutés dans la zone non saturée du sol : revue et état de l'art. *Colloque Intern. ESRA'96 « L'eau souterraine en région agricole »*, Poitiers (9-12/9/96). Comptes-rendus : S5 1-4. *Conférence invitée*.
- HZNS-COM/ART 96 **VAUCLIN M., R. ANGULO-JARAMILLO, 1996**
Water and solute transport processes in unsaturated soils : some hydrological and geotechnical aspects. In « Unsaturated soils », E.E. Alonso and P. Delage (eds). *Proc. First Int. Conf. on Unsaturated Soils* (Paris 6-8/9/95), 1357-1399. *Invited paper review*.

1997

- HZNS-COM/ART 97 **BOULET G., J.D. KALMA, 1997**
Impact of spatial variability in land surface characteristics on regional-scale evapotranspiration and runoff. *Proc. of Intern. Congress MODSIM 97*, Hobart/Australie (8-11/12/97) : 210-215.
- HZNS-COM/ART 97 **BOULET G., J.D. KALMA, 1997**
A long term study of the effect of spatial variation in soil physical. Characteristics on catchment water balance components. *Proc. of 5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*, Rabat/Maroc IAHS, Publ. à paraître.
- HZNS-COM/ART 97 **BOURAOUI F., G. VACHAUD, R. HAVERKAMP, T. CHEN, T.A. DILLAHA, 1997**
A Gis integrated distributed approach for nonpoint source pollution modelling. *Proc of 5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*, Rabat/Maroc (avril 97) : Sustainability of Water Resources under Increasing Uncertainty, Ed. D. Rosbjerg et al..IAHS, ISSN 0144-7815, Publ. n° 240 : 377-384.

- HZNS-COM/ART 97 **FREISSINET C., M. VAUCLIN, M. ERLICH, 1997**
Application of a fuzzy set approach to the evaluation of imprecisions in pesticide groundwater pollution using a screening model. *Proc. of European Symposium on Intelligent Techniques* (Bari-Italie : 103-107)
- HZNS-COM/ART 97 **FREISSINET C., M. ERLICH, M. VAUCLIN, 1997**
Imprecision in groundwater contamination modelling. A fuzzy logic approach. *EWRA Conference on « Operational Water Management », 3rd European Conf. on Advances in Water Resources Technology and Management, Copenhagen/Danemark, (Sept. 97). Comptes-rendus : 47-54.*
- HZNS-COM/ART 97 **FREISSINET C., M. ERLICH, M. VAUCLIN, 1997**
Validity of results of groundwater contamination potential by pesticides. A fuzzy set approach. *4th International Conference « Water Pollution 97 : Modelling, measuring, and prediction », Bled /Slovenie (Juin 97). Comptes-rendus : 189-194.*
- HZNS-COM/ART 97 **GALLE S., J. SEGHERI, H. MOUNKAILA, 1997**
Fonctionnement hydrologique et biologique à l'échelle locale. Cas d'une brousse tigrée au Niger. *Actes du Congrès sur le "Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contrastés sahéliens", J.M. d'Herbès, J.M.K. Ambouta and R. Peltiers (Eds), John Libbey Eurotext, Paris, 105-118.*
- HMET-COM/ART 97 **GUILBAUD S., Ch. OBLED, J.Y. RODRIGUEZ, C. LLSAT, J. GIBERGANS, 1997**
Daily quantitative precipitation forecast by an analog technique : reprocessing of the similarity criterion with available data. *Proc. of 77th AMS Annual Meeting Conference on Hydrology. Long Beach /Californie (février 1997) : 127-130.*
- HZNS-COM/ART 97 **FOUCHE-ROGUEZ S., G. NAJJAR, I. BRAUD, J. NOILHAN, B. AMBROISE, 1997**
Comparaison of three soil-vegetation-atmosphere transfer models (EARTH, ISBA, SiSPAT) and application to a middle mountain site (Vosges) *6th Conf. on the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB) Strasbourg. Proceedings edited by D. Viville and I.G. Littlewood : IHP-V/Technical Documents in Hydrology, n° 14, Unesco-Paris : 51-57.*
- HSURF-COM/ART 97 **GRESILLON J.M., V. MARC, A. SCHOBBER, A. TAHA, 1997**
Confrontation des méthodes de la géochimie, de l'hydrodynamique et de l'hydrologie statistique pour l'étude des crues. *Proc. of 5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences, Rabat/Maroc (avril 97) : Hydrochemistry. IAHS Publ. n° 244 : 133-140.*
- HZNS-COM/ART 97 **HAVERKAMP R., F. BOURAOUI, C. ZAMMIT, 1997**
Scaling of Richards'equation and its application to watershed modeling. *5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences, Rabat/Maroc (avril 97). IAHS, Publ. à paraître.*
- HZNS-COM/ART 97 **HAVERKAMP R., I. BRAUD , F. BOURAOUI, 1997**
Hydrology of the non-saturated zone at regional scale. *5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences, Rabat/Maroc (avril 97). IAHS, Publ. à paraître.*
- HMET-COM/ART 97 **LAURENT H., Th. LEBEL, J. POLCHER, 1997**
Rainfall variability in soudano-sahelian africa studied from raingauges, satellite and GCM. *Proc. of 77th AMS Annual Meeting Conference in Hydrologie. Long Beach/Californie (février 1997) : 17-20.*
- HMET-COM/ART 97 **LEDUC C., J.D. TAUPIN, 1997**
Hydrochimie et recharge de la nappe phréatique du Continental Terminal (Niamey, Niger). *Proc. of 5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences, Rabat/Maroc (avril 97) : Hydrochemistry. IAHS, Publ. n° 244 : 235-243.*

- HMET-COM/ART 97 **PORRA J.M., D. SEMPERE-TORRES, J.D. CREUTIN, 1997**
Modeling of drop size distribution and its applications to rainfall measurements from radar. *Actes Stochastic Methods in Hydrology*. U.K. Gupta Ed. : 73-84
- TMP-COM/ART 97 **SAADI Z, A. MASLOUHI, J.P. GAUDET, R. SCHOEN, M. ZRAOULI, 1997**
Modélisation des transferts hydriques et de solutés dans les sols non saturés. *Proc. of 5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*, Rabat/Maroc (avril 97). IAHS, Publ. à paraître.
- HSURF-COM/ART 97 **SCHOBBER A., J.M. GRESILLON, 1997**
Une démarche pour la prédétermination des débits de crues dans un contexte de données rares. *Proc. of 5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*, Rabat/Maroc (avril 97). IAHS, Publ. à paraître.
- HMET-COM/ART 97 **TAUPIN J.D., R. GALLAIRE, Y. ARNAUD, 1997**
Analyses isotopiques et chimiques des précipitations sahéniennes de la région de Niamey au Niger : implications climatologiques. *Proc. of 5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*, Rabat/Maroc (avril 97) : Hydrochemistry. IAHS, Publ. n° 244 : 151-162.
- HSURF-COM/ART 97 **VINE P., C. PUECH, J.M. GRESILLON, 1997**
La télédétection : un outil pour mettre en évidence le rôle hydrologique de la végétation ou des états de surface. *Proc. of 5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*, Rabat/Maroc (avril 97). IAHS, Publ. à paraître.

1998

- TMP-COM/ART 98 **ANGULO-JARAMILLO R., P. GERARD-MARCHANT, J.L. THONY, M. VAUCLIN, 1998**
Revisited concept of sorptivity for water movement in unsaturated and deformable soils. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître.
- HZNS-COM/ART 98 **BOURAOUI F., T. CHEN, G. VACHAUD, 1998**
Prediction of the effects of climatic changes and land use management on groundwater resources by coupling of an hydrological model with a Gis. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître.
- HZNS-COM/ART 98 **BOURAOUI F., R. HAVERKAMP, C. ZAMMIT, J.Y. PARLANGE, 1998**
A physically-based approach for the estimation of the shape parameters of the soil hydraulic characteristic. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître.
- HZNS-COM/ART 98 **BOURDON E., T. BECQUER, C. DUWIG, F. BARTOLI, G. BURTIN, B.E. CLOTHIER, 1998**
Structure and porosity of Geric Ferralsols on the Loyalty Islands (New Caledonia): consequences for the hydrodynamic characteristics. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître.
- HMET-COM/ART 98 **DELRIEU G., J.D. CREUTIN, H. ANDRIEU, 1998**
Analysis of various algorithms for correcting attenuation effects. *Actes Intern. Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar*. Hanover, Germany. En cours d'édition par H.R. Verworn.
- HZNS-COM/ART 98 **DUWIG C., I. VOGELER, S.R. GREEN, B.E. CLOTHIER, T. BECQUER, 1998**
Measurement of reactive chemical transport through soil. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître

- HZNS-COM/ART 98 **FREISSINET C., M. ERLICH, M. VAUCLIN, 1998**
 A Fuzzy logic-based approach to assess imprecisions of soil water contamination modelling. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître.
- HZNS-COM/ART 98 **GANDOLA F., R. HAVERKAMP, J. TOUMA, N. ABRIAK, 1998**
 Experimental study of bi-dimensional axisymmetrical flow under a constant ponding head condition at the soil surface : characterisation of the phenomena by visual treatment. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître.
- HZNS-COM/ART 98 **GONZALEZ SOSA E., E. LEWAN, J.L. THONY, I. BRAUD, M. VAUCLIN, P. BESSEMOULIN, 1998**
 Measuring and modelling the water balance of a fallow land located in the south-west of France. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître.
- HZNS-COM/ART 98 **HAVERKAMP R., F. BOURAOUI, C. ZAMMIT, J.Y. PARLANGE, 1998**
 Spatial scaling for unsaturated water flow modelling. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/1998), à paraître.
- TMP-COM/ART 98 **LAURENT J.P., S. BRUGGERHOFF, G. BASTIAN, C. BRUNJAIL, G. CHENE, J. LEGRAND, P. MALAURENT, P. MORAT, J. VOUVE, G. WANGE, 1998**
 Etude de l'effet des sollicitations microclimatiques sur le cycle de l'eau dans la pierre". *Colloque final du Programme Franco-Allemand de recherche pour la conservation des monuments historiques*, Strasbourg,(25-26/02/97), Errance Ed. Paris, à paraître.
- TMP-COM/ART 98 **LAURENT J.P., L. PEIRERA DOS SANTOS, 1998**
 Une nouvelle méthode de détermination des profils de teneurs en eau dans les sols par inversion d'un seul signal de réflectométrie temporelle (TDR). *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître.
- TMP-COM/ART 98 **NETTO A.M, J.P. GAUDET, 1998**
 Preferential flow effect on water and Solute transport through unsaturated soil. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître.
- HZNS-COM/ART 98 **THONY J.L., P. MORAT, G. VACHAUD, J.L. LE MOUEL, 1998**
 Electric field and soil water movement in unsaturated soil. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître.
- HMET-COM/ART 98 **UIJLENHOET R., J.D. CREUTIN, J.N.M. STRICKER , P.J.J.F. TORFS, 1998**
 Stochastic models of rainfall at the raindrop scale. *6th Intern. Conference on Precipitation*, Hawaii, USA (29/6-1/7/98).
- HZNS-COM/ART 98 **VOGELER I, C. DUWIG, S.R. GREEN, B.E. CLOTHIER, 1998**
 Modelling of reactive chemical transport through soil. *16th World Congress of Soil Science*, Montpellier (20-26/08/98), à paraître.

AP : ACTES A DIFFUSION PUBLIQUE

1995

- HMET-COM/AP 95 **AMANI A., T. LEBEL, 1995**
 Spatio-temporal kriging applied to the interpolation of Sahelian rain fields at small time steps. *5th Int. Conf. on Precipitation. Space-Time Variability and Dynamics of Rainfall*. Elounda-Greece (14-16/06/95).

- HMET-COM/AP 95 **ARNAUD Y., TAUPIN J.D., 1995**
Validation of two operationnal rainfall algorithms using two networks : the experimental network of Epsat-Niger and the operationnal network of Burkina Faso. *IGGARSS'95, Remote Sensing Symposium*, Firenze (10-14/07/95).
- HMET-COM/AP 95 **BENICHOU H., G. DELRIEU, T. LEBEL, 1995**
Rainfall climatology in tropical Africa using a C-band weather radar :
(1) The attenuation problem. *Proc. of the 3rd Intern. Symp. on Hydrological Applications of weather radars*. Sao Paulo, Brésil (20-23/08/95).
- TMP-COM /AP 95 **BIDOGLIO G., T.G. COLE, R. ANGULO-JARAMILLO, J.P. GAUDET, 1995**
Studies on pollutant transport in a heterogeneous soil monolith. *Workshop on organic pollutants in unsaturated soils*. Monte Verita, Ascona (Suisse) 18-23/9/1995 (résumé).
- HZNS-COM/AP 95 **BRAUD I., M. VAUCLIN, 1995**
Validation of the 1D SiSPAT model on a millet field of the Hapex-Sahel experiment. *European Geophysical Society. XXème Assemblée Générale, Hamburg (3-7/04/95), Annales Geophysicae*, vol. 13, Part II : C 293.
- HZNS-COM/AP 95 **BRAUD I., R. ANGULO-JARAMILLO, R. HAVERKAMP, J.P. LAURENT, J.NOILHAN, J.P. VANDERVAERE, 1995**
Modélisation locale 1D des transferts de masse et d'énergie d'une vigne à Tomelloso (Efeda) incluant une croûte profonde de calcite. *Atelier de modélisation de l'atmosphère*, CNRM Toulouse, 28-29/11/95., tome 1, 175-182.
- HZNS-COM/AP 95 **GAUDET J.P., R. ANGULO-JARAMILLO, J.L. THONY, M. VAUCLIN, B. LADOUCHE, T. BARIAC, S. HUON, B. AMBROISE, A.V. AUZET, 1995**
Mesures in-situ de la fraction immobile de l'eau du sol avec de l'eau enrichie en ¹⁸C dans un infiltromètre à succion contrôlée. *Colloque sur les isotopes dans la gestion des ressources en eau*. AIEA-SM-336/130P, Vienne (20-24/03/95) . Comptes-rendus vol. 1 : 28-35.
- HSURF-COM/AP 95 **GRESILLON J.M., Ch. PUECH, 1995**
Apport d'une mesure hydrologique simple à une démarche statistique pour l'estimation des débits des crues et le dimensionnement des ouvrages sur les petits bassins versants en zones sahéliennes et tropicales. *Conférence à la mémoire de Jean Rodier : L'hydrologie tropicale, géoscience et outil pour le développement "*, UNESCO, Paris (Mai 95).
- HSURF-COM/AP 95 **GRESILLON J.M., 1995**
Estimation des crues au Sahel. Réflexion sur l'utilisation de la télédétection pour la prédétermination. *Atelier International de Télédétection et Gestion des Ressources en Eau*. LCT Montpellier/Orstom/FAO. Montpellier (29/11-01-12 1995).
- HMET-COM/AP 95 **GUILBAUD S., Ch. OBLED, J. Y. RODRIGUEZ, 1995**
Daily QPFs on target catchment by analog techniques. *European Geophysical Society. XXème Assemblée Générale, Hamburg (3-7/04/95), Annales Geophysicae*, vol. 13, Part II : C 285.
- HMET-COM/AP 95 **GUILBAUD S., J.Y. RODRIGUEZ, Ch. OBLED, 1995**
Utilisation des techniques d'analogues pour la prévision quantitative des précipitations journalières. *Méthodes statistiques et Bayésiennes en hydrologie. Conference Inter. en l'honneur de J. Bernier. Thème 4 : Théorie statistique de la décision*, UNESCO, Paris 11-13/09/1995.
- HSURF-COM/AP 95 **LE MEILLOUR F., J.M. GRESILLON, 1995**
Hydraulics of surface and subsurface flow on a hillslope of the catchment of Maurets (south of France). *European Geophysical Society. XXème Assemblée Générale, Hamburg (3-7/04/95), Annales Geophysicae*, vol. 13, Part II : C 441.

- HSURF-COM/AP 95 **LE MEILLOUR F., J.M. GRESILLON, 1995**
Modelling subsurface flow : application to a small mediterranean catchment. *European Geophysical Society. XXème Assemblée Générale, Hamburg (3-7/04/95), Annales Geophysicae*, vol. 13, Part II : C 441.
- TMP-COM /AP 95 **MARTINS J., M. NOVY QUADRI, L. JOCTEUR-MONROZIER, J.P. GAUDET, 1995**
Fate of pentachlorophenol in soil columns : experiments and model. *Workshop on organic pollutants in unsaturated soils. Monte Verita, Ascona (Suisse) 18-23/9/1995 (résumé).*
- HSURF-COM/AP 95 **OVERNEY O., A.C. FAVRE, D. CONSUEGRA, G.M. SAULNIER, 1995**
Estimating expected flood values with Monte-Carlo methods. *Méthodes statistiques et Bayésiennes en hydrologie. Conférence Inter. en l'honneur de J. Bernier. Thème 1 : Estimation statistique, UNESCO, Paris 11-13/09/1995.*
- HMET-COM/AP 95 **PORRA J.M., D. SEMPERE-TORRES, J.D. CREUTIN, 1995**
Looking for a general description of raindrop size distribution. *5th Int. Conf. on Precipitations, Elounda-Greece, (14-16/06/95).*
- HMET-COM/AP 95 **SAIDI S., Ph. BOIS, 1995**
Extreme Rainfall Parameter mapping in the French Alps. *European Geophysical Society. XXème Assemblée Générale, Hamburg (3-7/04/95), Annales Geophysicae*, vol. 13, Part II : C 535.
- HSURF-COM/AP 95 **SCHOBERT A., J.M. GRESILLON, 1995**
The impact of high intensity rainstorms on the evolution of the unit hydrograph. *European Geophysical Society. XXème Assemblée Générale, Hamburg (3-7/04/95), Annales Geophysicae*, vol. 13, Part II : C 536.
- HMET-COM/AP 95 **SKAUGEN T., J.D. CREUTIN, L. GOTTSCHALK, 1995**
Reconstruction and Frequency Estimates of Extreme Areal Precipitation. *5th Int. Conf. on Precipitations, Elounda-Greece, (14-16/06/95).*
- HSURF-COM/AP 95 **TAHA A., J.M. GRESILLON, 1995**
Conditions for the appearance of saturated contributive areas in mediterranean catchments and consequent floods. *European Geophysical Society. XXème Assemblée Générale, Hamburg (3-7/04/95), Annales Geophysicae*, vol. 13, Part II : C 536.
- HMET-COM/AP 95 **THIELEN J., J.D. CREUTIN, 1995**
Coupling of a meteorological with a hydrological model. *European Geophysical Society. XXème Assemblée Générale, Hamburg (3-7/04/95), Annales Geophysicae*, vol. 13, Part II : C 444.
- HMET-COM/AP 95 **THIELEN J., J.D. CREUTIN, 1995**
Modélisation couplée atmosphère-hydrologie en milieu urbain. *Atelier de modélisation de l'atmosphère, CNRM Toulouse (28-29/11/95), tome 1 : 227-231.*
- HZNS-COM/AP 95 **VACHAUD G., 1995**
Estimation in situ des pertes sous cultures en vue de l'optimisation de la gestion de l'eau et des engrais. *Colloque International sur l'emploi des techniques nucléaires et apparentées dans les études sur les relations sol-plantes dans le cadre d'une agriculture écologiquement viable et de la protection de l'environnement. Vienne (17-21/10/94). AIEA-SM 334/38, AIEA Ed., 365-385.*
- HZNS-COM/AP 95 **VACHAUD G., B. NORMAND, J.L. THONY, R. LATY, 1995**
Validation à l'aide de lysimètre de l'estimation des flux d'eau et de nitrates sous culture par l'utilisation de la loi de Darcy généralisée. *Colloque International sur l'emploi des techniques nucléaires et apparentées dans les études sur les relations sol-plantes dans le cadre d'une agriculture écologiquement viable et de la protection de l'environnement. Vienne (17-21/10/94). IAEA-SM 334/16P, Résumés analytiques : 70-71.*

HZNS-COM/AP 95 **VANDERVAERE J.P., R. HAVERKAMP, M. VAUCLIN, J.L. THONY, 1995**
Transient methods for disc infiltrometers. *European Geophysical Society. XXème Assemblée Générale, Hamburg (3-7/04/95), Annales Geophysicae*, vol. 13, Part II : C 438.

1996

HZNS-COM/AP 96 **ANGULO-JARAMILLO R., J.L. THONY, M. VAUCLIN, 1996**
Caractérisation hydrodynamique des sols in-situ par infiltrométrie à pression contrôlée. *Atelier Instrumentation et Expérimentation, CNRM, Toulouse (15-17/10/96)*. Comptes-rendus : 263-269.

HZNS-COM/AP 96 **ANGULO-JARAMILLO R., R. HAVERKAMP, C. ZAMMIT, M. VAUCLIN, R.H.CUENCA, 1996**
Disk and pressure ring infiltration for field measurement of soil hydraulic properties and spatial variability. *Am. Geophysical Union, Fall Meeting Proc. San Francisco (15-19/12/96)*, Supplément to EOS Transactions AGU, Vol. 77, n° 46 : F 230.

HMET-COM/AP 96 **ARNAUD Y., J.D. TAUPIN, H. LAURENT, 1996**
Validation de deux méthodes d'estimation des pluies par satellite à l'aide du réseau dense de pluviographes de l'expérience EPSAT-Niger. *Actes de l'atelier « Problèmes de validation des méthodes d'estimation des précipitations par satellite en Afrique Intertropicale », AGRHYMET Niamey (1-3/12/94)*, Ed. Orstom, Paris : 163-168.

HZNS-COM/AP 96 **BESSEMOULIN P., J.C. CALVET, G. JAUBERT, J. NOILHAN, D. VIGNES, C. TOSCA, I. BRAUD, R. HAVERKAMP, J.L. THONY, M. VAUCLIN, 1996**
MUREX : Un programme de suivi du cycle annuel des échanges de masse et d'énergie entre sol, végétation et atmosphère. Premiers enseignements. *Atelier Instrumentation et Expérimentation, CNRM, Toulouse (15-17/10/96)*. Comptes-rendus : 291-293.

HZNS-COM/AP 96 **BOULET G., J.D. KALMA, 1996**
Estimation of the regional-scale water and energy balance with a range of tools. *XXI General Assembly of European Geophysical Society, La Haye (6-10/05/96)*. *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C 355.

HZNS-COM/AP 96 **BOULET G., KALMA J., 1996**
Predicting evaporation in a mesoscale catchment : 1. Comparison of instantaneous fluxes estimated with a SVAT model and observations based on airborne and groundbased measurements. *Colloque « Scale Problems in Hydrology », Vienne, Autriche (17-20/6/96)*, Abstract : p. 70.

HZNS-COM/AP 96 **BOURAOU F., G. VACHAUD, T.A. DILLAHA, 1996**
Distributed approach for nonpoint source pollution modeling in agricultural watersheds. *XXI General Assembly of European Geophysical Society, La Haye (6-10/05/96)*. *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C 378.

HZNS-COM/AP 96 **BRAUD I., G. BOULET, 1996**
1D Modeling of evapotranspiration under semi-arid conditions (EFEDA Experiment) using the SiSPAT Model. *XXI General Assembly of European Geophysical Society, La Haye (6-10/05/96)*. *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C 342.

HZNS-COM/AP 96 **BRAUD I., P. BESSEMOULIN, J.P. LHOMME, B. MONTENY, M. SICOT, J.P. VANDERVAERE, M. VAUCLIN, 1996**
Modélisation locale des transferts de masse et de chaleur sur un site de savanne à Gueira d'HAPEX-Sahel. *Journées Hydrologiques de l'Orstom (13-14/09/94)*, In "Interactions surface continentale/atmosphère : l'expérience HAPEX-Sahel" Ed. Orstom, Paris, 255-273.

- HMET-COM/AP 96 **CAOUDAL S., G. DELRIEU, J.D. CREUTIN, 1996**
Métrologie des précipitations en hydrologie urbaine : test de cohérence des données issues de divers capteurs dans le cadre de l'expérimentation « Marseille 92-93 ». *Atelier Instrumentation et Expérimentation*, CNRM, Toulouse (15-17/10/96). Comptes-rendus : 199-203.
- HZNS-COM/AP 96 **CHANZY A., T. SCHMUGGE, I. BRAUD, 1996**
Soil moisture and fluxes assessment using microwave radiometry in the frame of Hapex-Sahel. *5th. Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment*. Boston (4-6/11/96). *Comptes-rendus à paraître*
- HZNS-COM/AP 96 **CUENCA R.H, S.F. KELLY, D.J. GOCHIS, R. ANGULO-JARAMILLO, 1996**
Relationship of soil moisture , soil hydraulic processes and precipitation length scales. *Am. Geophysical Union, Fall Meeting Proc.*, San Francisco (15-19/12/96), Supplément to EOS Transactions AGU, Vol. 77, n° 46 : F 225.
- HSURF-COM/AP 96 **DATIN R., Ch. OBLED, F. HELLOCO, 1996**
Evaluation des lames d'eau moyennes à partir de réseau sol ou d'imagerie radar : application aux bassins versants de l'Ardèche. *Atelier Instrumentation et Expérimentation*, CNRM, Toulouse (15-17/10/96). Comptes-rendus : 179-184
- HMET-COM/AP 96 **DELRIEU G., J.D. CREUTIN, 1996**
Simulation du signal radar rétrodiffusé par les montagnes à l'aide d'un modèle numérique de terrain. *Atelier Instrumentation et Expérimentation*, CNRM, Toulouse (15-17/10/96). Comptes-rendus : 205-209.
- HMET-COM/AP 96 **DOLCINE L., H. ANDRIEU, 1996**
Rainfall forecasting in a mountainous region using a weather radar and ground meteorological observations. *XXI General Assembly of European Geophysical Society*, La Haye (6-10/05/96). *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C 367.
- HZNS-COM/AP 96 **DUWIG C., E. BOURDON, T. BECQUER, Ph. De BLIC, B.E. CLOTHIER, M. VAUCLIN, 1996**
Soil structure and water movement on Mare (Loyalty Islands, New Caledonia). *Western Pacific Geophysics Meeting*, Brisbane, (Australie), Juillet 1996. Abstract in « EOS Transactions American Geophysical Union » (ISSN 0096-3941) : W-36. *Conférence invitée.*
- HZNS-COM/AP 96 **FOUCHE-ROGUEZ S., G. NAJJAR, I. BRAUD, J. NOILHAN, B. AMBROISE, 1996.**
Comparison between three soil-vegetation-atmosphere transfer models (EARTH, ISBA, SiSPAT). Application to a middle mountain site (Vosges, France). *Conf. on Ecohydrological Processes in small basins*, Strasbourg, (24-26/9/96). Publié par CEREG Strasbourg (Ed. D. Viville), comptes-rendus : 39-41.
- HMET-COM/AP 96 **GUILLOT G., E. SAUQUET, I. BRAUD, T. LEBEL, 1996**
A simple conceptual model for the disaggregation of Sahelian rainfall fields. *XXI General Assembly of European Geophysical Society*, La Haye (6-10/05/96). *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C 368.
- HZNS-COM/AP 96 **GUINOT V., M. VAUCLIN, 1996**
Modélisation statistico-dynamique du devenir de produits phytosanitaires dans l'environnement souterrain. *Journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés*, Paris (15-17/01/96). Comptes-rendus : 27-32.
- HZNS-COM/AP 96 **GUINOT V., N. FAUCHON, M. BOISSON, C. FREISSINET, 1996**
Modélisation hydrologique intégrée à l'échelle du bassin versant : contribution à la problématique de réglage et de validation des modèles. *Journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés*, Paris (15-17/01/96). Comptes-rendus : 54-70.

- HZNS-COM/AP 96 **HOFFMANN M., R. HAVERKAMP, M. VANCLOOSTER, 1996**
 Finding parameters for soil transfer equations at large scales. *XXI General Assembly of European Geophysical Society, La Haye (6-10/05/96). Annales Geophysicae, vol. 14, Part II, C 321.*
- HMET-COM/AP 96 **JOBARD I., H. LAURENT, A. MAIA, A. TOMA, 1996**
 Validation of satellite estimation of precipitation using sparse ground truth dataset in tropical Africa. *12th Intern. Conference on Clouds and Precipitations, Zurich Suisse (19-23/08/96).*
- HZNS-COM/AP 96 **KALMA J., G. BOULET, 1996**
 Predicting evaporation in a mesoscale catchment : 2. Seasonal patterns in daily evaporation based on predictions with a SVAT model and two hydrological models. *Colloque « Scale Problems in Hydrology », Vienne, Autriche (17-20/6/96), Abstract : p. 71.*
- HZNS-COM/AP 96 **KENGNI L., LATY R., NORMAND B., THONY J.L., VACHAUD G., 1996**
 Estimation in situ des pertes en eau et en azote sous maïs irrigué. *Milieux Poreux et Transferts Hydriques - Bulletin du GFHN, n° 35-36, 51-58.*
- HMET-COM/AP 96 **KIEFFER A., Ph. BOIS, 1996**
 Traitement statistique de longues séries de mesure de pluie et intérêt des pluviographes. *Atelier Instrumentation et Expérimentation, CNRM, Toulouse (15-17/10/96). Comptes-rendus : 211-218.*
- HMET-COM/AP 96 **LAURENT H., 1996**
 Validation des estimations de précipitation à grande échelle. *Actes de l'atelier "Problèmes de validation des méthodes d'estimation des précipitations par satellite en Afrique Intertropicale", AGRHYMET, Niamey (1-13/12/94), Ed. Orstom, Paris: 129-138.*
- HMET-COM/AP 96 **LAURENT H., 1996**
 Life distribution of mesoscale convective clouds over Africa. *7th Conf. on Mesoscale processes (AMS, RMS, Reading, UK.), AMS Publ. Paper P7.A15.*
- TMP-COM/AP 96 **LAURENT J.P., T. ZAKRI, A. PEREIRA DOS SANTOS, D. SALUEL, 1996**
 La mesure de la teneur en eau des sols par réflectométrie dans le domaine temporel. 1 - Principe et technologies des mesures. *Atelier Instrumentation et Expérimentation, CNRM, Toulouse (15-17/10/96). Comptes-rendus : 219-222.*
- HMET-COM/AP 96 **LEBEL T., A. BEN MOHAMED, I. ALSO, 1996**
 L'expérience EPSAT-Niger : apports à la compréhension de la pluie au Sahel. *2ème conférence de la Société Africaine de Météorologie, Rabat/Maroc (25-28/11/96). Comptes-rendus à paraître.*
- HMET-COM/AP 96 **LLASAT M.C., J. GIBERGANS, D. SEMPERE TORRES, J.Y. RODRIGUEZ, B. MULE, S. GUILBAUD, 1996**
 The use of radiosounding data to classify the heavy rain events. Application to remote sensing. *XXI General Assembly of European Geophysical Society, La Haye (6-10/05/96). Annales Geophysicae, vol. 14, Part II, C 369.*
- TMP-COM/AP 96 **NETTO A.M., R.A. PIERITZ, R. SCHOEN, J.P. GAUDET, 1996**
 Local vertical variability of water content and solute concentration. *XXI General Assembly of European Geophysical Society, La Haye (6-10/05/96). Annales Geophysicae, vol. 14, Part II, C. 324.*
- HZNS-COM/AP 96 **NOILHAN J., I. BRAUD, 1996**
 Développement, validation et comparaisons de modèles SVAT : les programmes SLAPS et PILPS. *Colloque PIGB/Changements globaux, Paris (13-15/05/96). Conférence invitée.*

- HSURF-COM/AP 96 **OBLED Ch.**, 1996
Research aspects in the prevention and mitigation of hydro-meteorological risks. *JRC Blue Seminars aquatic processes and water technology*. ISPRA, Italie (30/10/96). *Conférence invitée*.
- TMP-COM/AP 96 **PEREIRA DOS SANTOS L.A., J.P. LAURENT, J.L. THONY**, 1996
La mesure de la teneur en eau des sols par réflectométrie dans le domaine temporel : III - Déconvolution spatiale du signal TDR pour obtenir un profil de teneur en eau. *Atelier Instrumentation et Expérimentation*, CNRM, Toulouse (15-17/10/96). Comptes-rendus : 229-233.
- HZNS-COM/AP 96 **PEUGEOT C., B. CAPPELAERE, P. CHEVALLIER, M. ESTEVES, S. GALLE, J.L. RAJOT, J.P. VANDERVAERE**, 1996
Modélisation hydrologique sur le supersite centre-est d'HAPEX-Sahel. Première étape : des parcelles expérimentales aux micro-bassins versants. *Journées Hydrologiques de l'Orstom* (13-14 Septembre 94), In "Interactions surface continentale/atmosphère : l'expérience HAPEX-Sahel" Ed. Orstom, Paris, 241-254.
- HZNS-COM/AP 96 **REVOL Ph. P. KOSUTH, P. RUELLE, J.L. THONY, G. VACHAUD, M.VAUCLIN**, 1996
Caractérisation hydrodynamique des sols par infiltration axisymétrique : comparaison au champ de plusieurs approches. *Milieux Poreux et Transferts Hydriques*, *Bulletin du GFHN*, n° 33-34 : 27-38.
- TMP-COM/AP 96 **RITSEMA C.J., L.W. DEKKER, N. JARVIS, M. LARSSON, O. WENDROTH, W. POHL, J.P. GAUDET, G. VACHAUD, J. NIEBER, H.V. NGUYEN**, 1996
Measuring and modeling of preferential flow in dutch, french, German and Swedish Soils. *XXI General Assembly of European Geophysical Society*, La Haye (6-10/05/96). *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C 325.
- TMP-COM/AP 96 **RITSEMA C.J., L.W. DEKKER, R.F.A. HENDRIKS, N. JARVIS, M. LARSSON, D. WENDROTH, W. POHL, S. KOSZINSKI, H. ROGASIK, J.P. GAUDET, R. ANGULO-JARAMILLO, J.L. NIEBER, H.V. NGUYEN, D.MISRA.**, 1996
Measurement and simulation of preferential flow in dutch, french, german and swedish soils. *Western Pacific Geophysics Meeting*, Brisbane, (Australie), Juillet 1996. Abstract in « EOS Transactions American Geophysical Union » (ISSN 0096-3941) : W-45.
- HZNS-COM/AP 96 **ROSS P.J., R. HAVERKAMP, J.Y. PARLANGE, K.R.J. SMETTEN**, 1996
Analytical prediction of water flow from disc infiltrometers. *Western Pacific Geophysics Meeting*, Brisbane, (Australie), Juillet 1996. Abstract in « EOS Transactions American Geophysical Union » (ISSN 0096-3941) : W-36.
- TMP-COM/AP 96 **ROULIER S., R. ANGULO-JARAMILLO, J.P. GAUDET, J.L. THONY, M.VAUCLIN, A.V. AUZET, B. AMBROISE, B. LADOUCHE, Th. BARIAC**, 1996
Unsaturated hydro-dispersive transport through bimodal porosity surface soils. *XXI General Assembly of European Geophysical Society*, La Haye (6-10/05/96). *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C. 317.
- TMP-COM/AP 96 **SALUEL D., J.P. LAURENT, T. ZAKRI**, 1996
La mesure de la teneur en eau des sols par réflectométrie dans le domaine temporel : IV. Utilisation du signal TDR dans le domaine fréquentiel : Spectroscopie diélectrique ». *Atelier Instrumentation et Expérimentation*, CNRM, Toulouse (15-17/10/96). Comptes-rendus : 235-240.
- TMP-COM/AP 96 **SCHOEN R., J.P. GAUDET**, 1996
Transport de solutés dans un lysimètre en conditions contrôlées. *16ème réunion des Sciences de la Terre*, Orléans (10-12/4/96).
- TMP-COM/AP 96 **SCHOEN R., J.P. GAUDET**, 1996.
Modelling of solute transfer in a large undisturbed lysimeter. *XXI General Assembly of European Geophysical Society*, La Haye (6-10/05/96). *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C.326.

- TMP-COM/AP 96 **SCHOEN R., A. NETTO, J.P. GAUDET, 1996**
Bromide transport in soil as seen by solution samplers, cores and leachates. *XXI General Assembly of European Geophysical Society*, La Haye (6-10/05/96). *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C 326.
- HMET-COM/AP 96 **SKAUGEN T., L. GOTTSCHALK, J.D. CREUTIN, 1996**
An expression for the distribution of areal precipitation. *XXI General Assembly of European Geophysical Society*, La Haye (6-10/05/96). *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C 373.
- HMET-COM/AP 96 **TAUPIN J.D., E. BONEF, 1996**
Erreur d'estimation de la pluie à l'échelle décadaire sur des surfaces de 25 à 10000 km² en fonction de la densité du réseau sol en milieu sahélien. *Actes de l'atelier "Problèmes de validation des méthodes d'estimation des précipitations par satellite en Afrique Intertropicale"*, AGRHYMET, Niamey (1-13/12/94), Ed. Orstom, Paris : 45-62.
- HMET-COM/AP 96 **TAYLOR C., SAID F., T. LEBEL, 1996**
A land surface feedback on mesoscale rainfall variability during Hapex -Sahel. *XXI General Assembly of European Geophysical Society*, La Haye (6-10/05/96). *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C 363.
- HMET-COM/AP 96 **THIELEN J., J.D. CREUTIN, 1996**
Numerical simulation of the global water cycle in an urban environment. *XXI General Assembly of European Geophysical Society*, La Haye (6-10/05/96). *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C 373.
- HMET-COM/AP 96 **THIELEN J., W. WOBROCK, J.D. CREUTIN, P. MESTAYER, 1996**
Influence of the lower boundary on rainfall development downwind of urban areas : a numerical study. *12th Intern. Conf. on Clouds and Precipitation*, Zurich, Suisse (19-23/08/96).
- HMET-COM/AP 96 **THIELEN J., J.D. CREUTIN, 1996**
Assessment of problems arising from the numerical coupling of an atmospheric model with an urban hydrological model. *7th Intern. Conf. on Urban Storm Drainage*, Hannover, Allemagne (9-13/9/96).
- HMET-COM/AP 96 **TOMA A.C., H. LAURENT, I. JOBART, 1996**
Estimation of rainfall from satellite data : quality assessment in a tropical region. Distributed approach for nonpoint source pollution modeling in agricultural watersheds. *XXI General Assembly of European Geophysical Society*, La Haye (6-10/05/96).
- HZNS-COM/AP 96 **VANDERVAERE J.P., R. ANGULO-JARAMILLO, C. PEUGEOT, M. VAUCLIN, 1996**
Caractérisation hydrodynamique in situ de sols encroûtés. *Journées Hydrologiques de l'Orstom* (13-14/09/94), In "Interactions surface continentale/atmosphère : l'expérience HAPEX-Sahel", Ed. Orstom, Paris, : 63-78.
- HZNS-COM/AP 96 **VAUCLIN M., 1996**
L'analyse du ruissellement et la modélisation en Hydrologie. *Forum 50ème anniversaire INRA « Sécheresse, Pollution, Inondation, Erosion : Que fait la Recherche ? »*, Poitiers , Septembre 1996. *Conférence Invitée*.
- HMET-COM/AP 96 **VIGNAL B., H. ANDRIEU, M. BORGA, J.D. CREUTIN, 1996**
Efficiency of the correction of vertical profiles of reflectivity. *XXI General Assembly of European Geophysical Society*, La Haye (6-10/05/96). *Annales Geophysicae*, vol. 14, Part II, C 372.
- HMET-COM/AP 96 **VIGNAL B., H. ANDRIEU, M. BORGA, J.D. CREUTIN, 1996**
Evaluation d'une méthode de correction des erreurs associées aux profils verticaux de réflectivité radar. *Atelier Instrumentation et Expérimentation*, CNRM, Toulouse (15-17/10/96). *Comptes-rendus* : 185-192.

TMP-COM/AP 96

ZAKRI T., J.P. LAURENT, 1996

La mesure de la teneur en eau des sols par réflectométrie dans le domaine temporel.

II - Intercomparaison de modèles de conversion permittivité électrique/teneur en eau. *Atelier Instrumentation et Expérimentation*, CNRM, Toulouse (15-17/10/96). Comptes-rendus : 223-228.

1997

HMET-COM/AP 97

AMANI A., T. LEBEL, 1997

Geostatistical characterization of random cascade fields applied to the sampling of rainfields. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 348.

HZNS-COM/AP 97

ANGULO-JARAMILLO R., J.L. THONY, C. ZAMMIT, J.P. VANDERVAERE, M. VAUCLIN, R. HAVERKAMP, R.H. CUENCA, D. GOCHIS, S. KELLY, 1997

In situ estimation of unsaturated soil hydraulic properties and spatial variability. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 259.

TMP-COM/AP 97

ANGULO-JARAMILLO R., 1997

Estimating saturated hydraulic conductivity of low permeability swelling porous materials from early-time infiltration experiments. *Special soil and water engineering seminar*. Cornell Univ., Ithaca, USA (3/06/97) *Conférence invitée*.

TMP-COM/AP 97

ANGULO-JARAMILLO R., P. GERARD-MARCHANT, M. VAUCLIN, R. HAVERKAMP, 1997

Dual gamma-ray scanner and instantaneous profile method in swelling unsaturated materials. *Intern. Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media*, Riverside, USA (22-24/10/97), *Comptes-rendus à paraître*.

TMP-COM/AP 97

AUZET A.V., J.P. LAURENT, J.M. SANCHEZ, L. PEREIRA DOS SANTOS, J.L. THONY, P. BIRON, B. AMBROISE, 1997

Test of TDR Methods to measure water content along soil profile in different experimental stations. (Poster). SA, CSSA, SSSA *Annual Meeting*, Anaheim, USA (26-30/10/97), *Comptes-rendus* : 332.

HZNS-COM/AP 97

AUZET V., R. ANGULO-JARAMILLO, B. AMBROISE, M. VAUCLIN, 1997

Tension disk infiltrometry evaluation of the hydraulic conductivity near saturation of organic and coarse-textured soils on granites..

Intern. Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media, Riverside, USA (22-24/10/97). *Comptes-rendus à paraître*.

HZNS-COM/AP 97

BOURAOUI F., G. VACHAUD, H. LE TREUT, Z.X. LI, 1997

Disaggregation of GCMs outputs to predict the effect of doubling of CO₂ on groundwater recharge. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 305.

HZNS-COM/AP 97

BOURAOUI F., R. HAVERKAMP, Z. ZAMMIT, 1997

Prediction of soil characteristic shape parameters from particle size distribution data. *Intern. Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media*, Riverside, USA (22-24/10/97), *Comptes-rendus à paraître*.

HMET-COM/AP 97

BRAUD I., 1997

Precision Agriculture : Spatial and temporal variability of environmental quality. *Actes en cours de publication par the CIBA Foundation.*, Wageningen. *Conférence invitée*.

- HZNS-COM/AP 97 **BRAUD I., 1997**
A stochastic approach for the study of the variability of surface fluxes of a Savannah (Hapex-Sahel) in response to the variability of surface properties. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 267.
- HMET-COM/AP 97 **CAOUDAL S., G. DELRIEU, J.D. CREUTIN, 1997**
Marseille 92-93 : hydrometeorological experiment consistency test of various rain sensors. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 334.
- HZNS-COM/AP 97 **CHEN T., F. BOURAOUI, G. VACHAUD, 1997**
Prediction of the effects of climatic changes and land use management on water resources by coupling of an hydrological model with a GIS. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 303.
- HZNS-COM/AP 97 **CONNELL L.D., C. JAYATILAKA, M. GILFEDDER, J.P. VANDERVAERE, 1997**
A physically-based model for water and salt transport within irrigation bays. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 255.
- HMET-COM/AP 97 **CREUTIN J.D., 1997**
Improving radar rainfall estimation for hydrological purposes. *International RIBAMOD Workshop*, Monselice-Padova, Italie (25/09/97). *Conférence invitée, à paraître.*
- TMP-COM/AP 97 **DAIAN J.F., 1997**
Une structure environnementale aléatoire modèle pour la constitution des milieux poreux et l'estimation des propriétés de transport. *3èmes Journées d'étude sur les Milieux Poreux*, Paris (Juin 1997), à paraître.
- HSURF-COM/AP 97 **DATIN R., Ch. OBLED, F. HELLOCO, 1997**
Sensitivity of discharge simulations to hydrometeorological sources of uncertainty. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 311.
- HSURF-COM/AP 97 **DATIN R., G.M. SAULNIER, Ch. OBLED, 1997**
Développement d'un modèle hydrologique distribuée à base physique. Utilisation de mesures des précipitations par radar. *Atelier de Modélisation de l'Atmosphère*, CNRM, Toulouse (2-3 Décembre). Comptes-rendus : 305-308.
- HMET-COM/AP 97 **DELRIEU G., H. ANDRIEU, B. VIGNAL, J.D. CREUTIN, 1997**
Radar Hydrology in the Cevennes Region-MAP Meeting, Belgirate/Italie (11-13/06/97), à paraître.
- HMET-COM/AP 97 **DOLCINE L., H. ANDRIEU, J.D. CREUTIN, 1997**
Evaluation of a simplified dynamical rainfall forecasting model from rain events simulated using a meteorological model. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 334.
- HSURF-COM/AP 97 **DUROT K., Ch. OBLED, G.M. SAULNIER, E. MARTIN, 1997**
Utilisation des analyses météorologiques par Safran Crocus au sein d'une version distribuée du modèle hydrologique à base physique TOPMODEL. Application à la fusion nivale sur le bassin expérimental de Sarenes. *Atelier de Modélisation de l'Atmosphère*, CNRM, Toulouse (2-3 Décembre). Comptes-Rendus : 97-100.
- HZNS-COM/AP 97 **DUWIG C., I. VOGELER, B.E. CLOTHIER, S. GREEN, 1997**
Nitrate leaching to groundwater under mustard growing on soil from a coral atoll. *Workshop « Fertilizer and Lime Research Center*, Adelaide/Australie, à paraître.

- HZNS-COM/AP 97 **FREISSINET C., M. VAUCLIN, M. ERLICH, 1997**
 Fuzzy set approach to the assessment of influence of chemical and soil properties imprecisions in the results of screening models. *XXII General Assembly of European Geophysical Society, Vienna (21-25/04/97). Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 268.
- HZNS-COM/AP 97 **GANDOLA F., R. HAVERKAMP, N. ABRIAK, 1997**
 A new experimental method applied to water content measurements in porous environment. *XXII General Assembly of European Geophysical Society, Vienna (21-25/04/97). Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 321.
- HZNS-COM/AP 97 **GANDOLA F., R. HAVERKAMP, N. ABRIAK, 1997**
 Critical study of instantaneous profile method applied to internal drainage. *XXII General Assembly of European Geophysical Society, Vienna (21-25/04/97). Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 322.
- HZNS-COM/AP 97 **GANDOLA F., N. ABRIAK, R. HAVERKAMP, 1997**
 A new experimental method applied to water content measurement in porous environment. *Proc of 3rd Congrès de Mécanique, Société Marocaine des Sciences Mécaniques, Tetouan/Maroc (avril 1997), Vol. 2, 600-605.*
- HZNS-COM/AP 97 **GANDOLA F., N. ABRIAK, R. HAVERKAMP, 1997**
 Processus électrique et électrochimique appliquée à la mesure de la teneur en eau dans un milieu poreux. *XIII Congrès Français de Mécanique, Poitiers (1-5/09/97), vol. 2 : 389-392.*
- TMP-COM/AP 97 **GARNIER P., R. ANGULO-JARAMILLO, D. Di CARLO, T. BAUTERS, T. STEENHUIS, J.Y. PARLANGE, P. BAVEYE, 1997**
 Measurements of water infiltration and deformation in dry swelling materials using dual-energy synchrotron X-rays. *Am. Geophysical Union, Fall Meeting Proc. San Francisco (9-12/12/97). Supplement to EOS Transactions AGU, à paraître .*
- HZNS-COM/AP 97 **GONZALEZ-SOSA E., E. LEWAN, J.L. THONY, I. BRAUD, J.P. LAURENT, M. VAUCLIN, P. BESSEMOULIN, 1997**
 Mesure et Modélisation du Bilan Hydrique d'une jachère du sud-ouest de la France. *Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, CNRM, Toulouse (2-3/12/97)., Comptes-Rendus : 285-290.*
- HMET-COM/AP 97 **GUILBAUD S., Ch. OBLED, M.C. LLASAT, J. GIBERGANS, 1997**
 Regional hydrodynamical vs. local thermodynamical information in basin QPFs by analog sorting technique. *XXII General Assembly of European Geophysical Society, Vienna (21-25/04/97). Annales Geophysicae*, vol. 15, Part I, C 237.
- HMET-COM/AP 97 **GUILBAUD S., Ch. OBLED, 1997**
 Basin daily quantitative precipitation forecast by an analogue technique. *XXII General Assembly of European Geophysical Society, Vienna (21-25/04/97). Annales Geophysicae*, vol. 15, Part I, C 237.
- HMET-COM/AP 97 **GUILBAUD S., Ch. OBLED, R. GARCON, 1997**
 Prévision quantitative des précipitations journalières par une technique d'analogues. Le critère de sélection des analogues. *ECAM 97, Lindau/Allemagne (23-26/09/97), à paraître*
- HMET-COM/AP 97 **GUILLOT G., T. LEBEL, 1997**
 Désagrégation spatio-temporelle de la pluie en région sahélienne, modélisation, algorithme et application. *Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, CNRM, Toulouse (2-3/12/97). Comptes-Rendus : 309-312.*

- HZNS-COM/AP 97 **HAVERKAMP R., F. BOURAOU, I. BRAUD, J.Y. PARLANGE, J. HOPMANS, 1997**
Spatial scaling for unsaturated water flow modeling. *Intern. Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media*, Riverside, USA (22-24/10/97). *Comptes-rendus à paraître*.
- HZNS-COM/AP 97 **JORGENSEN J., F.X. LE DIMET, R. HAVERKAMP, G. TUBORG, 1997**
Identification of soil parameters using inverse method finding. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 260.
- HMET-COM/AP 97 **KIEFFER A., Ph. BOIS, 1997**
Analysis of heavy rainfall in the French Alps : mapping of rainfall hazard. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part I, C 238.
- HMET-COM/AP 97 **KIEFFER A., Ph. BOIS, 1997**
Statistical analysis of heavy rainfall in the French Alps : season of highest rainfall hazard. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part I, C 238.
- HMET-COM/AP 97 **LAURENT H., N. D'AMATO, T. LEBEL, 1997**
How important is the contribution of the mesoscale convective complexes to the Sahelian rainfall. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part I, C 447.
- HMET-COM/AP 97 **LE BARBE L., T. LEBEL, 1997**
Variabilité interannuelle et décennale de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest: diagnostic et modélisation. *Preprints : Climate variability prediction, water resources and agricultural productivity : food security and agricultural issues in Sub-Sahara Africa*, Cotonou, Bénin (22-25/07/97). Edité conjointement par START et WCRP.
- HMET-COM/AP 97 **LLASAT C., J. GIBERGANS, S. GUILBAUD, J.Y. RODRIGUEZ, 1997**
The use of the vertical thermodynamic data in the daily rain classification. Application to the improvement of the Analog Technique. *Intern. Symposium on cyclones and hazardous weather in the mediterranean* (Palma de Majorca, 14-16/04/97).
- HZNS-COM AP 97 **LUCKE A., B. NORMAND, G. VACHAUD, 1997**
Simulation of nitrate leaching at different scales in an agricultural watershed. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 337.
- HSURF-COM/AP 97 **MOATAR F., A. POIREL, J. GAILLARD, 1997**
Control and validation of water quality data series. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 252.
- HSURF-COM/AP 97 **MOATAR F., F. FESSANT, A. POIREL, 1997**
Application of neural networks to modelling stream pH. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 252.
- HSURF-COM/AP 97 **OBLED Ch., R. DATIN, 1997**
Rainfall information requirements for mediterranean flood operational forecasts. *International RIBAMOD Workshop*, Monselice-Padova , Italie (25/09/97). *Comptes-rendus à paraître*.

- TMP-COM/AP 97 **PEREIRA DOS SANTOS L.A., J.P. LAURENT, G. VACHAUD, J.L. THONY, 1997**
Water content profile estimation in porous media from spatial deconvolution of TDR waveforms measurements. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 263.
- TMP-COM/AP 97 **PEUGEOT C., T.G. COLE, A. SPRINGLER, G. BIDOGLIO, J.P. GAUDET, R.ANGULO-JARAMILLO, 1997**
Experimental facility for coupled flow-reaction modelling in heterogeneous unsaturated soil. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 271.
- TMP-COM/AP 97 **PIERTZ R.A., J.P. LAURENT, 1997**
Discrete multiphase flow simulation in porous media. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 262.
- HSURF-COM/AP 97 **SAULNIER G.M., Ch. OBLED, 1997**
Identification of the predominant generating mechanism of runoff for different scale. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 320
- HMET-COM/AP 97 **SEMPERE-TORRES D., J.M. PORRA, J.D. CREUTIN, 1997**
Characterisation of rainfall properties using the drop size distribution. Application to Autumn storms in Barcelona. *Intern. Symposium on cyclones and hazardous weather in the mediterranean* (Palma de Majorca/14-16/04/97).
- HZNS-COM/AP 97 **THONY J.L., P. MORAT, G. VACHAUD, J.L. LE MOUËL, 1997**
Mise en évidence in-situ d'une corrélation entre gradient de potentiel électrique et flux hydrique dans un sol non saturé. *3èmes Journées d'étude sur les Milieux Poreux*, Paris (24-25/06/97), à paraître
- TMP-COM/AP 97 **TSIMBROVSKA M., P. KALIFA, D. QUENARD, J.F. DAIAN, 1997**
High performance concretes at elevated temperature : permeability and microstructure. *14th Int. Conf. on structural mechanics in reactor technology* (SMiRT 14). Lyon (17-22/08/97).
- HZNS-COM/AP 97 **VACHAUD G., B. NORMAND, F. BOURAOUI, M. VANCLOOSTER, F. MORENO, J.E. FERNANDEZ, Y. YASSOGLU, C. COSMA, 1997**
Evolution des ressources en eau souterraines en zone de culture irriguée du bassin méditerranéen en cas de changements climatiques. « *Agriculture et Développement durable en Méditerranée* », Agropolis Montpellier, 5 p.
- HZNS-COM/AP 97 **VACHAUD G., CHEN T., BOURAOUI F., SAUBOUA E., A. LUCKE, 1997**
Prediction of the effects of land use management on leaching of nitrate and recharge of groundwater by coupling of a deterministic model with a gis. *Intern Conf. on « Water Management, Salinity and Pollution Control towards Sustainable Irrigation in the Mediterranean Region »* organised by CIHEAM-IAM and AIEA, Bari/Italie (22-26/09/97), à paraître.
- HZNS-COM/AP 97 **VANCLOOSTER M., B. NORMAND, G. VACHAUD, J. FEYEN, 1997**
Validation and sensitivity analysis of an integrated soil-crop-atmosphere model, WAVE. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 278
- HZNS-COM/AP 97 **VANDERVAERE J.P., L. CONNELL, M. GILFEDDER, 1997**
Salt export in shallow water table irrigated areas. *XXII General Assembly of European Geophysical Society*, Vienna (21-25/04/97). *Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 256.

- HMET-COM/AP 97 **VIGNAL B., H. ANDRIEU, G. DELRIEU, 1997**
Atténuation correction for weather radar data : the ambiguity problem. *XXII General Assembly of European Geophysical Society, Vienna (21-25/04/97). Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 336.
- HZNS-COM/AP 97 **ZAMMIT C., R. HAVERKAMP, 1997**
Relations between hydraulic soil characteristic parameters. *XXII General Assembly of European Geophysical Society, Vienna (21-25/04/97). Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 265.
- HZNS-COM/AP 97 **ZAMMIT C., R. HAVERKAMP, F. BOURAOU, R. ANGULO-JARAMILLO, R. CUENCA, 1997**
Scaling of the vadose zone water flow equation. *XXII General Assembly of European Geophysical Society, Vienna (21-25/04/97). Annales Geophysicae*, vol. 15, Part II, C 586.
- 1998**
- HMET-COM/AP 98 **AMANI A., G. GUILLOT, T. LEBEL, J.D. CREUTIN, 1998**
Rainfall statistics at small time steps in the Sahel : a preliminary investigation into the validation of a disaggregation model. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae*, vol. 16, Part II, C 521.
- HMET-COM/AP 98 **ANDRIEU H., B. VIGNAL, G. DELRIEU, J.D. CREUTIN, 1998**
The interest of inverse methods to estimate of rainfall from weather radar data. *IVth Intern. Symposium on the Hydrologic Applications of Weather Radar. San Diego, Californie, USA (5-9 /04/98), à paraître.*
- HZNS-COM/AP 98 **AUZET A.V., P. ANDRIEUX, R. ANGULO-JARAMILLO, T. BARIAC, J. BOULEGUE, L.M. BRESSON, F. DARBOUX, M. ESTEVES, M.J. KIRBY, Y. LE BISSONNAIS, V. LECOMTE, B. LUDWIG, C. GASCUEL-ODOUX, O. PLANCHON, V. POT, B. RENAUX, 1998**
Dynamic hydrology of the soil surface. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae*, vol. 16, Part II, C 521.
- HMET-COM/AP 98 **BERTHIER E., H. ANDRIEU, J.D. CREUTIN, 1998**
A physically based approach of urban rainfall-runoff modelling. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae*, vol. 16, Part II., C 496.
- HMET-COM/AP 98 **BERTHIER E., H. ANDRIEU, J.D. CREUTIN, G. RAIMBAULT, 1998**
A physically based approach of urban rainfall-runoff modeling : feasibility study. *NOVATECH, Lyon.*
- HZNS-COM/AP 98 **BESSEMOULIN P., I. BRAUD, J.C. CALVET, R. HAVERKAMP, L. KERGOAT, J.P. LAURENT, P. MORDELET, J. NOILHAN, J.L. ROUJEAN, J.L. THONY, C. TOSCA, D. VIGNES, 1998**
MUREX : A long term field Program dedicated to the measurement and modelling of the hydrological balance at a fallow site in South Western France. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae*, Vol. 16, Part II., C 522.
- HZNS-COM/AP 98 **BOULET G., A. CHEHBOUNI, I. BRAUD, 1998**
Mosaic versus dual source approaches for modeling the surface energy balance of a semi-arid land. *Proc. of Special Symposium on Hydrology de l'American Meteorological Society, Annual Meeting, Phoenix (11-16/01/98) : 24-26.*
- HZNS-COM/AP 98 **BOULET G., A. CHEHBOUNI, I. BRAUD, 1998**
A simple water and energy balance model for remote sensing utilisation. *Am. Geophysical Union, Spring 98 Meeting, Boston/USA (26-29/05/98) (poster).*

- HZNS-COM/AP 98 **BRAUD I., A. CHANZY, F. BARET, J.C. CALVET, E. GONZALEZ-SOSA, C. KING, L. PREVOT, A. OLIOSO, C. OTTLE, O. TACONET, J.L. THONY, J.P. WIGNERON, 1998**
Assimilation of remote sensing data in SVAT models : description of the Alpilles experiment and first results. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society*, Nice (20-24/04/98). *Annales Geophysicae*, vol. 16, Part II., C 522.
- HZNS-COM/AP 98 **CHOPART J.L., M. VAUCLIN, 1998**
Techniques de gestion du sol et alimentation hydrique des cultures annuelles tropicales. *Conférence Internationale "Eau et Développement Durable"*, Paris (19-21/03/98), à paraître.
- HSURF-COM/AP 98 **DATIN R., S. GUILBAUD, C. OBLED, 1998**
Using probabilistics distribution in a real time flash flood forecasting system. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society*, Nice (20-24/04/98). *Annales Geophysicae*, vol. 16, Part II., C 460.
- HSURF-COM/AP 98 **DATIN R., G.M. SAULNIER, C. OBLED, 1998.**
Dynamic drainage area and spatially distributed recharge of subsurface flow in TOPMODEL. *Conference Internationale sur "Hydrology in a changing environment"*, Exeter/UK, (Juillet 98), à paraître.
- HMET-COM/AP 98 **DELRIEU G., S. SERRAR et J.D. CREUTIN, 1998**
X-band radar rain measurement in an Alpine valley : validation of the "mountain reference technique". *MAP Meeting* (17-19/06/98), Chamonix.
- HMET-COM/AP 98 **DESCLAUX F., J. POLCHER, Th. LEBEL, 1998**
Rain event climatology in West Africa : comparison from in situ and GCM outputs. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society*, Nice (20-24/04/98). *Annales Geophysicae*, vol. 16, Part II., C 688.
- HMET-COM/AP 98 **DIEDHIOU A., S. JANICOT, A. VILTARD, P. DE FELICE, H. LAURENT, 1998**
Different regimes of easterly waves over West Africa and tropical Atlantic (1979-1995). *XXIII General Assembly of European Geophysical Society*, Nice (20-24/04/98). *Annales Geophysicae*, vol. 16, Part II., C 688.
- HMET-COM/AP 98 **DOLCINE L., H. ANDRIEU, J.D. CREUTIN, 1998**
Improvement of a simplified dynamical rainfall forecasting model feasibility study. *IVth Intern. Symposium on the Hydrologic applications of weather radar*. San Diego, Californie, USA (5-9 /04/98), à paraître.
- HMET-COM/AP 98 **DOLCINE L., H. ANDRIEU, M.N. FRENCH, 1998**
Evaluation of a conceptual rainfall forecasting model from observed voluminal radar data. *IVth Intern. Symposium on the Hydrologic Applications of Weather Radar*. San Diego, Californie, USA (5-9 /04/98), à paraître.
- HMET-COM/AP 98 **DOLCINE L., H. ANDRIEU, D. SEMPERE-TORRES, J.D. CREUTIN, 1998**
Flash-flood forecasting using rainfall rates forecasted by a simplified precipitation model. *IVth Intern. Symposium on the Hydrologic Applications of Weather Radar*. San Diego, Californie, USA (5-9 /04/98), à paraître.
- HSURF-COM/AP 98 **DUROT K., G.M. SAULNIER, Ch. OBLED, E. MARTIN, 1998**
Coupling of a hydrologic physical based model (TOPMODEL) with a snowmelt routine (SAFRAN-CROCUS) for discharges simulation of a french alpine catchment. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society*, Nice (20-24/04/98). *Annales Geophysicae*, vol. 16, Part II., C 523.
- HSURF-COM/AP 98 **DUROT K., C. OBLED, Y. LEJEUNE, E. MARTIN, 1998**
Adaptation of TOPMODEL to snow and glacier melt data on a French alpine catchment : first results. *Conference Internationale sur "Hydrology in a changing environment"*, Exeter/UK, (Juillet 98), à paraître.

- HSURF-COM/AP 98 **DUROT K., Ch. OBLED, Y. LEJEUNE, E. MARTIN, 1998**
Adaptation of a topography based model (TOPMODEL) to snow and glacier melt data on a French Alpine catchment. *Intern. Conf. on Head Water Control IV, Merano/Italie, à paraître.*
- HSURF-COM/AP 98 **ESTEVEZ M., O. PLANCHON, 1998**
Effects of soil microtopography on overland flow and infiltration in cultivated plots. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, Vol. 16, Part II., C 523.*
- HZNS-COM/AP 98 **FOUCHE-ROGUEZ S., G. NAJJAR, I. BRAUD, B. AMBROISE, 1998**
Modelling the surface processes in middle mountain conditions : Comparison and sensitivity studies. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 523.*
- HZNS-COM/AP 98 **GANDOLA F., N.E. ABRIAK, R. HAVERKAMP, 1998**
Characterization of infiltration in unsaturated porous medium using fluorescence effects. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 478.*
- TMP-COM/AP 98 **GERARD-MARCHANT P., G. BEAUDOING, P. CALMELS, 1998**
Radioactive tracers for the in situ and laboratory determination of the hydraulic properties of slowly permeable porous material. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 479.*
- HZNS-COM/AP 98 **GONZALEZ-SOSA E., I. BRAUD, M. VAUCLIN, P. BESSEMOULIN, 1998**
Modelling the influence of a mulch on the water and energy budget of a fallow land. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 524.*
- HMET-COM/AP 98 **GUILBAUD S., C. OBLED, 1998**
Use of the reanalysed dataset of the NECP/NCAR to improve daily quantitative precipitation forecast by an analogue technique. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 461.*
- HZNS-COM/AP 98 **HAVERKAMP R., 1998**
Scaling of soil hydraulic properties and moisture movement in the vadose zone. *The Gordon Research Conference on Modeling of flow in permeable media, Proctor Academy, Andover (2-7/08:98), New Hampshire, USA. Conférence invitée.*
- TMP-COM/AP 98 **LAURENT J.P., A.V. AUZET, A. CHANZY, L. PEREIRA DOS SANTOS, J.M. SANCHEZ-PEREZ, 1998**
Tests of a new TDR-method to measure soil water-content profiles. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, Vol. 16, Part II., C 525.*
- HMET-COM/AP 98 **LEBEL Th., A. AMANI, L. LEBARBE, 1998**
Rainfall variability in the Sahel : a matter of scales. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 689.*
- HMET-COM/AP 98 **MATHON V., H. LAURENT, 1998**
Automatic tracking of West African cloud clusters. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 689.*
- HMET-COM/AP 98 **RODRIGUEZ F., H. ANDRIEU, J.D. CREUTIN, G. RAIMBAULT, J. YERCHOFF, 1998**
The relevance of geographic information systems for urban hydrological analysis. *NOVATECH, Lyon.*

- TMP-COM/AP 98** **ROULIER S., R. ANGULO-JARAMILLO, J.P. GAUDET, AV. AUZET, B. LADOUCHE, Th. BARIAC, 1998**
Field measurement of solute transport properties of soil using a tension disc infiltrometer and ¹⁸O. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, Vol. 16, Part II., C 526.*
- HSURF-COM/AP 98** **SAULNIER G.M., R. DATIN, C. OBLED, 1998**
Dynamic drainage area and spatially variable. Precipitation inputs within the TOPMODEL framework. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 527.*
- HMET-COM/AP 98** **SEMPERE TORRES D., J. PORRA, J.D. CREUTIN, 1998**
Determination of reflectivity. Intensity relations using the drop size distribution. Application to Autumn storms in Barcelona. *IVth Intern. Symposium on the Hydrologic Applications of Weather Radar. San Diego, Californie, USA (5-9 /04/98), à paraître.*
- HMET-COM/AP 98** **SERRAR S., G. DELRIEU, J.D. CREUTIN, 1998**
Mountain Reference Technique. *IVth Intern. Symposium on the Hydrologic Applications of Weather Radar. San Diego, Californie, USA (5-9 /04/98), à paraître.*
- HMET-COM/AP 98** **TAUPIN J.D., 1998**
Decadal sahelian rainfall estimation over an area of 1 degree square : characterization of the "ground truth" according to the raingauge network density. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 690.*
- HMET-COM/AP 98** **TAUPIN J.D., 1998**
Characterization of sahelian rainfall spatial variability at a scale between 1 and 10 kilometres : the arcol experiment (region of Niamey, Niger). *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 690.*
- HMET-COM/AP 98** **TAUPIN J.D., A. AMANI, Th. LEBEL, 1998**
Variabilité spatiale et échantillonnage des pluies au Sahel de l'échelle interannuelle à la décade. *Conf. Intern. d'Abidjan sur la variabilité des ressources en eau en Afrique au XX^e siècle, Abidjan/Côte d'Ivoire, (Nov. 98), à paraître.*
- HMET-COM/AP 98** **THIELEN J., J.D. CREUTIN, 1998**
Simulation of convective rainfall over urban area. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, Vol. 16, Part II., C 527.*
- HZNS-COM/AP 98** **THONY J.L., P. MORAT, G. VACHAUD, J.L. LE MOUËL, 1998**
Field characterization of the relationship between electric field and soil water flux in vadose zone. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 527.*
- HMET-COM/AP 98** **UIJLENHOET, G. DELRIEU, J.D. CREUTIN, 1998**
Radar rainfall attenuation correction algorithms revisited. *IVth Intern. Symposium on the Hydrologic Applications of Weather Radar, San Diego, Californie, USA (5-9 /04/98), à paraître.*
- HMET-COM/AP 98** **UIJLENHOET R., J.D. CREUTIN, 1998**
A stochastic model of rainfall at the raindrop scale. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 458.*
- HZNS-COM/AP 98** **VAUCLIN M., P. ACKERER, 1998**
Un Programme de recherche fédérateur : le Programme National de Recherche en Hydrologie. *Conférence Internationale "Eau et Développement Durable", Paris (19-21/03/98), à paraître.*

- HMET-COM/AP 98 **VERSIANI B.R., M.C. NAGHETTINI, Ph. BOIS, 1998**
Regionalization of the extreme annual rainfall using the two-component extreme value model : discussion and application. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II, C 464.*
- HSURF-COM/AP 98 **VINE P., C. PUECH, J.M. GRESILLON, 1998**
Mapping vegetation regrowth by remote sensing to interpret the hydrological impact of fire. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 532.*
- TMP-COM/AP 98 **ZAKRI T., J.P. LAURENT, 1998**
Comparison of mixing-laws models on soils TDR measurement data. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, Vol. 16, Part II., C 528.*
- HZNS-COM/AP 98 **ZAMMIT C., F. BOURAOU, R. HAVERKAMP, E. GONZALEZ-SOSA, R. ANGULO-JARAMILLO, 1998**
A physically-based approach for estimating water retention curve shape parameter. *XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98). Annales Geophysicae, vol. 16, Part II., C 528.*

AR : ACTES A DIFFUSION RESTREINTE

1995

- HSURF-COM/AR 95 **GRESILLON J.M., 1995**
Le bassin versant. Echelles d'analyse et compréhension des processus. *Colloque "Crues-versants et lits fluviaux" organisé par CNRS/Lab. de Géographie Physique, Paris (20-24/03/95) : Comptes-rendus : 81.*
- HSURF-COM/AR 95 **GRESILLON J.M., 1995**
Le radar météorologique, outil pour l'hydrologie urbaine ? *8ème réunion annuelle du réseau de laboratoire GEO. Aussois (11-15/12/1995).*
- HZNS-COM/AR 95 **HAVERKAMP R., 1995**
Spatial variability of hydraulic soil characteristics. *Conférence sur invitation à Soil and Water Department, Cornell University, Ithaca, New-York (USA).*
- HZNS-COM/AR 95 **HAVERKAMP R., 1995**
The process of water movement in the vadose zone. *EFEDA Science, Berlin (11-13/12/95). Conférence invitée.*
- HZNS-COM/AR 95 **HAVERKAMP R., 1995**
Précision of soil water measurement. *EFEDA Science, Berlin (11-13/12/95). Conférence Invitée.*
- TMP-COM/AR 95 **LAURENT J.P., P. CRAUSSE, 1995**
Comparaison de deux modèles théoriques pour la simulation du comportement thermohydrique d'une paroi de bâtiment homogène. *Journée d'étude SFT "Milieux poreux et transferts dans les structures du Génie Civil et de l'Habitat", Paris (18 janvier).*
- TMP-COM/AR 95 **LAURENT J.P., T. ZAKRI, D. SALUEL, 1995**
Mesures électriques en milieu poreux : possibilités, problèmes et perspectives. *Colloque "Milieux Poreux", 2èmes journées d'étude sur les milieux poreux, Bordeaux (7-8/06/95).*

- HSURF-COM/AR 95 **SAULNIER G.M., Ch. OBLED, 1995**
Prise en compte de la variabilité des épaisseurs de sols dans TOPMODEL. *Colloque "Crues-versants et lits fluviaux"* organisé par CNRS/Lab. de Géographie Physique, Paris (22-24 Mars). Comptes-rendus : 137.
- HSURF-COM/AR 95 **SAULNIER G.M., Ch. OBLED, 1995**
Effect of the accuracy of the topographic information on the calibrated value of the saturated hydraulic conductivity. *TOPMODEL Symposium*, Lancaster University (UK).
- HSURF-COM/AR 95 **SAULNIER G.M., Ch. OBLED, 1995**
Including spatially variable soil depth in TOPMODEL : an original approach. *TOPMODEL Symposium*, Lancaster University (UK).
- HZNS-COM/AR 95 **VAUCLIN M., 1995**
Unsaturated soil hydraulic properties and use of scale factor in Soil Science, " *Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle* ". Course, Esbjerg (Danemark 24-26/9/95). *Conférence invitée* (10 pages).
- HZNS-COM/AR 95 **VAUCLIN M., 1995**
Theory of unsaturated water flow : two phase flow approach. " *Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle* ". Course, Esbjerg (Danemark 24-26/9/95). *Conférence invitée* (7 pages).
- 1996**
- HMET-COM/AR 96 **ANDRIEU H., J.D. CREUTIN, G. DELRIEU, 1996**
Quelques aspects de l'utilisation hydrologique du radar. *Séminaire sur la programmation de la Recherche en Hydrologie radar*. Météo-France, Toulouse (17-18/12/96).
- HZNS-COM/AR 96 **BRAUD I., R. HAVERKAMP, J.L. ARRUE, M.V. LOPEZ, M. VAUCLIN, 1996**
Hydrology of the non-saturated zone at regional scale in the context of the EFEDA project. *Int. Conf. on « Mediterranean Desertification »*, Heraklion, Crète (29/10-1/11/96). (Poster).
- HZNS-COM/AR 96 **CHANZY A., R. HAVERKAMP, M. NORMAND, C. LEDUC, 1996**
L'hydrosphère continentale de la surface aux nappes. *Colloque PIGB/Changements globaux*, Paris (13-15/05/96). *Poster sur invitation*.
- HMET-COM/AR 96 **DELRIEU G., S. CAUDAL, J.D. CREUTIN, H. ANDRIEU, 1996**
Expérimentation Marseille 92-93 : métrologie des précipitations en hydrologie urbaine. *Séminaire sur la programmation de la Recherche en Hydrologie radar*. Météo-France, Toulouse (17-18/12/96).
- HMET-COM/AR 96 **DESBOIS M., T. LEBEL, 1996**
Précipitations sur la zone intertropicale. *Colloque PIGB/Changements globaux*, Paris (13-15/05/96). *Poster sur invitation*.
- HMET-COM/AR 96 **DOLCINE L., H. ANDRIEU, J.D. CREUTIN, 1996**
Outil conceptuel d'interprétation des images radar à des fins de prévision. *Séminaire sur la programmation de la Recherche en Hydrologie radar*. Météo-France, Toulouse (17-18/12/96).
- TMP-COM/AR 96 **GAUDET J.P., 1996**
Transferts de solutés dans les couches superficielles des sols : quelques exemples. *Réunion scientifique du Programme Environnement Géosphère Intertropicale (PEGI)*, Paris (17-18/01/95). *Conférence invitée*.

- HZNS-COM/SA 96 **HAVERKAMP R., 1996**
 Computation of overland flow versus infiltration. *Keynote speaker for the seminar cycles on « Earth, Air, Water : Advances in Watershed Hydrology ».* Oregon State Univ. Corvallis, Oregon, USA (24/04/96).
- TMP-COM/AR 96 **LAURENT J.P., 1996**
 A field thermal conductivity meter (FTCM). *14th European Conference on Thermophysical Properties, Lyon, 16-19/09/96 (Poster)*
- TMP-COM/AR 96 **LAURENT J.P., 1996**
 Simulation par le logiciel "STEP" des mouvements d'eau dans le tuffeau de la Cathédrale de Tours. *Séminaire du Programme Franco-Allemand, Bonn (12-13/12/96).*
- TMP-COM/AR 96 **LAURENT J.P., T. ZAKRI, 1996**
 On the use of Time Domain Reflectometry technics for water content measurement. *14th European Conference on Thermophysical Properties, Lyon, 16-19/09/96 (Poster)*
- HMET-COM/AR 96 **THIELEN J., J.D. CREUTIN, 1996**
 Modélisation couplée atmosphère-hydrologie en milieu urbain. *Journée du Programme Environnement, Vie et Société, Paris (15-17/01/96). (Poster)*
- HZNS-COM/AR 96 **VAUCLIN M., 1996**
 « Cycle hydrologique et surfaces continentales ». *Colloque Prospective INSU/ST, Poitiers (4-5/3/96).*
- HZNS-COM/AR 96 **VAUCLIN M., 1996**
 Les processus de transfert d'eau et de soluté dans les sols non saturés : quelques aspects hydrologiques et géotechniques. *21èmes Journée du Groupe Français d'Humidimétrie Neutronique, Avignon (26-27/11/96) (Résumé).*
- HMET-COM/AR 96 **VIGNAL B., H. ANDRIEU, J.D. CREUTIN, 1996**
 Erreurs associées aux profils verticaux de réflectivité radar. *Séminaire sur la programmation de la Recherche en Hydrologie radar. Météo-France, Toulouse (17-18/12/96).*

1997

- HMET-COM/AR 97 **BERTHIER E., H. ANDRIEU, J.D. CREUTIN, G. RAIMBAULT, 1997**
 Approche à base physique de la modélisation pluie-débit en milieu urbain. *22èmes Journées du GFHN, Meudon (25-26/11/97), Bulletin du GFHN, à paraître.*
- HSURF-COM/AR 97 **BOIS Ph., 1997**
 Les extrêmes en Hydrologie. *Comité National Français de Géophysique et de Géodésique, Paris (mars 1997). Conférence Invitée*
- HMET-COM/AR 97 **BOIS Ph., A. KIEFFER, 1997**
 Cartographie des pluies extrêmes. Synthèse des travaux français. *Entretiens Jacques Cartier, Lyon (26-28/05/97).*
- HZNS-COM/AR 97 **BOURAOUI F., G. VACHAUD, T. CHEN, L.X. LI, H. LE TREUT, 1997**
 Changements climatiques et évolution des ressources en eau souterraines : Aspects spatio-temporels. *Journées PIREVS/CNRS, Toulouse. (5-7/11/97).*
- HSURF-COM/AR 97 **DAVIET S., A. SCHOBER, J.M. GRESILLON, 1997**
 Le modèle STORHY et son logiciel STORIX pour la prédétermination des débits dans un contexte de données rares. *5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences, Rabat/Maroc (avril 97). (Poster).*

- TMP-COM/AR 97 **GALLE C., J.F. DAIAN, M. PIN, 1997**
Transfert des gaz dans les matériaux cimentaires : expérimentation et modélisation du couplage microstructure/saturation en eau/perméabilité. *Journées techniques AFPC-AFREM*, Toulouse (11-12/12/97).
- HZNS-COM/AR 97 **GANDOLA F., N.E. ABRIAK, R. HAVERKAMP, 1997**
Mesure de la teneur en eau dans un milieu poreux par une méthode électrique. *22èmes Journées du GFHN*, Meudon (25-26/11/97), Bulletin du GFHN à paraître
- TMP-COM/AR 97 **GERARD-MARCHANT P., R. ANGULO-JARAMILLO, J.L. THONY, M.VAUCLIN, 1997**
Prise en compte du gonflement dans la mesure in-situ de la conductivité hydraulique d'une argile peu perméable. *21èmes Journées du Groupe Français d'Humidimétrie Neutronique*, Avignon (26-27/11/96). Bulletin du Groupe Français d'Humidimétrie Neutronique et des Techniques Associées, n° 39-40 : 134-139 (ISSN 0245-9493).
- HSURF-COM/AR 97 **GOMIS F., J.M. GRESILLON, 1997**
Rôle de l'humidité des sols sur la relation pluie-débit en contexte urbain. *5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*, Rabat/Maroc (avril 97). (Poster).
- HSURF-COM/AR 97 **GOMIS F., J.M. GRESILLON, 1997**
Couplage eau de surface/eau souterraine à l'occasion des pluies sur un petit bassin versant urbain. *22èmes Journées du GFHN*, Meudon (25-26/11/97), Bulletin du GFHN, à paraître.
- HSURF-COM/AR 97 **GRESILLON J.M., A. SCHOBBER, P. VINE, 1997**
Rôle hydrologique de l'humidité des sols. Confrontation avec les processus hydrologiques. *5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*, Rabat/Maroc (avril 97). (Poster).
- HSURF-COM/AR 97 **GRESILLON J.M., 1997**
Rétention en eau des sols, infiltrabilité et compréhension des processus. *Séminaire "Les bassins versants expérimentaux de Draix, laboratoire d'étude de l'érosion en montagne"*. Draix (22-24/10/97).
- HZNS-COM/AR 97 **GRESILLON J.M., 1997**
Infiltration des sols et processus hydrologiques. *22èmes Journées du GFHN*, Meudon (25-26/11/97), Bulletin du GFHN, à paraître.
- HZNS-COM/AR 97 **KALMA J.D., G. BOULET, 1997**
Prediction and measurement of soil moisture storage in a medium-sized catchment. *5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*, Rabat/Maroc (avril 97) (Poster).
- HZNS-COM/AR 97 **THIERY J.M., J.M. d'HERBES, M. EHRMANN, S. GALLE, C. PEUGEOT, J. SEGHERI, C. VALENTIN, 1997**
Modèles de paysage et modèles de ruissellement pour une brousse tigrée nigérienne. *Journées PIREVS/CNRS*, Toulouse (5-7/11/97).
- HZNS-COM/AR 97 **VAUCLIN M., C. FREISSINET, M. ERLICH, 1997**
Le flou artistique pour estimer les imprécisions dans la modélisation du devenir des produits phytosanitaires dans les sols. *Journées PNRH « Transport et réactions en Milieux Poreux Hétérogène »*, Poitiers (Mars 1997).
- HZNS-COM/AR 97 **VAUCLIN M., 1997**
Modélisations hydrologiques et informatique. *22èmes Journées du GFHN*, Meudon (25-26/11/97), Bulletin du GFHN à paraître
Conférence invitée.

TMP-COM/AR 97 **ZAKRI T., J.P. LAURENT, 1997**
Soil water content measurement by Time Domain Reflectometry : comparison between dielectric mixing law models and experimental measurements. *5th Assembly of the International Association of Hydrological Sciences, Rabat/Maroc (avril 97) (Poster).*

HSURF-COM/AR 97 **ZAMMIT C., 1997**
Une approche physique d'estimation des paramètres de forme et de certains paramètres d'échelle des caractéristiques hydrodynamiques du sol. *22èmes Journées du GFHN, Meudon (25-26/11/97), Bulletin du GFHN à paraître.*

1998

HZNS-COM/AR 98 **GANDOLA F. N.E. ABRIAK, R. HAVERKAMP, 1998**
Fluorescence appliquée à la caractérisation des phénomènes d'infiltration dans un milieu poreux non saturé : évaluation des risques de pollution. *Congrès Intern. de Sciences du Sol, Fez/Maroc (20-26/05/98).*

SA: SANS ACTES

1995

HZNS-COM/SA 95 **CONNELL L., 1995**
Hydrologic modeling at the watershed scale. *Séminaire LTHE (16 novembre)*

HMET-COM/SA 95 **CREUTIN J.D., G. DELRIEU, 1995**
Hydrologie radar : expériences et modèles. *Séminaire LTHE (12 Janvier)*

TMP-COM/SA 95 **GAUDET J.P., 1995**
Transferts de solutés dans les sols : Laboratoire et terrain. *Séminaire LTHE (6 avril).*

TMP-COM/SA 95 **GAUDET J.P., 1995**
Transferts de solutés dans les sols : de la colonne de laboratoire au terrain. *Journée PRH-INSU "Transferts complexes en milieux poreux et ressources en eau", Bordeaux, 24-25/10/95.*

HSURF-COM/SA 95 **GRESILLON J.M., 1995**
Les modes de formation des écoulements et les risques hydrologiques associés. *Séminaire LTHE (9 février).*

HSURF-COM/SA 95 **GRESILLON J.M., 1995**
Infiltration et mouvements de nappes : rôle de l'état de surface. *Séminaire Européen de la Géologie au calcul des ouvrages, Grenoble (6-10/11/95).*

HZNS-COM/SA 95 **HAVERKAMP R., 1995**
Caractérisation hydrodynamique des sols. *Séminaire LTHE (6 juin).*

TMP-COM/SA 95 **LAURENT J.P., 1995**
Matériaux : mesures, modèles. *Séminaire LTHE (9 mars).*

TMP-COM/SA 95 **LAURENT J.P., R.A. PIERRITZ, 1995**
Le graphe de la ligne médiane : un outil de description de la topologie et de simulation des transferts en milieu poreux. *Journée PRH-INSU « Transferts complexes en milieux poreux et ressources en eau », Grenoble 16-17 Mars.*

- TMP-COM/SA 95 **LAURENT J.P., 1995**
Modélisation des mouvements d'eau dans la pierre. *Séminaire Lab. de recherche des monuments historiques*, Champs sur Marne (21 mars).
- HMET-COM/SA 95 **LEBEL Th., 1995**
Etude des systèmes précipitants sahéliens dans une optique climatologique : de la mesure au modèle. *Séminaire LTHE* (11 mai).
- HZNS-COM/SA 95 **MUNOZ PARDO J., 1995**
Pollution des sols par les métaux lourds : modélisation et validation sur des mesures. *Séminaire LTHE* (21 Novembre).
- HSURF-COM/SA 95 **OBLED Ch., G.M. SAULNIER, 1995**
Modélisation spatialisée du bassin versant : l'exemple de TOPMODEL. *Séminaire LTHE* (27 avril).
- HZNS-COM/SA 95 **VANCLOOSTER M., 1995**
Estimation des indices de vulnérabilité des sols à la pollution diffuse sur une échelle régionale. *Séminaire LTHE* (9 Novembre).
- HZNS-COM/SA 95 **VIEUX B., 1995**
Application of optimal control and data assimilation in distributed hydrologic modeling. *Séminaire LTHE* (23 Novembre).
- HZNS-COM/SA 95 **WAGENET J., 1995**
Scale dependency of chemical leaching models and Gis applications. *Séminaire LTHE* (16 Juin).
- HZNS-COM/SA 95 **WOUmeni R., 1995**
Recherches sur les mécanismes de transfert dans les aquifères alluviaux. *Séminaire LTHE* (22 juin).

1996

- TMP-COM/SA 96 **ANGULO-JARAMILLO R., 1996**
Tension disk infiltrometer. Measurements and theoretical aspects. Institut für bodenkunde und standortslehre, Universität de Hohenheim, Stuttgart, (7/02/96). *Conférence invitée*.
- HZNS-COM/SA 96 **ANGULO-JARAMILLO R., 1996**
Hydrodynamique des milieux poreux déformables. Application aux sols gonflants peu perméables. *Séminaire LTHE* (22/2/96).
- TMP-COM/SA 96 **ANGULO-JARAMILLO R., 1996**
Técnicas para abordar los problemas de contaminación del suelo y de las aguas subterráneas : contaminación difusa de origen agrícola y contaminación localizada de origen industrial. *Séminaire Invité* : Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá, 1/11/96.
- TMP-COM/SA 96 **ANGULO-JARAMILLO R., 1996**
Nuevas metodologías para la evaluación in-situ de las propiedades hidrológicas de suelos no saturados. *Séminaire Invité* : Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá (5/11/96).
- TMP-COM/SA 96 **ANGULO-JARAMILLO R., 1996**
Medida de parámetros hidrodispersivos en suelos estructurados no saturados : ensayos in-situ por infiltrometría multi-disco. *Séminaire Invité* : Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile (14/11/96).

- HMET-COM/SA 96 **BENICHOU H., F. CAZENAVE, T. LEBEL, J. LECOCQ, 1996**
Mesure des précipitations en Afrique tropicale sahélienne par radar météorologique bande C : calibration et correction d'atténuation. *Atelier Instrumentation et Expérimentation, CNRM, Toulouse (15-17/10/96). Poster.*
- HMET-COM/SA 96 **BENICHOU H., G. DELRIEU, T. LEBEL, 1996**
Etude de l'influence des relations Z-R/K-R et de la constante de calibration radar sur la correction d'atténuation : une étude de cas au Sahel. *Atelier Instrumentation et Expérimentation, CNRM, Toulouse (15-17/10/96). Poster.*
- HSURF-COM/SA 96 **BOIS Ph., A. KIEFFER, 1996**
Pluies extrêmes sur les Alpes. *Séminaire LTHE (28/03/96).*
- HZNS-COM/SA 96 **BOULET G., I. BRAUD, 1996**
Variabilité spatiale des flux de masse versus variabilité spatiale des paramètres de surface : application à un climat semi-aride (Niger) et un climat sec sub-humide (Australie). *Séminaire LTHE (7/11/96).*
- HZNS-COM/SA 96 **BOURAOUI F., 1996**
Modélisation de la pollution diffuse d'origine agricole. *Séminaire LTHE (11/1/96)*
- HMET-COM/SA 96 **BRAUD I., 1996**
Utilisation d'un modèle de transfert sol-plante-atmosphère (SiPSAT) pour l'interprétation de la radiométrie micro-onde sur HAPEX-Sahel. *Séminaire LTHE (20/6/96).*
- HMET-COM/SA 96 **CAZENAVE F., 1996**
Introduction aux bases de données scientifiques. Application aux données de l'expérience EPSAT-Niger. *Séminaire LTHE (8/2/96).*
- HZNS-COM/SA 96 **CHEN T., 1996**
1) Transformations de géomatériaux sous l'effet des contraintes et des circulations de fluides.
2) Utilisation et application d'un Système d'Information Géographique : Grass. *Séminaire LTHE (23/5/96).*
- HMET-COM/SA 96 **CREUTIN J.D., 1996**
Le fonctionnement du Comité National de la recherche scientifique. *Séminaire LTHE, 12/12/96).*
- TMP-COM/SA 96 **DAIAN J.F., 1996**
Modèles multi-échelles des structures poreuses. *Séminaire LTHE (25/1/96).*
- HMET-COM/SA 96 **DELRIEU G., 1996**
Caractérisation du signal radar rétrodiffusé par les montagnes à l'aide d'un modèle numérique de terrain. *Séminaire LTHE (4/4/96).*
- TMP-COM/SA 96 **GERARD MARCHANT P., R. ANGULO-JARAMILLO, X. VITART, 1996**
Détermination de la conductivité hydraulique de matériaux déformables à très faible perméabilité. *Tèmes Rencontres Régionales de la Recherche, Lyon, 27/9/96. (Poster)*
- HSURF-COM/SA 96 **GRESILLON J.M., 1996**
Analyse des phénomènes générateurs de crues sur les bassins méditerranéens. Rôle des sols et de la couverture végétale et conséquences sur la transformation pluie débit. *Séminaire groupe de travail sur le rôle de la végétation. Montpellier (mars 96).*
- HMET-COM/SA 96 **GUPTA V.K., 1996**
Scale invariance and regionalisation of floods. *Séminaire LTHE (14/11/96).*

- TMP-COM/SA 96 **LAURENT J.P., 1996**
Simulation des transferts d'eau dans le tuffeau de la cathédrale de Tours. *Séminaire « Programme Franco-Allemand de recherche pour la conservation des monuments historiques.* Stuttgart (23-24/09/96).
- HZNS-COM/SA 96 **LAURENT J.P., 1996**
Un système de terrain pour la mesure des conductivités thermiques des sols. *Atelier Instrumentation et Expérimentation, CNRM, Toulouse (15-17/10/96).* (Poster + présentation de matériel)
- TMP-COM/SA 96 **LAURENT J.P., T. ZAKRI, 1996**
Relations entre propriétés diélectriques et teneur en eau en milieux poreux. *Journée d'étude sur la réflectométrie dans le domaine temporel (TDR) et ses applications, CIRAD, Montpellier (8/11/96).*
- TMP-COM/SA 96 **LAURENT J.P., J.L. THONY, D. SALUEL, L. PEREIRA dos SANTOS, T. ZAKRI, 1996**
Applications avancées de la technique TDR : spectroscopie et déconvolution spatiale. *Journée d'étude sur la réflectométrie dans le domaine temporel (TDR) et ses applications, CIRAD, Montpellier (8/11/96).*
- HZNS-COM/SA 96 **LUCKE A., 1996**
Nonpoint source pollution at different scales using deterministic models and GIS. *Séminaire LTHE, (18/12/96).*
- HSURF-COM/SA 96 **NGUYEN T. D., 1996**
Ecoulement dans une conduite couverte en présence d'une poche d'air. *Séminaire LTHE (15/2/96).*
- HMET-COM/SA 96 **OBLED Ch., 1996**
Couplages des modélisations météorologiques et hydrologiques : apports potentiel à l'imagerie radar. *Séminaire sur la programmation de la Recherche en Hydrologie radar. Météo-France, Toulouse (17-18/12/96).*
- HSURF-COM/SA 96 **O'RIORDAN C., 1996**
Transport des MES en rivière. *Séminaire LTHE (7/2/96).*
- HMET-COM/SA 96 **THIELEN J., J.D. CREUTIN, 1996**
Modélisation du cycle de l'eau en milieu urbain. *Séminaire sur la programmation de la Recherche en Hydrologie radar. Météo-France, Toulouse (17-18/12/96).*
- 1997**
- HMET-COM/SA 97 **CREUTIN J.D., 1997**
Variabilité des précipitations en hydrologie. *Séminaire au Centre d'études et de recherches écogéographiques, Strasbourg (15/01/97).*
- HMET-COM/SA 97 **CREUTIN J.D., 1997**
Compte-rendu du groupe de réflexion PATOM/PNRH. *Journées de Prospective du PATOM, Paris (2-3/10/97).*
- HMET-COM/SA 97 **CREUTIN J.D., 1997**
Utilisation du radar en hydrologie. *Les Entretiens sur l'Eau, Grenoble (10-11/12/97).*
- HMET-COM/SA 97 **GALLE S., 1997**
La brousse tigrée nigérienne : une structure spatiale pour utiliser une ressource en eau limitée. *Séminaire LTHE, Grenoble (27/11/97).*

- TMP-COM/SA 97 **GAUDET J.P., 1997**
Les derniers résultats des transferts de soluté à la Côte St. André. *Séminaire LTHE*, Grenoble (13/02/97).
- HMET-COM/SA 97 **GUILBAUD S., 1997**
Prévision quantitative des précipitations par une technique de recherche d'analogues. *Séminaire CNRM*, Toulouse (13/03/97).
- HZNS-COM/SA 97 **HAVERKAMP R., 1997**
Mise à échelle de l'équation de Richards. *Séminaire LTHE*, Grenoble (30/03/97).
- HMET-COM/SA 97 **LAURENT H., 1997**
Etude du cycle de vie et de l'impact pluviométrique des systèmes convectifs de méso-échelle au Sahel. *Séminaire LTHE*, Grenoble (13/03/97).
- TMP-COM/SA 97 **LAURENT J.P., 1997**
Research on porous media at laboratory LTHE. *Séminaire à l'UEL*, Londrina-Pr, Brésil (13/3/97).
- TMP-COM/SA 97 **LAURENT J.P., 1997**
Research on porous media at laboratory LTHE. *Séminaire au CNPDIA*, Embrapa, Sao-Carlos-SP, Brésil (19/3/97).
- TMP-COM/SA 97 **LAURENT J.P., 1997**
Desenvolvimentos recentes em instrumentação a meios porosos". *Séminaire au LMPT, UFSC*, Florianopolis-SC, Brésil (26/3/97).
- TMP-COM/SA 97 **LEWANDOWSKA J., 1997**
Transfert de soluté en milieu poreux : étude et homogénéisation. *Séminaire LTHE*, Grenoble (10/4/97).
- TMP-COM/SA 97 **LEWANDOWSKA J., 1997**
Série de 3 séminaires sur « L'homogénéisation appliquée aux transferts de masse en milieux poreux, LTHE, Grenoble.
- HSURF-COM/SA 97 **NAGHETTINI M., 1997**
Description pour l'estimation de la queue supérieure des distributions de fréquence des pointes de crue avec utilisation de l'information hydrométéorologique. *Séminaire LTHE*, Grenoble (19/6/97) [lors de son séjour dans le cadre des accords CAPES/COFECUB-Brésil].
- HMET-COM/SA 97 **RIBOLZI O., 1997**
Etude des mécanismes de genèse des crues par le traçage naturel (chimique et isotopique) sur un bassin versant méditerranéen cultivé [(Rojan, Hérault (France)]. *Séminaire LTHE*, Grenoble (22/5/97).
- TMP-COM/SA 97 **SAADI Z., 1997**
Application d'une mise à l'échelle à la caractérisation hydrodynamique de sols sableux. *Séminaire LTHE*, Grenoble (13/10/97) ([lors de son séjour (30/9-29/10/97) dans le cadre des accords CNRS/CNRST Maroc].
- HSURF-COM/SA 97 **SAULNIER G.M., 1997**
Hydrologie de surface. *Journées de Prospective du PATOM*, Paris (2-3/10/97).
- HMET-COM/SA 97 **SERRAR S., 1997**
Algorithmes pour la restitution du profil spatial de pluie à partir de mesures radar affectées par l'atténuation. *Séminaire LTHE*, Grenoble (16/01/97).
- TMP-COM/SA 97 **TAMOH K., 1997**
Modélisation des transferts d'eau et de solutés sous infiltromètre à succion contrôlée. *Séminaire LTHE*, Grenoble (13/10/97) [lors de son stage effectué du 1/10 au 31/1/97 dans le cadre des accords CNRS/CNRST-Maroc].

- HSURF-COM/SA 97 **VARAS E., 1997**
Regional probability weighted moments of maximum flows. *Séminaire LTHE, Grenoble (3/7/97)* (lors de son séjour au LTHE dans le cadre des accords ECOS (MAE/CNRS Chili).
- HZNS-COM SA 97 **VAUCLIN M., 1997**
Le Programme National de Recherches en Hydrologie et le projet de Service d'Observations utilisé pour la Recherche en Hydrologie. *Journées du Département de Science du Sol/INRA-Versailles (19-20 /03/97). Conférence invitée.*
- HZNS-COM/SA 97 **VAUCLIN M., 1997**
Les programmes PNRH et PROSE : *présentation invitée* devant la section 30 du Comité National, Paris (8/04/97).
- HSURF-COM/SA 97 **VERSIANI B., 1997**
Contribution à l'étude de régionalisation des pluies extrêmes annuelles sur les Alpes françaises : application du modèle des valeurs extrêmes à deux composantes. *Séminaire LTHE, Grenoble (16/10/97).*
- 1998**
- HSURF-COM/SA 98 **BELLEUDY Ph., 1998**
Modélisation des sédiments en rivière : pratiques en ingénierie et questions. *Séminaire LTHE, Grenoble (19/03/98).*
- HSURF-COM/SA 98 **BELLEUDY Ph., 1998**
Ecoulements à surfaces libres. *Séminaire BRGM/LTHE "Eaux souterraines et inondations", Grenoble (4-5/03/98).*
- HSURF-COM/SA 98 **BOIS Ph., 1998**
Analyses probabilistes en pluies extrêmes et débits. *Séminaire BRGM/LTHE "Eaux souterraines et inondations", Grenoble (4-5/03/98).*
- HSURF-COM/SA 98 **BOIS Ph., 1998**
Le phénomène extrême en hydraulique. *Séminaire du Groupe Interdisciplinaire de Recherche sur les Risques Naturels, Cemagref-Grenoble (mars 98).*
- HSURF-COM/SA 98 **DATIN R., 1998**
Propagation d'incertitudes dans une modélisation pluies-débits. Générateur de scénario pluvieux. *Séminaire BRGM/LTHE "Eaux souterraines et inondations", Grenoble (4-5/03/98).*
- HSURF-COM/SA 98 **DATIN R., Ch. OBLED, 1998**
Outils pour l'annonce des crues. *Séminaire à la Diren Orléans (10/03/1998)*
- HMET-COM/SA 98 **DELRIEU G., 1998**
Hydrométéorologie radar. *Séminaire BRGM/LTHE "Eaux souterraines et inondations", Grenoble (4-5/03/98).*
- HMET-COM/SA 98 **DEPRAETERE C., Th. LEBEL, 1998**
Le Projet CATCH au Bénin. *Séminaire LTHE, Grenoble (26/01/98).*
- TMP-COM/SA 98 **GAUDET J.P., 1998**
Ecoulements de solutés dans les sols. *Séminaire BRGM/LTHE "Eaux souterraines et inondations", Grenoble (4-5/03/98).*
- HZNS-COM/SA 98 **HAVERKAMP R., 1998**
Modélisation de la zone non saturée. *Séminaire BRGM/LTHE "Eaux souterraines et inondations", Grenoble (4-5/03/98).*

- TMP-COM/SA 98 **LAURENT J.P., 1998**
Météorologie de la zone non saturée. *Séminaire BRGM/LTHE "Eaux souterraines et inondations"*, Grenoble (4-5/03/98).
- HZNS-COM/SA 98 **LE HEGARAT S., C. FRANCOIS, 1998**
Estimation de l'état hydrique des surfaces continentales en utilisant des données satellitaires hyperfréquences ou infrarouge thermique : vers une approche multifréquence. *Séminaire LTHE, Grenoble (2/04/98)*.
- HZNS-COM/SA 98 **REGGIANI P., 1998**
A unified approach to the derivation of watershed-scale equations describing thermodynamic processes in a watershed. *Séminaire LTHE, Grenoble (12/02/98)*.
- HSURF-COM/SA 98 **SAULNIER G.M., 1998**
Modélisation hydrologique des bassins versants. *Séminaire BRGM/LTHE "Eaux souterraines et inondations"*, Grenoble (4-5/03/98).
- HMET-COM/SA 98 **SCHAYES G., H. GALLEE, O. BRASSEUR, A. DUTRIEUX, 1998**
Etude de la qualité de l'air au-dessus des grandes villes européennes. *Séminaire LTHE, Grenoble (27/03/98)*.
- HZNS-COM/SA 98 **TYLER S., 1998**
Détermination des flux d'eau dans le sol dans le Sud-Ouest des Etats-Unis dans les conditions climatiques présentes et anciennes. Impact sur l'enfouissement des déchets en régions arides. *Séminaire LTHE, Grenoble (8/01/98)*.
- HZNS-COM/SA 98 **VAUCLIN M., 1998**
Interactions biosphère continentale-atmosphère. *Séminaire BRGM/LTHE "Eaux souterraines et inondations"*, Grenoble (4-5/03/98).

THESES

1995

- HZNS-THE 95 **CARRILO-AVILA Eugénio, 3 Mars 1995.**
Modélisation des transferts hydriques dans le système sol-plante-atmosphère. Application à la Plaine de la Bièvre (Isère). *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I,*
- HMET-THE 95 **CROCHET Philippe, 23 Mars 1995.**
Une approche lagrangienne pour caractériser la variabilité spatiale des champs de pluie en milieu sahélien. Application à l'estimation des lames d'eau moyennes à partir d'une information binaire. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I,*
- HSURF-THE 95 **DE St. SEINE Jacques, 12 Avril 1995.**
Monographie hydrologique et hydraulique du Paillon de Nice en vue de la gestion du risque inondation. *Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.* (Thèse en collaboration entre le LTHE et le CETE Méditerranée).
- HZNS-THE 95 **GUINOT Vincent, 7 Juillet 1995.**
Modélisation mécaniste du devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement souterrain. Application à la protection des captages en aquifères. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble.* (Thèse en collaboration entre le LTHE et le LHF/Grenoble).

- HZNS-THE 95** **PEUGEOT Christophe**, 19 Octobre 1995.
Influence de l'encroûtement superficiel du sol sur le fonctionnement hydrologique d'un versant sahélien (Niger). Expérimentations in-situ et modélisation. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.* (Thèse en collaboration entre le LTHE et l'ORSTOM/Montpellier).
- HZNS-THE 95** **RUELLE Pierre**, 23 Mars 1995.
Variabilité spatiale à l'échelle de parcelles de cultures : étude expérimentale et modélisation des bilans hydriques et des rendements". *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.* (Thèse en collaboration entre le LTHE et le CEMAGREF/Montpellier).
- HMET-THE 95** **SALLES Christian**, 21 décembre 1995.
Analyse microphysique de la pluie au sol : mesures par spectro-pluviomètre optique et méthodes statistiques d'analyse spectrale et de simulation numérique. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.*
- HSURF-THE 95** **TAHA Ammar**, 12 Mai 1995.
Etude expérimentale et numérique de la contribution des eaux infiltrées à la formation des débits de crues en zone méditerranéenne. Application à un versant du Réal Collobrier. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.*
- HZNS-THE 95** **VANDERVAERE Jean-Pierre**, 9 Octobre 1995.
Caractérisation hydrodynamique du sol in-situ par infiltrométrie à disques. Analyse critique des régimes pseudo-permanents. Méthodes transitoires et cas des sols encroûtés. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.*
- TMP-THE 95** **XU Ke**, 24 Mars 1995.
Structures multiéchelles : modèles pour la description des matériaux poreux et l'estimation de leurs propriétés de transport. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.* (Thèse en collaboration entre le LTHE et le CSTB/Grenoble).

1996

- HMET-THE 96** **CAUDAL Sophie**, 22 Octobre 1996.
« Expérimentation Marseille 92-93 ». Mesure des précipitations en hydrologie urbaine à l'aide d'un radar bande X : le relief comme cible utile pour l'étalonnage et la correction d'atténuation, tests de cohérence des données issues des divers capteurs disponibles. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.*
- HZNS-THE 96** **NORMAND Béatrice**, 24 Octobre 1996.
Etude expérimentale et modélisation de devenir de l'azote dans le système sol-plante-atmosphère. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.*
- HSURF-THE 96** **LE MEILLOUR Françoise**, 12 janvier 1996.
Etude expérimentale et numérique de la contribution des eaux de surface et de subsurface à la formation des crues. Conséquences sur l'hydrogramme d'un bassin versant. Application au Real Collobrier. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.*
- HMET-THE 96** **SAIDI Samia**, 27 septembre 1996.
Cartographie des pluies extrêmes dans la région des Alpes Françaises en utilisant la topographie. *Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.*
- HSURF-THE 96** **SAULNIER Georges-Marie**, 15 Mars 1996.
Information pédologique spatialisée et traitements topographiques améliorés dans la modélisation hydrologique par TOPMODEL. *Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.*

HSURF-THE 96 **SCHOBER Anita**, 22 mars 1996.
Analyse de la variabilité des paramètres caractéristiques de l'hydrologie d'un bassin versant et modélisation des crues en présence de données hydrologiques succinctes. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.*

TMP-THE 96 **SCHOEN Robert**, 25 Octobre 1996.
Transferts de solutés dans un lysimètre en conditions contrôlées : expériences et simulations. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.*

1997

HMET-THE 97 **DOLCINE Leslie**, 3 avril 1997.
Prévision quantitative à très courte échéance de la pluie. Modèle global adapté à l'information radar. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.*
(Thèse en collaboration entre le LTHE et le LCPC/Nantes).

HZNS-THE 97 **FREISSINET Catherine**, 11 avril 1997.
Estimation des imprécisions dans la modélisation du devenir des produits phytosanitaires dans les sols : une méthode fondée sur la logique floue. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble.* (Thèse en collaboration entre le LTHE et le LHF/Grenoble).

HMET-THE 97 **GULBAUD Sophie**, 30 octobre 1997.
Prévision quantitative des précipitations journalières par une méthode statistico-dynamique de recherche d'analogues. Applications à des bassins du pourtour méditerranéen. *Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.*

HMET-THE 97 **LECOCQ Jean**, 4 Avril 1997.
Validation d'un radar météorologique bande C pour l'étude des précipitations sahéniennes. Problème de mesure et propriétés d'échantillonnage spatial. *Docteur de Université Montpellier 2 « Sciences et Technique du Languedoc »,* (Thèse préparée au LTHE (Equipe PRAO/Orstom).

HSURF-THE 97 **MOATAR Florentina**, 4 Décembre 1997.
Modélisations statistiques et déterministes des paramètres physico-chimiques utilisés en surveillance des eaux de rivières. Application à la validation des séries de mesures en continu (cas de la Loire moyenne). *Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.* (Thèse effectuée dans le cadre d'une convention entre EDF (Chaire Industrielle) et l'ENSHMG).

TMP-THE 97 **PEREIRA DOS SANTOS Luis**, 28 Novembre 1997.
Développement d'une nouvelle méthode de détermination des profils de teneur en eau dans les sols par inversion d'un signal TDR. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I.*

HSURF-THE 97 **VINE Pascal**, 17 décembre 1997.
Identification de l'hétérogénéité spatio-temporelle des comportements hydrologiques. Apports de la télédétection satellitaire". *Docteur de l'Institut national Polytechnique de Grenoble.* (Thèse en collaboration entre le LTHE et le CEMAGREF-ENGREF/Montpellier).

TMP-THE 97 **ZAKRI Tarik**, 10 Octobre 1997.
Contribution à l'étude des propriétés diélectriques de matériaux poreux en vue de l'estimation de leur teneur en eau : modèle de mélange et résultats expérimentaux. *Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.*

1998

- TMP-THE 98** **GABRIEL Uta**, 6 février 1998.
Transport réactif de l'uranyle : mode de fixation sur la silice et la goethite ; expériences en colonne et réacteur fermé ; simulations. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I* (Thèse en collaboration entre le LTHE et le LGIT/Grenoble)
- TMP-THE 98** **TSIMBROVKA Mariana**, 19 Février 1998.
Dégradation des bétons à hautes performances soumis à des températures élevées. Evolution de la perméabilité en liaison avec la microstructure. *Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I*, (Thèse en collaboration entre le LTHE et le CSTB/Grenoble)
- HMET-THE 98** **VIGNAL Bertrand**, 27 février 1998.
Application d'une méthode de résolution de problèmes inverses à la correction d'erreurs affectant la mesure de pluie par radar. Cas des profils verticaux de réflectivité et de l'atténuation. *Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble*. (Thèse en collaboration entre le LTHE et le LCPC/Nantes).

RAPPORTS OU EXTRAITS

CO : RAPPORT DE CONTRAT

1995

- TMP-RAP/CO 95** **ANGULO-JARAMILLO R., S. ROULIER, F. CHARPIN, J.P. GAUDET**, 1995
Etude expérimentale et numérique des transferts tridimensionnels (3D) d'eau et solutés en zone non-saturée. Rapport d'avancement n° 2 : Caractérisation hydrodynamique du sable C2 et du mélange C2+4% de kaolin. Contrat JRC-Ispra 10356-94-07 F2ED ISP F, Octobre 1995).
- TMP-RAP/CO 95** **ANGULO-JARAMILLO R., P. GERARD-MARCHANT, H. DENIS, M. VAUCLIN**, 1995
Caractérisation hydrodynamique de deux milieux poreux gonflants à faible perméabilité. Rapport n° 2 : essais de laboratoire à l'aide de la spectrométrie gamma double-sources ²⁴¹Am-¹³⁷Cs. Convention ADEME 47 40 113.
- TMP-RAP/CO 95** **ANGULO-JARAMILLO R., J.P. GAUDET**, 1995
Tranferts hydrodispersifs dans les couches superficielles de sols à porosité multimodale. Rapport final du programme DBT 2, 2ème partie. (Nov.1995).
- TMP-RAP/CO 95** **ANGULO-JARAMILLO R., P. GERARD-MARCHANT, J.P. GAUDET**, 1995
Phase n° 1 du développement du banc gamma double-sources de l'Institut de l'Environnement (JRC-Ispra). Rapport d'avancement Contrat 10356-94-07 F2 ED ISP F. (avril 95).
- HMET-RAP/CO 95** **CREUTIN J.D.**, 1995
Storms, floods and radar hydrology. Rapport final du contrat Prog. Env. UE n° EV5VC-CT02-0182.

- TMP-RAP/CO 95 **DAIAN J.F., 1995**
Self ventilation of buried cables. Rapport concernant lettre de commande de GTM-ENTREPOSE. Sept. 95.
- TMP-RAP/CO 95 **DAIAN J.F., 1995**
Rapport de mission effectuée dans le cadre d'une convention CNRS/CNPq "Développement de techniques de reconstitution pour l'estimation des propriétés de transport en milieux poreux" du 29/4 au 29/5/1995 au LMPT (UFSC Brésil).
- TMP-RAP/CO 95 **GAUDET J.P., 1995**
Rapport de mission effectuée à Kénitra (Maroc) du 14 au 19/11/95 dans le cadre de l'action intégrée 95/0844.
- HSURF-RAP/CO 95 **GRESILLON J.M., Ch. OBLED, 1995**
Environmental Program Desertification in mediterranean areas. Rapport final du contrat Prog. Env./UE DM2E n° EV5V CT 910039 (Fev. 95).
- HSURF-RAP/CO 95 **GRESILLON J.M., E. FLAVIGNY, 1995**
Rôle de l'infiltration directe dans le glissement de Léaz. Rapport activité, Contrat de Recherche Etat-Région Rhône Alpes.
- HZNS-RAP/CO 95 **HAVERKAMP R., 1995**
Determination of soils hydraulic parameters at field scale. Inverse and scaling procedures. Report as part of project A1 : "Runoff and solute processes in high water table areas ; measurement, modeling and management. Cooperative research Centre for Catchment Hydrology (CRCCH) at the Department of Civil Engineering, MONASH Univ., Melbourne, Australie.
- TMP-RAP/CO 95 **LAURENT J.P., 1995**
Rapport avancement sur « Programme franco-allemand de recherche pour la conservation des monuments historiques ». (Août 1995).
- TMP-RAP/CO 95 **LAURENT J.P., A. GAGNARD, 1995**
Rapport contrat GTM-Entrepose " Soil drying modelling " (Dec. 95).
- HZNS-RAP/CO 95 **VACHAUD G., 1995**
Evaluation of the effect of climatic variations on the recharge of aquifers in Southern European catchments. Rapport intermédiaire contrat ECRASE/Prog. Env. UE n° EV5V-0584 (Juillet 95).
- HZNS-RAP/CO 95 **SIMMONDS L., 1995**
Rapport d'activité du 23/4 au 5/10/95 (dans le cadre de sa bourse de haut niveau accordée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche).
- HZNS-RAP/CO 95 **VACHAUD G., 1995**
Annual progress report EUGREP/Prog. Env. UE "Aspects quantitatifs et qualitatifs des ressources en eaux souterraines".

1996

- TMP-RAP/CO 96 **ANGULO-JARAMILLO R., Ch. PEUGEOT, J.P. GAUDET, 1996**
Etude expérimentale et numérique des transferts tridimensionnels (3D) d'eau et solutés en zone non saturée. Rapport n° 3 : mise au point des dispositifs tensiométriques et TDR en vue de la caractérisation hydrodynamique de laboratoire. Rapport intermédiaire : Contrat JRC-Ispra 10356-94-07 F2ED ISP F. (Sept. 1996).

- TMP-RAP/CO 96** **ANGULO-JARAMILLO R., 1996**
 Lessivage à l'acide sulfurique de déchets miniers (« relaves ») dans des conditions de flux non saturés. Rapport de mission effectuée au Departamento de Ingenieria Hidraulica y Ambiental, Pontificia Universidad Catolica de Chile du 7 au 15 Novembre 1996 dans le cadre du Programme ECOS-CONICYT, Santiago de Chile, 21 p.
- HZNS-RAP/CO 96** **BRAUD I., A. CHANZY, 1996**
 Utilisation et assimilation des données de radiométrie micro-onde d'HAPEX-Sahel dans des modèles d'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR). Rapport de fin de contrat du Programme National de Télédétection Spatiale, 17 p.
- HMET-RAP/CO 96** **CAUDAL S., G. DELRIEU, J.D. CREUTIN, 1996**
 Expérimentation Marseille 96 : Rapport d'étude sur la mise au point et le test d'un protocole d'observation radar et campagne de mesure. Rapport d'étude Ville de Marseille, Service de l'Assainissement, 48 p.
- TMP-RAP/CO 96** **GAUDET J.P., 1996**
 Rapport de mission effectuée à Kénitra (Maroc) du 25/11 au 1/12/96 dans le cadre de l'action intégrée 95/0844.
- TMP-RAP/CO 96** **GERARD-MARCHANT P., 1996**
 Etude du transfert de l'eau en conditions non saturées dans un milieu à très faible perméabilité. Application aux argiles compactées. Rapport n° 3 : ADEME/CEA, Février 1996, 27 p.
- HMET-RAP/CO 96** **GUPTA V., 1996**
 Rapport d'activité pour la période du 15/09 au 15/12 1996 (Poste chercheur associé CNRS/SDU).
- HZNS-RAP/CO 96** **HAVERKAMP R., J.L. ARRUE, JP. VANDERVAERE, I. BRAUD, G. BOULET, J.P. LAURENT, A. TAHA, P. ROSS, R. ANGULO-JARAMILLO, 1996**
 Hydrological and thermal behaviour of the vadose zone in the area of Barrax and Tomelloso Spain : experimental study, analysis and modelling. Final integrated report EFEDA II Spain, Project UE n° EV5C-CT 92 00 90.
- TMP-RAP/CO 96** **LAURENT J.P., 1996**
 Simulation des transferts d'eau dans le tuffeau de la cathédrale de Tours. Rapport d'avancement « Programme Franco-Allemand de Recherche pour la conservation des monuments historiques », Septembre 96.
- HZNS-RAP/CO 96** **VACHAUD G., 1996**
 Observatoire Rhône-Alpes des pollutions diffuses agricoles de la Côte St. André (Plaine de la Bièvre, 38). Rapport d'avancement pour la période du 1/09/95 au 1/05/96 : GIP "HydrOsystemes"/Programme « Zones Ateliers ».
- HZNS-RAP/CO 96** **VACHAUD G., A. MOLLARD, 1996**
 Agriculture durable, protection du sol et des ressources en eaux souterraines de la plaine de la Bièvre. Rapport d'avancement au 30/10/96. CNRS Programme interdisciplinaire de recherche Environnement, Vie et Société/ SEAH, 14 p.
- HZNS-RAP/CO 96** **VACHAUD G., J. FEYEN, F. MORENO, P. LA BARBERA, N. YASSOGLU, 1996**
 Evaluation of the effect of climatic variations on the recharge of aquifers in southern european catchments. Rapport final ECRASE (Sept. 94-Sept. 96) : contrat UE n° EV5C-CT94-0484, 149 p.
- HZNS-RAP/CO 96** **VAUCLIN M., A. MOLLARD, 1996**
 Agriculture durable, protection du sol et des ressources en eaux souterraines de la Plaine de la Bièvre. Rapport d'avancement : XI Contrat Plan Etat-Région « Programme Environnement » (du 1/09/95 au 1/05/96), 18 p.

- HZNS-RAP/CO 96 **VAUCLIN M.**, 1996
Impact de l'irrigation aux eaux salées et usées sur les sols et les plantes en conditions semi-arides et arides (TUN/5/016-02-01). Rapport de mission à l'INGREF (Tunisie) du 15 au 22 Juin 96.
- 1997**
- TMP-RAP/CO 97 **ANGULO-JARAMILLO R., P. GERARD-MARCHANT**, 1997
Intercomparaison des méthodes de mesure de la perméabilité de milieux poreux peu perméables. Synthèse des rapports « essais de surface ». Rapport intermédiaire : Contrat ADEME-UJF n° 967036 Janvier 97, 19 p.
- TMP-RAP/CO 97 **ANGULO-JARAMILLO R., R.H. CUENCA**, 1997
Stratégie de représentation des caractéristiques hydrodynamiques des sols dans des modèles SVAT (**Sol-Végétation-AT**mosphère) : valorisation des données EFEDA, HAPEX-SAHEL et BOREAS. Rapport intermédiaire de la convention CNRS-NSF (Grenoble/Corvallis), avril 97, 19 p.
- TMP-RAP/CO 97 **ANGULO-JARAMILLO R.**, 1997
Intercomparaison des méthodes de mesure de la perméabilité de milieux poreux peu perméables. Synthèse des rapports « Essais de forage ». Rapport final : Contrat ADEME-UJF n° 9674036, Juin 97, 11 p.
- HZNS-RAP/CO 97 **BECQUER Th., C. DUWIG, I. DUBUS, E. BOURDON, W. NIGOT, V. VINCENT, B. BONZON**, 1997
Etude des risques de dégradation de la fertilité des sols et de pollution des lentilles d'eau douce. Note de synthèse de l'avenant 3. Nouméa : Orstom, Conv. Sci. Vie ; Agropedol. n° 43, Août 1997, 20 p.
- HMET-RAP/CO 97 **CAOUDAL S., J.D. CREUTIN, G. DELRIEU**, 1997
Expérimentation Marseille 96-97 : Test d'une méthode globale de prévision à très courte échéance des situations pluvieuses. Rapport d'étude Ville de Marseille, Service de l'Assainissement, 37 p.
- TMP-RAP/CO 97 **DAIAN J.F.**, 1997
Application d'un modèle multiéchelle à la diffusivité et à la perméabilité au gaz de pâtes de ciment et d'un béton. Rapport final de la Convention de Recherche avec le CEA/Saclay (DCC/DESD/SESD/LEMA), Oct. 97, 14 p.
- HZNS-RAP/CO 97 **DUWIG C., Th. BECQUER, E. BOURDON, W. NIGOTE, I. DUBUS, V. VINCENT**, 1997
Suivi hydro-chimique sous différents systèmes de culture à Maré : résultats de l'année 1996. Nouméa : Orstom, Conv. Sci. Vie ; Agropedol. n° 38, Juillet 97, 36 p.
- TMP-RAP/CO 97 **GERARD-MARCHANT P.**, 1997
Etude des transferts hydriques en conditions non saturées dans un milieu déformable à très faible perméabilité. Application aux cas des argiles compactées. Rapport d'avancement de thèse, Septembre 96-Janvier 97, LTHE et CEA/DAMRI/SAR/SAT, 81 p.
- HZNS-RAP/CO 97 **HAVERKAMP R., J.L. ARRUE, M. SOET**, 1997
Soil Physical properties within the root zone of the vine area of Tomelloso. Local and spatial point. Chap. 3 : Projet EFEDA II, Contrat UE EV5-CT 920090, 100 p.
- TMP-RAP/CO 97 **RITSEMA C.J. et al, O. WENDROTH et al., J.P. GAUDET et al., N. JARVIS et al.**, 1997.
Analysis and improvement of existing models of field scale solute transport through the vadose zone of different textured soils with special reference to preferential flow. Contribution au rapport final, contrat UE EV 5V-CT 94-0467.

- HMET-RAP/CO 97 **SALLES C., 1997**
Logiciel d'acquisition du spectro-pluviomètre optique. Rapport d'étude. Commande du LCPC n° 139729 d'octobre 96.
- HZNS-RAP/CO 97 **VAUCLIN M., 1997**
Gestion de l'eau et du sol pour accroître la productivité agricole de la Plaine de Kairouan. Rapport de mission AIEA en Tunisie du 7 au 21/09/97 (TUN/5/017-01-01).
- HZNS-RAP/CO 97 **VAUCLIN M., 1997**
Risques hydrologiques quantitatifs et qualitatifs. Rapport de mission au Chili du 28 oct. au 3 Nov. 97, dans le cadre des accords de coopération CNRS/CONICYT.
- HZNS-RAP/CO 97 **VAUCLIN M., A. MOLLARD, 1997**
Agriculture durable, protection du sol et des ressources en eaux souterraines. Une approche interdisciplinaire. Rapport final Programme Environnement, XI Contrat de Plan Etat-Région Rhône-Alpes, Dec. 97, 102 p + annexes.

1998

- TMP-RAP/CO 98 **ANGULO-JARAMILLO R., U. GABRIEL, J.P. GAUDET, L. CHARLET, 1998**
Transport, résidence et volatilisation du benzène, toluène, xylène (BTX). Rapport d'avancement de contrat, Gaz de France (Janvier 98).
- TMP-RAP/CO 98 **LAURENT J.P., 1998**
Rapport de mission à la Réunion du 21/01/ au 5/02/98 dans le cadre du projet PNRH "Optimisation de méthodes diélectriques pour l'hydrologie" et de MeDiTE.

RI : RAPPORT INTERNE

1995

- HZNS-RAP/RI 95 **BRAUD I., 1995**
Application of the SiSPAT model to four data sets of the 1991 EFEDA experiment for the intercomparison of surface schemes conducted in the framework of the modelling groupe Activity. Projet EFEDA, 18 p.
- HZNS-RAP/RI 95 **NORMAND B., R. SCHOEN, J.P. GAUDET, G. VACHAUD, 1995**
Principaux résultats et bilan des expérimentations sur les lysimètres de la Côte St. André. Etat d'avancement des travaux sur lysimètres.

1996

- TMP-RAP/RI 96 **CAMARA R., 1996**
Etude expérimentale de la conductivité thermique des matériaux en terre stabilisée (à base d'argile, de latérite et de termitière). Rapport de stage effectué dans le cadre de sa bourse d'excellence Aupelf-Uref (Nov. 95 à Août 96).
- TMP-RAP/RI 96 **PEUGEOT C., 1996**
Détermination des propriétés hydrodynamiques d'un sol de laboratoire. Mise au point d'un dispositif expérimental. Rapport de fin de séjour post-doctoral (Septembre 96).

HZNS-RAP/RI 96 **VANCLOOSTER M., B. NORMAND, G. VACHAUD, J. FEYEN, 1996**
Modeling Evaporation with the WAVE Model.
Katholiek Univ. Leuven, Belgique. Rapport Interne n° 44, Dec. 1995, 41 p.

1997

HMET-RAP/RI 97 **AMANI A., 1997**
Définition de protocoles d'échantillonnage pour le suivi des fluctuations pluviométriques au Sahel. Rapport effectué dans le cadre de la bourse doctorale (01-10-96-31/07/97) accordée par l'AUPEL-UREF.

1998

HZNS-RAP/RI 98 **BRAUD I., 1998**
Analysis of simplified infiltration tests and retrieval of soil hydrodynamic properties in the context of the Alpilles experiments, LTHE., note interne, Février 98, 10 p. + 161 p. d'annexes.

HZNS-RAP/RI 98 **BRAUD I., 1998**
Numerical discretisation of the version of the SiSpat model taking into account a mulch horizon, LTHE, note interne, février 98, 21 p.

RAPPORTS DEA

1995

HMET-RAP/DEA 95 **BENICHOU Hervé, 1995**
Utilisation d'un radar météorologique bande C pour la mesure des pluies au Sahel: étude d'un phénomène d'atténuation. *DEA MMGE, UJF-Grenoble I*, juin 95.

HSURF-RAP/DEA 95 **DATIN Rachel, 1995**
Sensibilité d'un modèle hydrologique (TOPMODEL) à la variabilité spatiale de l'épaisseur des sols et au traitement numérique de la topographie. Application au bassin des Maurets. *DEA MMGE, UJF-Grenoble I*, septembre 95.

HSURF-RAP/DEA 95 **DEVALLAND Jean-Baptiste, 1995**
Odeurs et désodorisation : étude de la biodésodorisation à la station de traitement des eaux usées d'Achères. *DEA MMGE, UJF-Grenoble I*, juillet 95.

HSURF-RAP/DEA 95 **GAUTHERON Alain, 1995**
Elaboration d'un modèle explicatif des flux de matières en suspension dans l'Isère à Grenoble. *DEA MMGE, UJF-Grenoble I*, septembre 95.

HMET-RAP/DEA 95 **KIEFFER Anne, 1995**
Etude des pluies de fréquences rares à faible pas de temps sur les Alpes françaises. *DEA MMGE, UJF-Grenoble I*, septembre 95

TMP-RAP/DEA 95 **MOLIE Arnaud, 1995**
Etude préliminaire à la caractérisation de la diffusion de sel dans le béton armé. *DEA MMGE, UJF-Grenoble I*, septembre 95

TMP-RAP/DEA 95 **PERSONNAZ Olivier, 1995**
Modélisation des transferts couplés de masse et de chaleur dans une roche. *DEA Tectonique, géochimie, géophysique, hydrologie (TGGH), Montpellier.* (DEA préparé au LTHE, Grenoble), Juin 95.

1997

- HMET-RAP/DEA 97 **LE COROLLER Hervé, 1997**
Etude de la variabilité interannuelle et intrasaisonnière des pluies en Afrique de l'Ouest à partir d'une classification d'années basée sur la température des océans. *DEA MMGE, UJF-Grenoble I, juin 97.*
- HZNS-RAP/DEA 97 **LE FLOCH Yann, 1997**
Identification des conditions initiales et des conditions aux limites dans un modèle hydrologique. *DEA de Mathématiques Appliquées, UJF-Grenoble I, juin 97.* (DEA préparé au LTHE Grenoble).
- TMP-RAP/DEA 97 **MADJUDY Nawal, 1997**
Etude de la diffusion du chlorure de sodium dans les mortiers et les pâtes de ciment. *DEA MFT, INP Grenoble, Sept. 97.*
- TMP-RAP/DEA 97 **PALLUD Céline 1997**
Comparaison de la distribution des nitrifiants et du devenir de l'ammonium dans un sol étudié avant et après percolation. *DEA "Ecosystème Continentaux Arides Méditerranéens et Montagnards," UJF-Grenoble. I, Sept. 97.*
- TMP-RAP/DEA 97 **PEAUDECERF Alix, 1997**
Etude de l'incertitude de détermination du coefficient de dispersion d'un transfert convectif-dispersif. *DEA MMGE, UJF-Grenoble I, Sept. 97.*
- TMP-RAP/DEA 97 **RAMBAUX Philippe. 1997**
.Porosimétrie au mercure, diffusion de solutés, perméabilité au gaz de ciments à saturation. Interprétation au moyen d'un modèle de structure poreuse. *DEA MFT, INP Grenoble, Sept. 97.*
- HZNS-RAP/DEA 97 **SAUBOUA Emmanuelle., 1997**
Modélisation des transferts hydriques et du devenir de l'azote dans les sols. Evaluation du modèle OPUS. *DEA MMGE, UJF-Grenoble I, Juin 97.*

RAPPORTS DE STAGE

1995

- HMET-RAP/ST 95 **ANTHOINE Emmanuel, 1995**
Développement d'une interface utilisateur permettant l'extraction des données radar suivant des formats de sortie prédéfinis. Rapport de stage de 2ème année, ENSIMAG, Grenoble, Juin 95.
- TMP-RAP/ST 95 **BERNARD David, 1995**
Conception d'une source de courant autonome sur batterie. Rapport de stage de 2ème année, IUT Génie Electrique, UJF-Grenoble I, Juin 95.
- TMP-RAP/ST 95 **BEZAL Jean-Rafaël, 1995**
Recherche de coefficients de transport en milieu poreux. Rapport de stage, Maîtrise de Mécanique, UJF Grenoble I, Juin 95.
- HZNS-RAP/ST 95 **BOZA Fabrice, 1995**
"HYDRONAP" : Manuel d'utilisation. Rapport de stage 1ère année ENSHMG, option Mécanique des Fluides.
- TMP-RAP/ST 95 **CHARPIN Florence, et ROULIER Stéphanie, 1995**
Comportement hydrodynamique de milieux poreux non saturés. Essais d'infiltration monodimensionnelle sous pression contrôlée. Rapport de stage, Maîtrise de Mécanique UJF Grenoble I, Juillet 95.

- TMP-RAP/DEA 95 **SALUEL Didier**, 1995
Mise en oeuvre d'une méthode de spectroscopie d'impédance utilisant des signaux de réflectométrie en vue de l'étude des propriétés diélectriques des milieux poreux. *DEA Signal, Image, Parole*, INP Grenoble, Septembre 95.
- HMET-RAP/DEA 95 **SAUQUET Eric**, 1995
Analyse statistique d'un modèle de désagrégation spatio-temporelle de la pluie adapté aux lignes de grains sahéennes. *DEA MMGE*, UJF-Grenoble I, Septembre 95.
- HSURF-RAP/DEA 95 **VERMUSE Sébastien**, 1995
Méthodologie de critique de données physico-chimiques aux abords des centrales nucléaires. *DEA MMGE*, UJF-Grenoble I, Septembre 95.
- HSURF-RAP/DEA 95 **ZAMMIT Christian**, 1995
Analyse des mouvements de nappe au voisinage des rivières à l'occasion des crues. Application au bassin versant des Maurêts. *DEA MMGE*, UJF-Grenoble I, Juin 95.

1996

- TMP-RAP/DEA 96 **ANICIC Sylvia**, 1996
Optimisation de la résolution numérique d'une équation de diffusion en volumes finis en géométrie 2D non régulière. *DEA de Mathématiques Appliquées*, UJF-Grenoble I, Juin 96. (DEA préparé au LTHE, Grenoble).
- HSURF-RAP/DEA 96 **DUROT Katia**, 1996
Critique et validation des mesures physico-chimiques aux abords des centrales nucléaires sur la Loire. Etude du pH. *DEA MMGE*, UJF-Grenoble I, Septembre 96
- HMET-RAP/DEA 96 **FOURCADE Benoit**, 1996
Etude de la forme des hyétogrammes des lignes de grains en région sahéenne. *DEA Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental*, Montpellier, Juin 96. (DEA préparé au LTHE, Grenoble),
- HSURF-RAP/DEA 96 **GONZALEZ SOSA Enrique**, 1996
Modélisation numérique du transport de sédiments dans un canal avec injection ou soutirage dans un tronçon particulier. *DEA MMGE*, UJF-Grenoble I, Septembre 96.
- HZNS-RAP/DEA 96 **JALBERT Marc**, 1996
Modélisation ruissellement-infiltration. Mise en place d'un code de calcul. *DEA MMGE*, UJF-Grenoble I, Septembre 96.
- HSURF-RAP/DEA 96 **JAVELLE Pierre**, 1996
Régime thermique d'un réservoir couvert de glace au Québec. *DEA MMGE*, UJF-Grenoble I, Septembre 96, (en collaboration avec Univ. Laval, Québec).
- TMP-RAP/DEA 96 **MARECHAL Amélie**, 1996
Transport colloïdal dans les sols. *DEA MMGE*, UJF-Grenoble I, Septembre 96
- HMET-RAP/DEA 96 **MARCOS Laurent**, 1996
Modélisation numérique de l'infiltration sous une chaussée à structure réservoir. *DEA MMGE*, UJF-Grenoble I, Septembre 96. (DEA préparé au LCPC Nantes).
- TMP-RAP/DEA 96 **ROULIER Stéphanie**, 1996
Contribution à l'étude de la caractérisation hydrodispersive des sols non saturés par infiltrométrie sous pression contrôlée. *DEA MMGE*, UJF-Grenoble I, Juin 96.

- TMP-RAP/ST 95 **CHARPIN Florence, ROULIER Stéphanie, 1995**
Caractérisation hydrodynamique du sable S31. Essais d'infiltration sous pression contrôlée, mono et tridimensionnelle. Rapport de stage, Maîtrise de Mécanique UJF-Grenoble I, Mai 95.
- HSURF-RAP/ST 95 **DATIN Rachel, 1995**
Prise en compte dans un modèle hydrologique (TOPMODEL) de la variabilité spatiale de l'épaisseur des sols superficiels. Rapport de stage de fin d'étude, ENSHMG, Grenoble Juin 95.
- TMP-RAP/ST 95 **DENEUVILLERS Sandrine, 1995**
Etude géochimique et hydrodynamique d'un matériau calcaire soumis à une infiltration d'eau. Rapport de stage de fin d'étude, Observatoire de Physique du Globe, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg,, Oct. 95.
- TMP-RAP/ST 95 **DUCHESNE Arnaud, 1995**
Tests d'une sonde capacitive pour la mesure de la teneur en eau. Rapport de stage de 2ème année, IUT Génie Electrique, UJF-Grenoble 1, Juin 95.
- HMET-RAP/ST 95 **DUPLAN Alain, et FARGIER Thierry, 1995**
Visualisation de l'écoulement de l'air autour d'un pluviomètre optique. Rapport de stage Maîtrise de Mécanique, UJF Grenoble I, juin 95.
- HMET-RAP/ST 95 **HUCKE, Lorenz, 1995**
Mesure des précipitations par radar météorologique en bande X : étude de sensibilité d'algorithmes de correction d'atténuation par simulation numérique. Mémoire de fin d'étude (Diplomarbeit) 62 p., UJF-Grenoble I/Université de Karlsruhe.
- TMP-RAP/ST 95 **HUGUET Xavier, 1995**
Etude et mise au point d'un dispositif de mesure en continu d'un niveau d'eau. Rapport de stage de fin d'études IUT Mesures Physiques, UJF-Grenoble I, Juin 95.
- HSURF-RAP/ST 95 **JAVELLE Pierre, 1995**
Modélisation progressive avec le modèle GR3 au fur et à mesure de l'introduction des données. Rapport de stage fin d'études, ENSHMG, INP Grenoble, Juin 95.
- HMET-RAP/ST 95 **KIEFFER Anne, 1995**
Etude des pluies de fréquences rares à faible pas de temps sur les Alpes Françaises. Rapport de stage de fin d'étude , ENSHMG, INP Grenoble, Juin 95.
- HSURF-RAP/ST 95 **MALHERBE Béatrice, 1995**
Caractérisation hydrodynamique des sols d'un bassin versant dénudé de végétation (bassin versant du Laval près de Draix). Rapport de stage, Maîtrise de Mécanique, UJF Grenoble I, Juillet 95.
- HMET-RAP/ST 95 **PINEY Patrice, 1995**
Mesure des précipitations à l'aide d'un radar météorologique bande X : test d'un algorithme de correction d'atténuation. Rapport de stage de fin d'études, ENSERG, INP Grenoble, Juin 95.
- TMP-RAP/ST 95 **SALUEL Didier, 1995**
Mise en oeuvre d'une méthode de spectroscopie d'impédance utilisant des signaux de réflectométrie en vue de l'étude des propriétés diélectriques de milieux poreux. Rapport de stage de fin d'études ENSPG, INP Grenoble, Juin 95.
- HMET-RAP/ST 95 **SAUQUET Eric, 1995**
Construction d'un modèle de désagrégation spatio-temporelle de la pluie appliquée aux lignes de grains sahéliennes. Rapport de stage de fin d'études, ENSHMG, INP Grenoble Juin 95.

TMP-RAP/ST 95 **TOUCHAIN Hélène, 1995**
Modélisation de l'apport solaire par temps clair sur une paroi de bâtiment. Rapport de stage de Recherche Appliquée en Mécanique, UJF-Grenoble I, Mai 95.

1996

HZNS-RAP/ST 96 **BALLAND Eric, 1996**
Estimation de la recharge de la nappe à grandes échelles avec utilisation d'un système d'information géographique. Rapport de stage de fin d'études, 3ème année ENSIMAG/INP Grenoble, Juin 96.

TMP-RAP/ST 96 **BERGERET Alix, 1996**
Réalisation d'une alimentation et d'un régulateur. Rapport de stage de fin d'études, IUT Génie Electrique/UJF-Grenoble I, Juin 96.
BERGERET A., Ph. MIEGE : Rapport de projet, IUT Génie Electrique/UJF Grenoble I

TMP-RAP/ST 96 **BIGILLON Françoise, 1996**
Détermination de la concentration en polluants (ions uranyles) dans l'eau du sol, à l'aide d'une méthode physique : la TRLIF (Time Resolved Laser Induced Fluorescence). Rapport de stage de Maîtrise de Physique/UJF-Grenoble I, Juin 96.

HMET-RAP/ST 96 **BOURDIOL Alexandre, 1996**
Banc de simulation radar. Rapport de stage 2ème année ENSERG/INP Grenoble, Septembre 96.

TMP-RAP/ST 96 **BRAS Christophe, WOJCIECHOWSI Joanna, 1996**
Etude expérimentale de la diffusion de sel dans le béton armé. Rapport de stage Maîtrise de Mécanique/UJF-Grenoble I, Juin 96

TMP-RAP/ST 96 **CAILLIAU Alexandre, 1996**
Mesure de la teneur en eau d'un milieu poreux. Utilisation d'une méthode capacitive. Rapport de stage de fin d'études, IUT Mesures Physiques/UJF-Grenoble I, Juin 96.

TMP-RAP/ST 96 **CHAUDAT Christophe, TOUSSAINT Guillaume, 1996**
Réalisation d'un système de mesure de la conductivité thermique des matériaux : le « FTCM ».
1. Rapport de projet IUT Génie Electrique/UJF-Grenoble I.
2. Rapport de stage de fin d'études IUT Génie Electrique/UJF-Grenoble I, Juin 96

TMP-RAP/ST 96 **DE OLIVEIRA Christophe, EL KHAFI Mohammed, 1996**
Montages à oscillateurs pour la mesure de la teneur en eau. Rapport de stage de fin d'études IUT-Génie Electrique/UJF-Grenoble I, Juin 96

HSURF-RAP/ST 96 **DUROT Katia, 1996**
Critiques et validation des mesures physico-chimiques aux abords des centrales nucléaires sur la Loire. Application au pH. Rapport de stage de fin d'études ENSHMG/INP Grenoble, Juin 96.

HZNS-RAP/ST 96 **FAUCHER Julie, 1996**
Hydrodynamique des sols non saturés : application à la détermination de bilans hydriques et à la caractérisation hydrodynamique des sols du site de la Côte St. André. Rapport de stage, Magistère Science de la Terre, 1ère année, ENS Lyon, Juin 96.

TMP-RAP/ST 96 **GINOUX Thomas, 1996**
Identification de paramètres de transferts décrits par des équations paraboliques non linéaires : numérisation, expérience-calcul et méthode des moments. Rapport de stage, Magistère Maths et Applications, 2ème Année/UJF Grenoble I, Juin 96.

- SURF-RAP/ST 96 **ZIN Isabella, 1996**
 Evaluation d'une fonction de transfert basée sur la géomorphologie du bassin versant. Etude de sensibilité sur différents bassins méditerranéens (Real Collobrier, Maurets, Valescure, Gardons). Rapport de stage ERASMUS (INP Grenoble/Institut Polytechnique de Milan).
- 1997**
- HMET-RAP/ST 97 **BAGHADI Amer, 1997**
 Bande de simulation radar. Rapport de stage, 2ème année ENSERG/INP Grenoble, Sept. 97
- HMET-RAP/ST 97 **BAUTISTA Gilles, 1997**
 Etude de l'impact de la répartition spatiale des précipitations sur la formation des débits de crue. Rapport de stage de fin d'études ENTPE Lyon, Juin 97.
- TMP-RAP/ST 97 **BLOMHAGEN T., 1997**
 Visual TDR : a software for TDR signals analysis. Rapport de stage, MastersThesis NTNU, Dec. 97.
- HSURF-RAP/ST 97 **BOUVIER-PATRON Eric, 1997**
 Adaptation et mise en oeuvre d'un générateur stochastique de pluie horaire sur un sous-bassin de l'Ardèche (Aulneyres). Rapport de stage DESS « Eaux souterraines, hydrogéologie physique et chimique », Géologie/UJF Grenoble I, Sept. 97.
- HMET-RAP/ST 97 **EL OUAZZANI Feddoul, 1997**
 Mesure des précipitations en région montagneuse à l'aide d'un radar météorologique. Rapport de stage de fin d'études, Ecole de la Météo, Toulouse, Juillet 97.
- TMP-RAP/ST 97 **GALLET Christophe, 1997**
 Etude expérimentale de la diffusion de sel dans le béton armé. Rapport de stage Maîtrise de Mécanique/UJF-Grenoble I, Juin 97.
- HMET-RAP/ST 97 **GUARDO Elena, 1997**
 Utilisation d'une balise réceptrice pour mesurer l'atténuation subie par un radar météorologique par temps de pluie. Rapport de stage de fin d'études, ENSERG/INP Grenoble, Juin 97.
- HSURF-RAP/ST 97 **HADROUF Amel, 1997**
 Collecte et mise en forme de données hydrologiques (pluies et débits) pour deux sous-bassins de l'Ardèche. Rapport de stage, 2ème année Cycle Préparatoire Polytechnique/INP Grenoble
- TMP-RAP/ST 97 **MOHAMADOU Abbo, 1997**
 Porosimétrie au mercure, diffusion de solutés, perméabilité au gaz de ciments à saturation. Interprétation au moyen d'un modèle de structure poreuse. Rapport de stage Maîtrise de Mécanique/UJF-Grenoble I, Juin 97.
- TMP-RAP/ST 97 **VIGNAL N., C. GIGLIO, 1997**
 Conception et réalisation d'une sonde capacitive. Rapport de fin d'études, IUT 1, Génie Electrique et Informatique, Option Electronique/UJF-Grenoble I, Juin 97.

- HZNS-RAP/ST 96 **HECKMANN Nicolas, 1996**
 Visualisation de la banque de données sols : GRIZZLY. Rapport de stage, ENSIEG/INP Grenoble; Juin 96.
- TMP-RAP/ST 96 **HEIDINGER Fabien, 1996**
 Optimisation de la simulation numérique des transferts d'eau et de chaleur dans les roches. Rapport de stage de fin d'études, ENSIMAG/INP Grenoble, Septembre 96
- HZNS-RAP/ST 96 **JALBERT Marc, 1996.**
 Modélisation, infiltration, ruissellement : mise en place d'un code de calcul. Rapport de stage de fin d'études ENSHMG/INP Grenoble, Juin 96.
- HMET-RAP/ST 96 **LE CORRE Mathieu, 1996**
 Utilisation d'un modèle agrégatif de la pluie pour quantifier l'erreur due uniquement à l'échantillonnage temporel du champ pluvieux. Rapport de stage de fin d'études, ENSHMG/INP Grenoble, Juin 96.
- HMET-RAP/ST **LENDRE Sandrine, 1996**
 Mesure des précipitations par radar météorologique : quantification des effets d'atténuation liés à la présence de pluie au site du radar à l'aide d'une balise réceptrice. Rapport de stage, 2ème année, ENSERG/INP Grenoble, Juin 96.
- TMP-RAP/ST 96 **MOREL Cécile, 1996**
 Caractéristiques hydrodynamiques d'un sable initialement non-saturé par la méthode de WIND améliorée. Rapport de stage, Maîtrise Sciences Physiques/UJF Grenoble I, Juin 96.
- TMP-RAP/ST 96 **MOREL Cécile, 1996**
 Mesure de l'hystérésis de la courbe de rétention d'eau d'un sol à l'aide de la TDR et de la tensiométrie. Rapport de stage, Maîtrise de Physique/UJF-Grenoble I, Juillet 96.
- TMP-RAP/ST 96 **MOREL Nathalie, C. MOREL, 1996**
 Infiltrométrie sous pression contrôlée : mesure intégrée du flux d'infiltration, de la teneur en eau et de la pression capillaire. Rapport de stage, Maîtrise des Sciences et Techniques, Pollutions et nuisances. Univ. de Pau/UFR Physique Grenoble, Septembre 96.
- TMP-RAP/ST 96 **NEVORET Lionel, 1996**
 Mesures de conductivités thermiques sur divers matériaux minéraux. Rapport de stage fin d'études, IUT Mesures Physiques/UJF- Grenoble I, Juin 96.
- HMET-RAP/ST 96 **PAYRASTRE Olivier, 1996**
 Utilisation du radar météorologique pour la prévision des crues : problème de la fiabilité des mesures radar. L'exemple du Gardon d'Anduze. Rapport de fin d'études ENTPE Lyon, Juin 96.
- TMP-RAP/ST 96 **PERRIER Thomas, 1996**
 Développement d'une bibliothèque de commande pour la carte d'acquisition de données RTD ADA 520. Application aux sondes à chocs thermiques. Rapport de stage Cycle Préparatoire Polytechnique, INP-Grenoble, Juin 96.
- HMET-RAP/ST 96 **POURAUD Thomas, 1996**
 Analyse de pluies extrêmes dans les Alpes. Rapport de stage, 1ère année ENSHMG/INP Grenoble, Septembre 96.
- TMP-RAP/ST 96 **SAADI Zakaria, 1996**
 Modélisation de l'infiltration d'eau et de soluté dans un sol non saturé stratifié. Rapport de stage dans le cadre de l'action intégrée franco-marocaine : 95/0844.

1997

- HMET-AUT 97** **CREUTIN J.D., 1997**
Réflexion prospective sur les besoins en recherche sur le thème de l'hydrologie à petites échelles et notamment en zones urbaines. Rapport « Hydrologie en milieu urbain » à la demande du Comité Scientifique du Programme de Recherche en Hydrologie de l'INSU/CNRS (rédigé avec l'aide de H. Andrieu, LCPC, et M. Desbordes, GBE), 59 p. + annexes.
- HMET-AUT 97** **LEBEL Thierry, 1997**
Variabilité des pluies au Sahel : Observation, estimation et modélisation. *Habilitation à Diriger des Recherches*, INP Grenoble, 5 Décembre 1997
- HSURF-AUT 97** **OBLED Ch., G. PERRIER, F. VALLA, 1997**
Rencontres Internationales Image & Science de Grenoble (7 au 10/10/97) Journée scolaire du 7/10/97 : Animateurs du thème « Séismes et volcans »
- HSURF-AUT/97** **OBLED Ch., O. GILARD, M. MEUNIER, 1997**
Rencontres Internationales Image & Science de Grenoble (7 au 10/10/97) Forum Grand public du 10/10/97 : Table ronde sur le thème « Inondations ».
- HMET-AUT 97** **TAUPIN J.D., J. ROBIN, 1997**
EPSAT-NIGER suivi long terme,. Rapport de campagne 1996, ORSTOM-DMN, 59 p + annexes.
- HZNS-AUT 97** **VACHAUD G., A. MOLLARD, 1997**
Le site-atelier de la Côte St. André : agriculture et ressources en eau. Lettres des programmes interdisciplinaires de recherche du CNRS, "Programme Environnement, Vie et Sociétés", n° 16, 26-29.
- HZNS-HMET-HSURF-AUT 97** **VAUCLIN M., 1997**
Service d'Observation Utilisé pour la Recherche en Hydrologie. Co-rédacteur du Projet SOURHY du GIP multiorganismes « HydrOsystèmes Continentaux ».
- HZNS-AUT 97** **VAUCLIN M., 1997**
Transporte de solutes en suelos. Cours dispensé dans le cadre du "XII Congreso Chileno De Ingeniera Sanitaria y Ambiental" , Copiapo/Chili) (27 -31/10/97), 27 p.
- HZNS-AUT 97** **VAUCLIN M., P. ACKERER, 1997**
Le Cycle Continental de l'Eau. Contribution au 30ème anniversaire de l'INSU : 53-56.

1998

- HMET-AUT 98** **ANDRIEU H., 1998**
Interpretation de la mesure radar météorologique pour l'hydrologie. Modélisation des bassins versants urbanisés. *Habilitation à Diriger des Recherches*, INP Grenoble, 12 Janvier 1998.
- TMP-AUT 98** **LAURENT J.P., 1998**
Structures of porosity and transfert properties in stone and glass.
European advanced study course "Sciences and Technologies of the materials and of the Environment for the protection of tained-glasses and stone monuments, Paris (Septembre 98).

AUTRES

1995

- HMET-AUT 95 **LEBEL T., J.D. TAUPIN, M. GREARD, 1995**
Rainfall monitoring : the EPSAT-Niger set-up and its use for Hapex-Sahel : dispositif de mesures au sol et premiers résultats. T. Lebel (Ed.), ORSTOM Ed., Paris, 31-68.
- HMET-AUT 95 **THIELEN J., J.D. CREUTIN, 1995**
Coupling of a meteorological and urban hydrological model.
Revue Panthari. Fiches Techware pour serveur WEB.
- HZNS-AUT 95 **WOUMENI R., 1995**
Polycopié de cours "Hydraulique souterraine", 2ème année, ENSHMG.

1996

- TMP-AUT 96 **ANGULO-JARAMILLO R., 1996**
Montage expérimental para el estudio del lavado de desechos mineros en condiciones de flujo no saturado. Nota tecnica. Programa ECOS-CONICYT, Departamento de Ingenieria Hidraulica y Ambiental, Pontifica Universidad Catolica de Chile, Santiago, 9 p.
- HMET-AUT 96 **GUPTA V.K., 1996**
Série de cours intitulée : Lectures on scale invariance and its applications in Hydrologic Science., LTHE Grenoble.
- HZNS-AUT 96 **HAVERKAMP R., M. HOFFMANN, K. RAJKAI, J.L. ARRUE, N. HECKMANN, 1996**
GRIZZLY Grenoble Soil catalogue. Soil Survey field data and description of particle size, soil water retention and hydraulic conductivity functions for more than 700 soils.
- HZNS-AUT 96 **LINDER W., J. NOILHAN, M. BERGER, K. BLUEMEL, E. BLYLH, G. BOULET, I.BRAUD, A. DOLMAN, F. FIEDLER, J. GRUNWALD, R. HARDING, B. Van den HURK, G. JAUBERT, A. MUELLER, M. OGINK, 1966**
Intercomparaison of surface schemes using EFEDA flux data. Note de travail, Groupe de Météorologie à Moyenne Echelle n° 39, Météo-France, CNRM, 1-42.
- HZNS-AUT 96 **ROULIER S., R. ANGULO-JARAMILLO, J.L. THONY, 1996**
Programme MUREX : caractérisation hydrodynamique du sol par infiltrométrie sous pression contrôlée. Campagne de mesures du 10 au 12/07/96.
- HMET-AUT 96 **TAUPIN J.D., C. LAROCHE, J. ROBIN, 1996**
EPSAT-Niger suivi long terme. Rapport de campagne 1995, ORSTOM-DMN, 59 p. + annexes.
- HZNS-AUT 96 **VACHAUD G., 1996**
A procedure to determine directly on the field the leaching of water and solutes below the root zone of crop. International Atomic Energy Agency, Joint FAO-IAEA Div. Co-ordinated Research program D1-40-07.
- HZNS-AUT 96 **WOUMENI R., 1996**
Polycopié de cours "Hydrodynamique en milieux poreux : Modélisation des transferts dans les sols", 3ème année, ENSHMG/INP Grenoble.

HZNS-COL 98

TYLER S., 1998

Co-convenor de la Session : HSA6-01 "Recent advances in tracers in vadose zone hydrology". XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98).

VAUCLIN M., 1998

Convenor de la Session : HSC1-01 : "The French National Programme in Hydrology". XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98)

STA : ORGANISATION DE STAGE, FORMATION...

HZNS-STA 96

VAUCLIN M., 1996

Transfert et transport en milieu insaturé. Ecole thématique du CNRS « Modélisation des transferts dans les systèmes hétérogènes », Ile d'Oléron (3-7/6/96).

TEC : METHODE, TECHNIQUE...

HSURF/HMET-TEC 95

BOIS Ph., Ch. OBLED, M.F. De SAINTIGNON, H. MAILLOUX, 1995.

1er édition : Atlas expérimental des risques de pluies intenses.

TMP-TEC 96

LAURENT J.P., 1996

Conductivimètre thermique de terrain (FTCM).

HSURF/HMET-TEC 97

BOIS Ph., Ch. OBLED, M.F. De SAINTIGNON, H. MAILLOUX, 1997.

2ème édition - Atlas expérimental des risques de pluies intenses. (Pôle Grenoblois d'études et de recherche pour la protection des Risques Naturels, mars 97), 30 p.

PRODUCTION

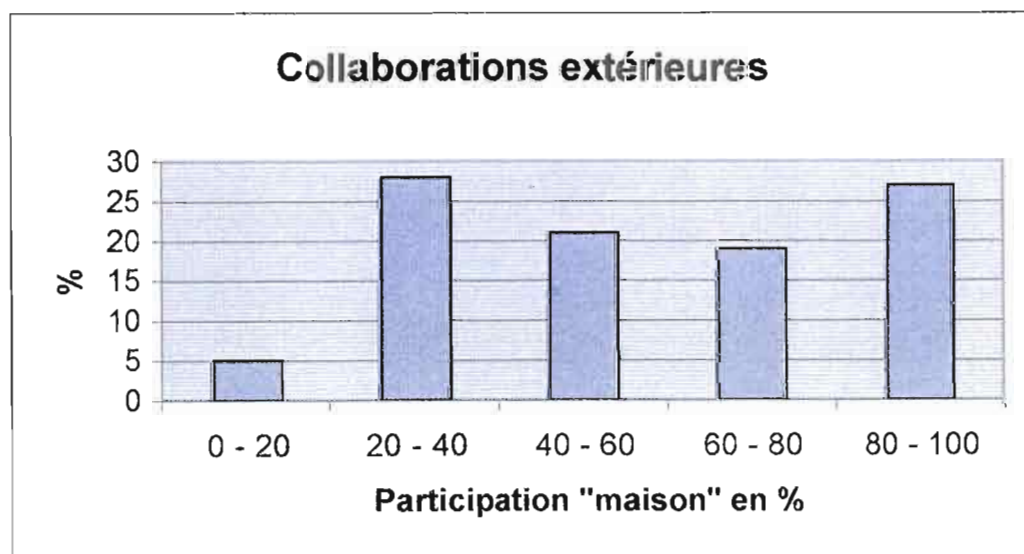
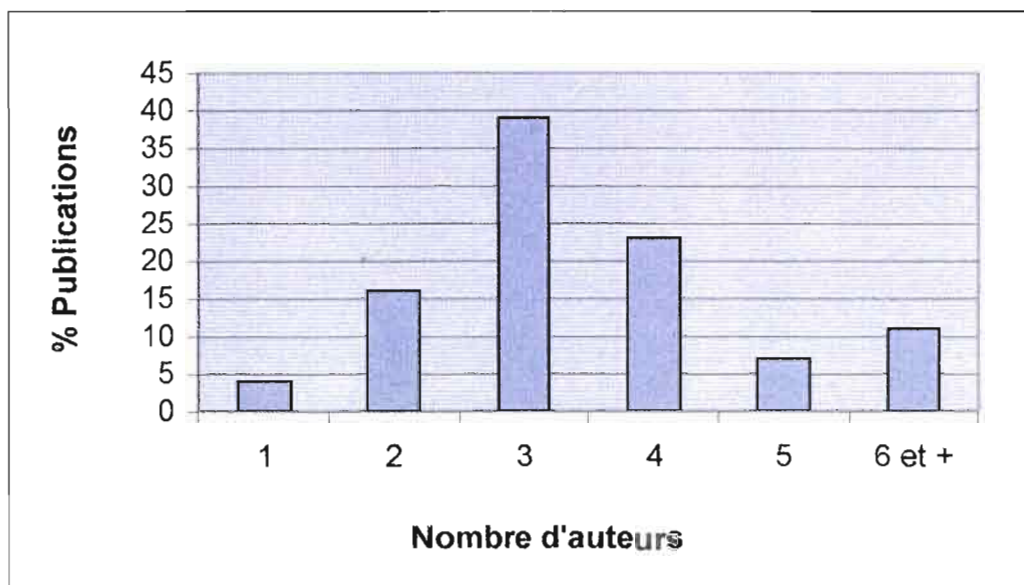
LOG : LOGICIELS

- HZNS-LOG 96 **BRAUD I., 1996**
SiSPAT user's manual, version 2.0.
- HSURF-LOG 96 **SAULNIER G.M., Ch. OBLED, 1996**
TOPSIMPL, Version 2.0.
- HSURF-LOG 97 **GRESILLON J.M., P. DAVIET, 1997**
STORHYX, Version 1.0
- HSURF-LOG 97 **SAULNIER G.M., 1997**
TOPSIMPL, Version 3.0

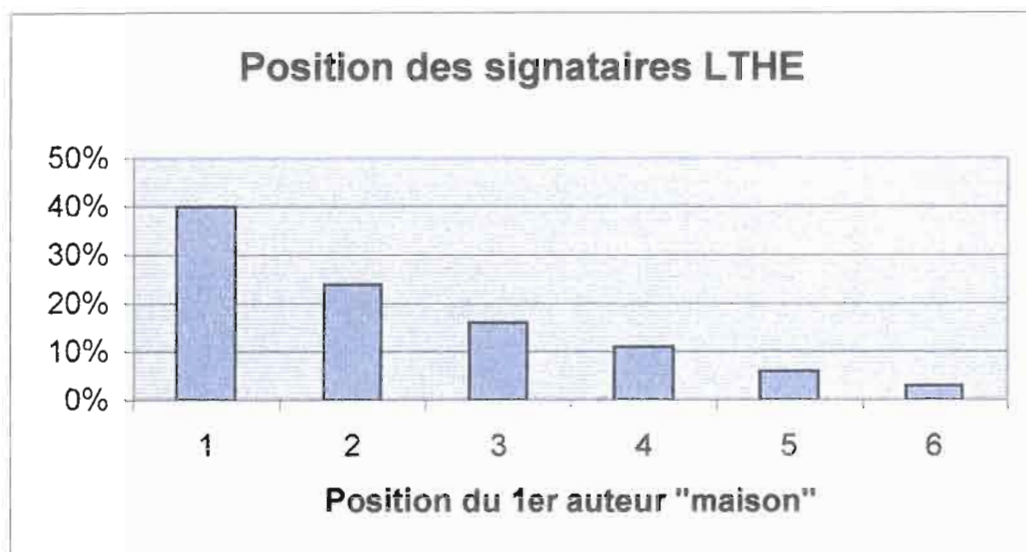
COL : ORGANISATION DE COLLOQUE, SEMINAIRE

- TMP-COL 95 **GAUDET J.P., J.P. LAURENT, 1995**
Séminaire du "Projet Milieux Poreux" du PRH-INSU, 16-17 mars, Grenoble.
- TMP-COL 95 **LAURENT J.P., J.P. GAUDET, 1995**
Séminaire du Projet "Géophysique" du PRH-INSU, 9 février, Grenoble.
- HZNS-COL 96 **VAUCLIN M., D. VIDAL MADJAR, 1996**
Eau, Hydrologie, Végétation. Colloque PIGB, Paris (13-15 mai 96).
- HZNS-COL96 **VAUCLIN M., 1996**
Comité Scientifique du Colloque International "Eau Souterraine en Région Agricole"/Poitiers (9-12 Septembre).
- COL 97 **FAUTRELLE Y., O. LANTZ, Ch. OBLED, J.D. CREUTIN,, S. BAZEAU, O BURGUIERE, 1997.**
Comité Scientifique EDF/ENSHMG des "Les Entretien sur l'Eau", Grenoble (10-11/12/97).
- HZNS-COL 97 **HAVERKAMP R., 1997**
Convenor de la session HS 5.1 "Estimation of transport parameters in unsaturated soils". XXII General Assembly of European Geophysical Society, Vienna (21-25/04/95).
- COL 98 **SAULNIER G.M. , M. VAUCLIN, 1998**
Séminaires BRGM/LTHE "Eaux souterraines et Inondations", Grenoble (4-5/03/1998).
- HSURF-COL 98 **BOIS Ph., 1998**
Co-convenor de la Session : NH2-03 "Flood hazards and flood risks : regional analysis of extremes. XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice (20-24/04/98).
- HMET-COL 98 **CREUTIN J.D., 1998**
An advanced study course on "radar hydrology for real time flood forecasting", Bristol/UK (24/06-3/07/98), (co-organisateur).

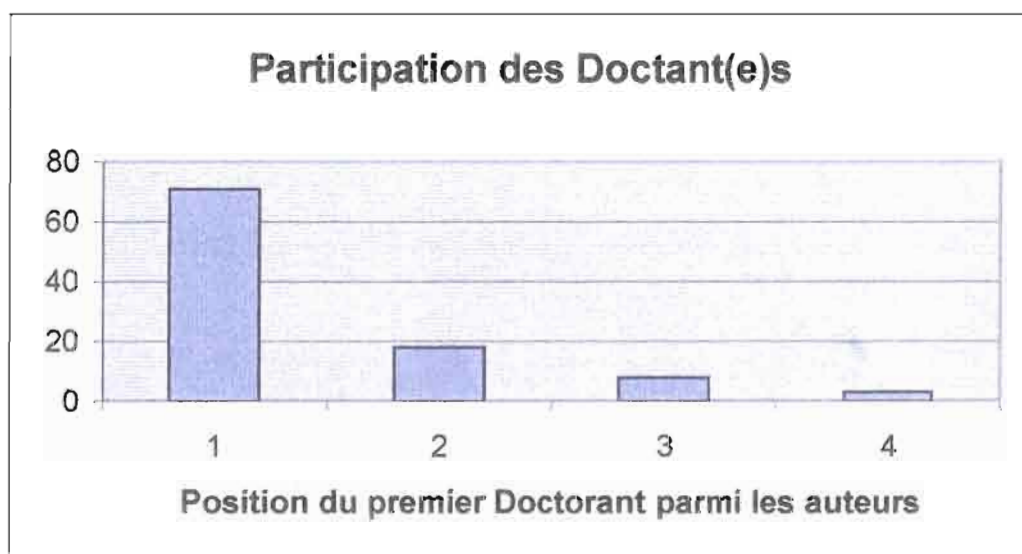
QUELQUES STATISTIQUES SUR LES PUBLICATIONS DANS LES REVUES A COMITE DE LECTURE



- > 24% des publications ne font intervenir aucun co-signataire extérieur au LTHE.
- > Par ordre décroissant, les participations prépondérantes sont 1/3, 1/2, 2/3.



- > 76% des publications font intervenir des co-signatures extérieures au LTHE (60% avec des étrangers).
- > Dans 40% des cas, le 1er auteur est issu du LTHE.



- > 49% des articles font intervenir des Doctant(e)s
- > qui signent en tête dans 71% des cas.