



**HAL**  
open science

## **Modélisation des transferts de masse et d'énergie dans le continuum sol-plante-atmosphère sur sol cultivé : expérience Alpilles**

Isabelle Braud, Andre Chanzy, Albert Olioso, J.C. Calvet, Dominique Courault, Jérôme Demarty, C. François, R. Haverkamp, Frédéric Jacob, L. Lewan, et al.

### ► To cite this version:

Isabelle Braud, Andre Chanzy, Albert Olioso, J.C. Calvet, Dominique Courault, et al.. Modélisation des transferts de masse et d'énergie dans le continuum sol-plante-atmosphère sur sol cultivé : expérience Alpilles. Colloque PNRH 2000, May 2000, Nice, France. hal-02771866

**HAL Id: hal-02771866**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02771866>**

Submitted on 4 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Modélisation des transferts de masse et d'énergie dans le continuum sol-plante-atmosphère sur sol cultivé : expérience Alpilles

Isabelle, BRAUD<sup>1</sup>, André, CHANZY<sup>2</sup>, Albert, OLIOSO<sup>3</sup>, Jean-Christophe CALVET<sup>4</sup>,  
Dominique, COURAULT<sup>3</sup>, Jérôme, DEMARTY<sup>5</sup>, Christophe, FRANCOIS<sup>5</sup>, Randel,  
HAVERKAMP<sup>1</sup>, Frédéric, JACOB<sup>3</sup>, Lisbet, LEWAN<sup>6</sup>, Laurent PREVOT<sup>3</sup>, Catherine, OTTLE<sup>5</sup>,  
Jean-Louis, THONY<sup>1</sup>, Jean-Pierre, WIGNERON<sup>3</sup>, Wenguang, ZHAO<sup>3</sup>

- 1- LTHE, BP 53, 38041 Grenoble Cédex 9
- 2- INRA, Unité de Science du Sol, 84914 Avignon Cédex 9
- 3- INRA, Unité de Bioclimatologie, 84914 Avignon Cédex 9
- 4-CNRM, Météo France, Avenue G. Coriolis, 31000 Toulouse
- 5- CETP, 10/12 Avenue de l'Europe, 78140 Vélizy
- 6- University Uppsala, Dept. Soil Sciences, Box 1074, S-750 07 Uppsala, Suède.

Mots-clés : Modélisation, Flux, Sol-Plante-Atmosphère, Assimilation, Télédétection

## I INTRODUCTION

L'étude des zones agricoles constitue un enjeu stratégique compte tenu des superficies concernées. C'est aussi un milieu soumis à une pression de l'activité humaine importante et dont les modalités de gestion peuvent varier au cours du temps. Il est donc important de pouvoir prévoir quelles seraient les répercussions à plus ou moins long terme de telle ou telle pratique dans la gestion du milieu. D'où la nécessité d'avoir des outils d'évaluation et de prévision des flux d'eau et d'énergie dans le continuum sol-plante-atmosphère. Par ailleurs, ce suivi doit être possible pour **de larges surfaces** et de façon **quasi-permanente dans le temps** car les parcelles agricoles sont des systèmes dynamiques, dont l'évolution s'effectue à des échelles de temps très différentes selon les variables considérées: des plus lentes comme les variables de biomasse aux plus rapides comme les flux échangés avec l'atmosphère. L'assimilation des données de télédétection dans des modèles de transfert Sol-Végétation-Atmosphère (TSVA) constitue une voie importante pour répondre à cet enjeu. L'expérience Alpilles-ReSeDA (Prévot et al. 1998, Olioso, et al., 1998, Baret, 1999) avait pour objectif de tester les méthodes d'inversion des données de télédétection et leur assimilation dans les TSVA et les modèles de culture (<http://www/synoptics.nl>). Dans cette expérience, le projet financé par le PNRH couvrait les objectifs suivants :

- mise en oeuvre, validation et comparaison des modèle TSVA ;
- assimilation des données de Télédétection dans la mise en oeuvre des TSVA ;
- passage de l'échelle parcellaire à l'échelle de la petite région.

## II DONNEES ACQUISES SUR LE SITE ALPILLES

Une expérimentation lourde a donc été mise sur pied sur une zone agricole se trouvant au nord du massif des Alpilles. La zone d'étude est une plaine des parcelles de taille suffisante pour collecter les données nécessaires aux études décrites ci-dessus. Des mesures au sol, aéroportées et satellitaires ont été recueillies.

1. Mesures au sol: A l'échelle de la parcelle, trois types de culture ont été plus particulièrement étudiés : blé, tournesol et luzerne. Le suivi a été réalisé sur l'ensemble du cycle cultural et parfois pendant la période d'inter culture. Nous avons ainsi pu suivre des parcelles avec différents niveaux de recouvrement. Les mesures au sol avaient pour objectif de fournir des données de référence pour: i) la mise en oeuvre, le calage et la validation des modèles TSVA (Transfert Sol-Végétation-Atmosphère), ii) mettre au point et tester les procédures d'inversion des observations de télédétection, iii) recueillir des données permettant de tester des approches d'extension spatiale et de changement d'échelle.

Pour chacune des cultures étudiées, on a instrumenté de façon complète une parcelle de référence destinée à la mise au point et au calage éventuel des différents modèles TSVA (parcelles de calibration) et, de façon moins détaillée, une ou deux parcelles de test, destinée à leur validation (parcelles de validation). Ainsi nous avons réalisé un suivi des flux de surface, du bilan hydrique et des paramètres géophysiques ayant une influence sur les mesures de télédétection. Ces dernières mesures ont été également conduites sur un troisième type de parcelles (parcelles de télédétection) qui comprenaient des parcelles de prairie et de maïs en plus des cultures précédentes.

Une station de mesures météorologiques était installée au centre de la zone d'étude afin de fournir les informations climatiques qui seront disponibles en routine pour alimenter les différents modèles TSVA.

2. Mesures aéroportées: Elles permettent d'acquérir conjointement et à pas de temps régulier des mesures couvrant les différents domaines spectraux (du visible aux hyperfréquences), à l'échelle des parcelles agricoles. Trois instruments ont été mis en œuvre au cours de campagnes mensuelles (bimensuelles à certaines périodes importantes du cycle de la végétation) : le polarimètre multi-incidence Polder, opérant dans le domaine visible - proche IR, la caméra IR thermique multi-incidence Inframetrics et le diffusomètre multi-incidence Erasme en bandes C et X. Lors des périodes intensives, d'autres capteurs ont été utilisés (MAIS, DAIS, radiomètre hyperfréquence et le diffusomètre polarimétrique RENE fonctionnant en bande S, Radiomètre micro-onde).

3. Mesures satellitaires: Les images des différents satellites survolant le site ont été acquises (NOAA-AVHRR, ATSR2, Radarsat, ERS, TM, SPOT).

4. Bilan sur les Mesures : Les années 1998 et 1999 ont été essentiellement consacrées à la mise en forme des mesures. Un travail minutieux de vérification des résultats a été entrepris pour n'alimenter la base de données qu'avec des données validées. Un bref bilan de la campagne expérimentale fait ressortir les points suivants.

- Sept parcelles (3 parcelles de blés, 3 parcelles de tournesol et 1 parcelle de luzerne) ont été instrumentées pour les flux de surface et les profils de teneur en eau et de température dans le sol. Les périodes d'acquisition des mesures ont varié de 1 à 8 mois selon les parcelles et ont permis de suivre l'essentiel du développement de la végétation jusqu'à la récolte.

- L'année de mesure a été marquée par une période particulièrement sèche de Février à Avril inclus. Les cultures d'hiver ont donc subi un stress hydrique qui a pénalisé le rendement de certaines cultures. Cette période sèche a considérablement perturbé les semis de tournesol. Nous avons ainsi constaté des manques à la levée importants, ce qui a engendré une forte variabilité intra-parcellaire. La multiplicité des parcelles à suivre ne nous a pas permis d'adapter l'échantillonnage à cette variabilité inattendue.

- Le sol argileux sur la zone d'étude et le temps sec ont conduit à une forte fissuration du sol.

- Les mesures dans le sol sont satisfaisantes. Conséquence de la longue période de sécheresse, la profondeur d'enracinement maximale a malheureusement dépassé les niveaux de mesure les plus profonds (1m40). Il n'est donc pas possible de réaliser des bilans hydriques sur la luzerne et sur les cultures annuelles en fin de cycle.

- Le bilan des mesures atmosphériques est mitigé. La station météorologique a fonctionné correctement sur l'ensemble de la période, donnant accès à une description des conditions climatiques robustes (validation par comparaison avec plusieurs stations météorologiques proches). La mesure de flux de chaleur dans le sol et les mesures radiatives sont satisfaisantes. Par contre les mesures du flux de chaleur latente et de chaleur sensible n'ont pas toujours atteint la qualité de mesure escomptée.

- Les données de télédétection satellitaires sont satisfaisantes et les traitements terminés.

- La plupart des données de télédétection aéroportées sont maintenant traitées.

Les données sont rassemblées et documentées dans une base de données disponible sur un serveur ftp de l'INRA d'Avignon.

### III MISE EN ŒUVRE ET INTERCOMPARAISON DES MODELES TSVA

#### 1. Une approche sous forme de scénarios :

Plusieurs scénarios ont été définis pour la mise en œuvre et l'intercomparaison des modèles, ce qui devrait permettre de juger plus complètement des potentialités, de la robustesse et de l'apport des différents modèles, selon les objectifs fixés:

- scénario 1: on se propose de faire tourner l'ensemble des modèles, sans calibration, en les alimentant avec l'ensemble des valeurs mesurées, ce qui permettra de voir les modèles les mieux adaptés à la reproduction des caractéristiques du jeu de données ;
- scénario 2: utilisation de données de la littérature ou des fonctions de pédo-transfert pour le sol, ce qui permettra de voir si ces approches sont pertinentes et applicables de manière "universelle" pour un site sur lequel on n'aurait pas de mesure ;
- scénario 3: calibration des modèles sur les parcelles de calibration, puis application aux parcelles de validation, ce qui permettra de tester la robustesse des calibrations. Compte tenu de la disponibilité des flux, ce scénario ne pourra être mis en œuvre que sur les parcelles de blé.

Pour travailler sur une base commune nous avons établi deux documents de référence pour la mise en œuvre des modèles selon les scénarios 1 et 2 (Braud et Chanzy, 1999, Olioso, 1999 documents disponibles dans la base de données).

#### 2. Les modèles TSVA : Les modèles suivants ont été considérés :

- ISBA (Noilhan et Planton, 1989)
- MAGRET (Courault et al., 1996)
- SiSPAT (Braud et al., 1995). Une version couplée au modèle SAIL et n'utilisant qu'un horizon de sol est aussi mise en œuvre au CETP
- SOIL (Janssen, 1998) dans le cadre du séjour longue durée de L. Lewan au LTHE.
- TEC : Transfert eau et chaleur (Chanzy et Bruckler, 1993) sur sol nu

#### 3. Résultats

La plupart des simulations avec les modèles TSVA sont maintenant terminées pour les scénarios 1 et 2. Les résultats obtenus sur la parcelle de blé (parcelle de calibration) sont donnés dans le Tableau 1 ci-dessous.

Modèle	Variable	Scénario 1		Scénario 2	
		$\sigma_{res}$ (W/m <sup>2</sup> )	Nash	$\sigma_{res}$ (W/m <sup>2</sup> )	Nash
SISPAT	G	50	0.32	88	-1.18
	Rn	41	0.95	58	0.68
	LE	32	0.90	45	0.95
	H	29	0.80	47	0.50
ISBA	G	38	0.26	37	0.30
	Rn	36	0.97	37	0.96
	LE	44	0.82	43	0.82
	H	43	0.58	42	0.59
SOIL	G	52	-0.39		
	Rn	49	0.94		
	LE	48	0.78		
	H	23	0.87		
MAGRET	G	24	0.71	20	0.80
	Rn	42	0.95	44	0.95
	LE	61	0.64	36	0.88
	H	42	0.60	32	0.77

Tableau 1 : Comparaison entre les résultats des modèles TSVA et les mesures de flux recueillies sur la parcelle de blé calibration (écart-type résiduel sur l'ensemble des données et critère de Nash).



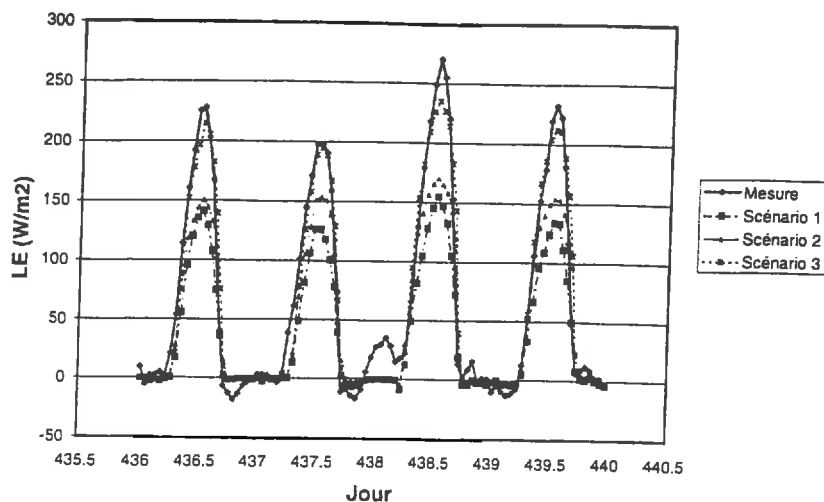


Figure 1 : Comparaison modèle-expérience pour des différents scénarios avec SISPAT sur la parcelle Blé Calibration

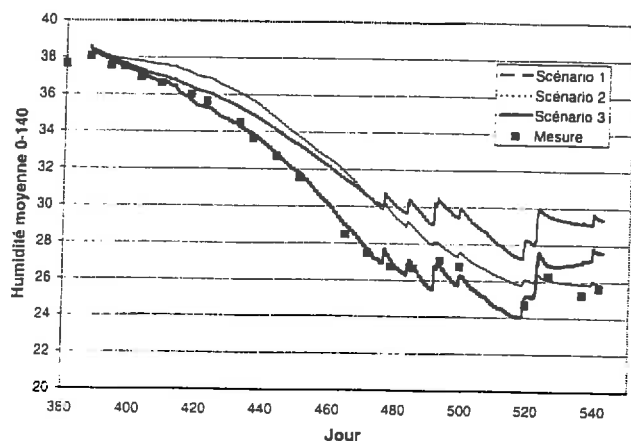


Figure 2 : Comparaison modèle-expérience pour des différents scénarios avec SISPAT sur la parcelle Blé Calibration

Les résultats donnés dans le tableau 1 seraient longs à commenter. Il ressort néanmoins que les meilleurs résultats sont obtenus avec le Scénario 1 de SISPAT qui est le modèle le plus physique. Toutefois les différences entre les modèles ne sont pas très significatives. Les écarts entre les scénarios 1 et 2 sont surtout marqués dans le cas du modèle SISPAT qui contient une description physique des transferts dans le sol. Pour les modèles plus simplifiés (ISBA et MAGRET) la logique de scénario n'a pas nécessairement la même signification que pour les deux autres modèles. En effet les paramètres de transfert dans le sol ne sont pas réellement caractérisés pour le scénario 1. Les scénarios 1 et 2 deviennent peu différents. Les Figures 1 et 2 montrent la comparaison des trois scénarios simulés avec le modèle SISPAT. Le calage du modèle (scénario 3) apporte une amélioration significative des résultats à la fois sur le stock

d'eau contenu dans le sol et le flux de chaleur latente. Ce calage a nécessité un ajustement de la conductivité hydraulique, de la conductivité thermique (divisée par 2), de la résistance totale de la plante et de la densité racinaire maximale. L'étude de l'assimilation de données de télédétection dans ce type de modèle devra bien faire ressortir les informations a priori qu'il faudra détenir sur le système sol-plante et leur précision.

#### IV INTEGRATION DES DONNEES DE TELEDETECTION POUR LA MISE EN ŒUVRE DES TSVA ET L'ESTIMATION DES FLUX.

##### 1. Assimilation des données de Télédétection dans les modèles TSVA:

Deux démarches sont envisagées. Dans la première, nous envisageons de coupler le modèle SiSPAT au modèle SAIL (transfert radiatif dans le domaine solaire et thermique) et, dans le domaine des hyperfréquences, à un module de transfert radiatif et de diffusion. L'utilisation d'un filtre de Kalman étendu pour l'assimilation de données radar ERS a été testée à l'aide d'un modèle hydrologique simple (François et al. 1999). La méthodologie sera adaptée au modèle SISPAT-RS pour l'assimilation des données Alpilles.

La seconde démarche repose sur le couplage entre le modèle ISBA et des modèles de transfert radiatif dans les domaines solaire, thermique et micro-ondes. Ils n'ont pour l'instant été testés que sur des jeux de données plus anciens (soja et blé à Avignon). Les résultats montrent que la couche de surface de sol considérée est trop fine (quelques millimètres) pour représenter correctement l'humidité observable par télédétection micro-onde qui couvre une couche de sol de plusieurs centimètres. Une nouvelle représentation des échanges entre couches et de l'évaporation est en

cours. Pour l'évaporation, on a introduit une résistance de surface que l'on cherche à caractériser en fonction de l'humidité de surface. Pour prendre en compte les cycles climatiques diurnes et annuels, nous avons du introduire l'évaporation cumulée dans la journée comme nouvelle variable explicative (Chanzy 1999).

## 2. Assimilation et spatialisation des flux dans le modèle SEBAL (Jacob, 1999)

Le modèle de Bilan d'énergie SEBAL a été conçu pour ne s'appuyer que sur des images de télédétection. En supposant que le site observé présente simultanément des zones totalement sèches et humides, il utilise les propriétés de ces dernières pour estimer variables non directement accessibles par télédétection telles que la température de l'air et la vitesse du vent. Nous avons vérifié sur les données expérimentales la validité de l'hypothèse de base sur laquelle s'appuie SEBAL, i.e. la corrélation spatiale entre la température de surface et l'albédo. De même, nous avons constaté que les deux points originaux du modèle, à savoir la détermination de la vitesse du vent et la température de l'air donnaient des estimations réalistes. Enfin, la validité des flux estimés par le modèle SEBAL n'a pas pu être établie de manière définitive du fait du manque de données dont nous étions sûrs.

## V CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'expérience Alpilles et le traitement des données ont été des opérations lourdes qui ont mobilisé une grande partie du temps consacré au projet. Nous avons maintenant une base de données complète et une évaluation objective sur la qualité des mesures. Le travail d'intercomparaison des TSVA est fructueux et a permis d'améliorer la robustesse de certains modèles. Cette tâche sera menée à terme dans les prochains mois. Les travaux sur l'assimilation constituent un axe de recherche conséquent. Ils mobiliseront les différents partenaires concernés au cours de ces prochaines années.

## VI REFERENCES

- BRAUD, I., A.C. DANTAS-ANTONINO, M. VAUCLIN, J.L. THONY, et P. RUELLE, 1995. A Simple Soil-Plant-Atmosphere Transfer model (SiSPAT): development and field verification. *J. Hydrol.*, 166: 213-250.
- CHANZY A. et L. BRUCKLER, 1993. Significance of soil surface moisture with respect to daily bare soil evaporation. *Water Resour. Res.* 29 (4); pp 1113-1125.
- COURAULT, D., J.P. LAGOUARDE, et B. ALAOUI, 1996. Evaporation for maritime catchment combining meteorological model with vegetation information and airborne surface temperature. *Agr. For. Meteorol.*, 82: 93-117.
- FRANCOIS, C., A., QUESNEY, et C. OTTLE, 1999. Assimilation séquentielle d'observations SAR/ERS dans un modèle de bilan hydrique couplé à un modèle hydrologique: Application d'un filtre de Kalman étendu, Atelier de Modélisation de l'Atmosphère 1999, Toulouse, 30/11-02/12/99, 195-198.
- JANSSEN, P.E., 1998. Simulating model for soil water and heat conditions. Description of the SOIL Model. Tech. Rep., Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. Sverige.
- NOILHAN, J. et S. PLANTON, 1989. A simple parameterization of land surface processes for meteorological models, *Mon. Wea. Rev.* 117: 536. 549.

Dans le cadre du projet (Une session d'une journée sera consacré au programme au congrès de l'EGS 2000 à Nice).

- BRAUD I. et A. CHANZY, 1999. Soil properties. initial and boundary conditions for use within SVAT models in the framework of the intercomparison, Alpilles-ReSeDA data base, 40 pp.
- CHANZY, A., 1999. Soil evaporation : a new parameterization of the soil resistance based on soil surface measurements. European Geophysical Society XXIV general assembly, The Hague (Pays bas) 1999/04/19-23. Geophysical Research Abstracts, 1(2). 301.
- JACOB, F., 1999. Utilisation de l'infrarouge thermique à haute résolution spatiale pour l'estimation des flux d'énergie à l'échelle de la parcelle agricole, thèse Université Paul Sabatier, 227pp.
- PREVOT L. et al., 1998. Assimilation of multi-sensor and multi-temporal remote sensing data to monitor vegetation and soil : the Alpilles-ReSeDA project, IGARSS'98 International Geoscience and Remote Sensing Symposium; Sensing and managing the environment, IEEE:Piscataway (USA), 1998/07/06-10, Seattle (USA),
- OLIOSO A., 1999. Intercomparison of SVAT models (Second Note), 1999/10/07 meeting of the ReSeDA SVAT group. Alpilles-ReSeDA data base. 7 pp.
- OLIOSO, A. et al, 1998. Spatial aspects in the Alpilles-ReSeDA project, Canadian Symposium on Scaling and Modeling in Remote Sensing, Montréal, 19-21/03/98, 9 pp.



57 50 / - 11050

INSU

BRGM

CEMAGREF

CIRAD

GNES

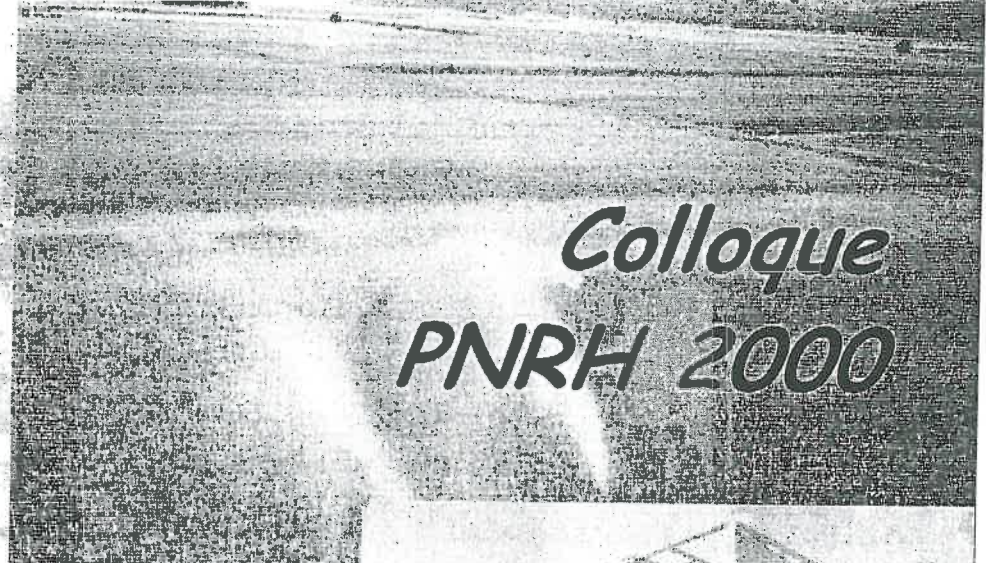
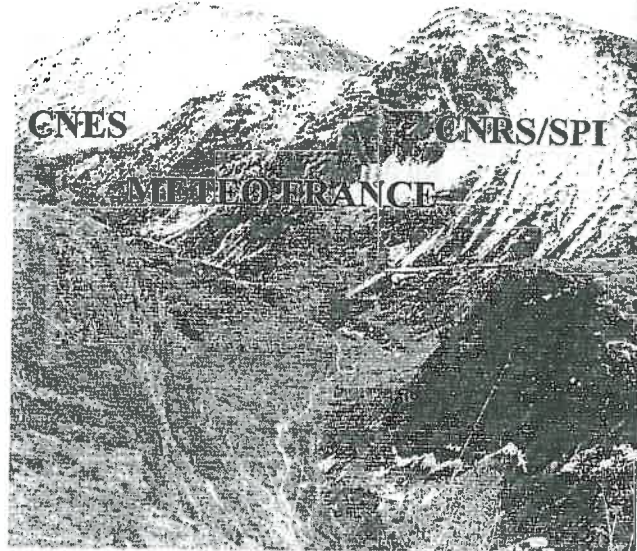
CNRS/SPI

INRA

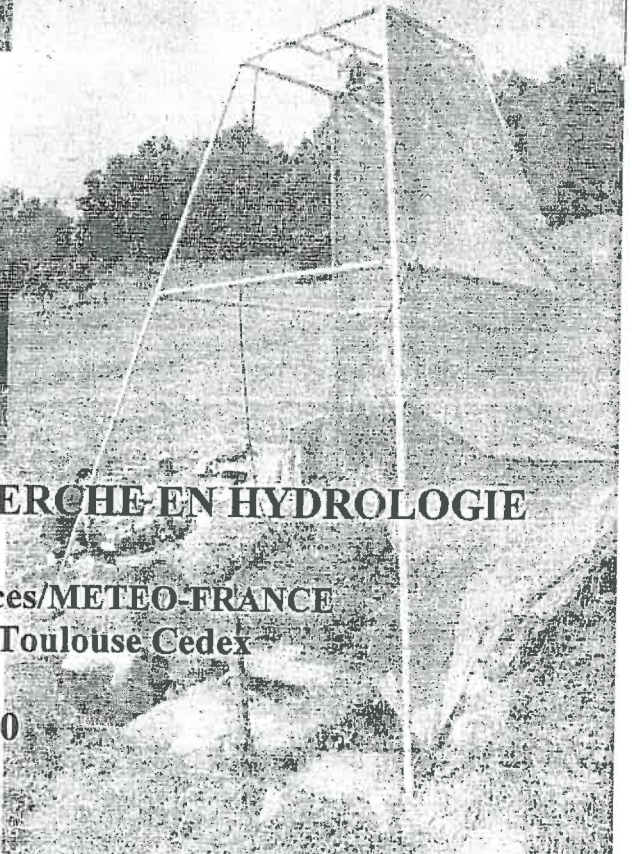
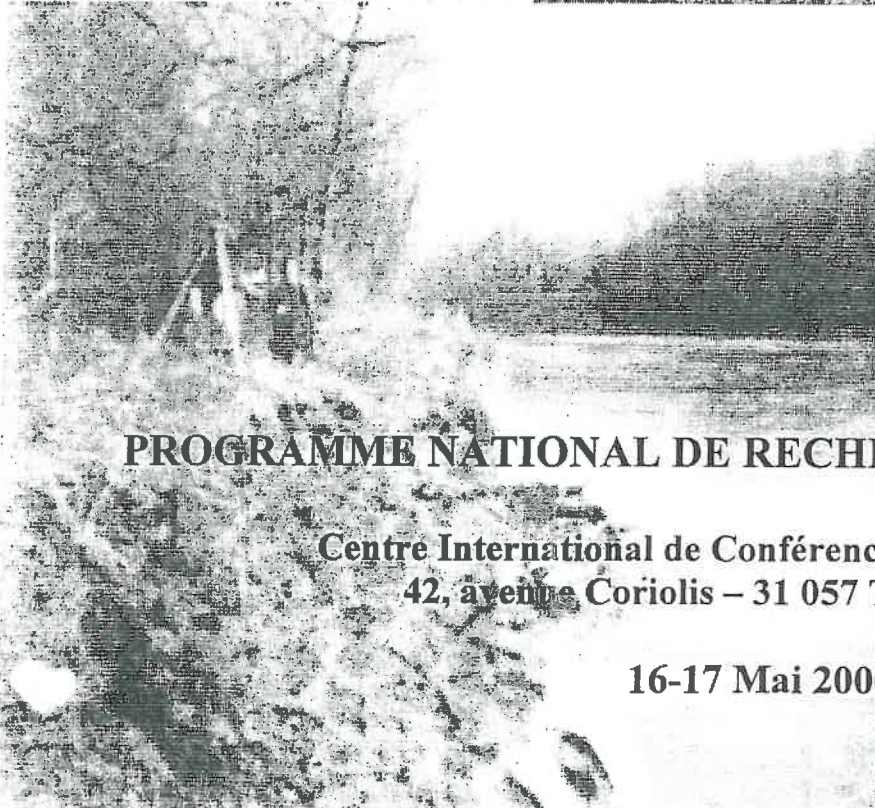
IRD

LCPC

METEO-FRANCE



*Colloque  
PNRH 2000*



**PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE EN HYDROLOGIE**

Centre International de Conférences/METEO-FRANCE  
42, avenue Coriolis - 31 057 Toulouse Cedex

16-17 Mai 2000