

***RECHERCHES sur l'EVALUATION***  
***des RESSOURCES en EAU***  
***et des RISQUES ASSOCIES***

---

**Convention Ministère de l'Environnement / CEMAGREF**  
**(SRETIE 90207)**

Bilan d'exécution 2ème année

**Subvention DRAEI 92135 - Rapport final**

**Responsable scientifique : L.A. LECLERC**

**Juillet 1993**



**DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DES AFFAIRES  
ECONOMIQUES ET INTERNATIONALES**

**DEPARTEMENT GESTION DES MILIEUX AQUATIQUES**

Division Biologie des Ecosystèmes Aquatiques - Lyon  
Division Hydrologie Hydraulique - Lyon  
Division Hydrologie - Antony  
Division Ouvrages hydrauliques et équipements  
pour l'irrigation - Aix en Provence

**GROUPEMENT DE LYON**



CENTRE NATIONAL  
DU MACHINISME AGRICOLE  
DU GENIE RURAL  
DES EAUX ET DES FORETS



DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DES AFFAIRES  
ECONOMIQUES ET INTERNATIONALES

***RECHERCHES sur l'EVALUATION***  
***des RESSOURCES en EAU***  
***et des RISQUES ASSOCIES***

---

**Convention Ministère de l'Environnement / CEMAGREF**

**(SRETIE 90207)**

Bilan d'exécution 2ème année

**Subvention DRAEI 92135 - Rapport final**

**Responsable scientifique : L.A. LECLERC**

**Juillet 1993**

**DEPARTEMENT GESTION DES MILIEUX AQUATIQUES**

Division Hydrologie Hydraulique - Lyon  
Division Hydrologie - Antony  
Division Ouvrages hydrauliques et équipements  
pour l'irrigation - Aix en Provence

**DIVISION BIOLOGIE  
DES ECOSYSTEMES AQUATIQUES**

**GROUPEMENT DE LYON**  
3 bis, quai Chauveau  
CP 220  
69336 Lyon Cedex 09  
Tél. 72 20 87 87  
Fax 78 47 78 75

**Titre :** Recherches sur l'évaluation des ressources en eau et des risques associés.

**Title :**

**Auteurs :** BREIL P., DEGOUTTE, GARRIC J., LAFONT M., LEVIANDIER T., MAKHLOUF Z., MARIDET L., MICHEL C., PAQUIER A., SOUCHON Y., WASSON J.G.

**Résumé :** Le présent rapport résume les résultats acquis par le Cemagref dans les années 1992-1993 dans le cadre de deuxième annuité de la convention générale Ministère de l'Environnement - CEMAGREF. Les travaux ont porté sur trois domaines :

- Recherche de descripteurs de fonctionnement en vue d'une typologie des écosystèmes d'eau courante, notamment : cadre conceptuel et méthodologique ; approche par hydro-écorégions ; descripteurs de la variabilité des régimes hydrologiques ; modélisation de l'habitat des poissons ; invertébrés et facteurs trophiques.

- Bioindicateurs de la qualité globale des milieux aquatiques, notamment : relations entre la faune des sédiments (mollusques, oligochètes) et la contamination des eaux courantes, des lacs, et des eaux interstitielles ; utilisation de l'activité enzymatique P450 dépendante EROD pour diagnostiquer les pollutions toxiques.

- Modélisation hydrologique et hydraulique, notamment : modélisation de l'humidité du sol ; modèles hydrologiques régionaux à large validité d'échelle spatiale ; simulation de la propagation d'une onde de rupture de barrage.

**Mots Clés :** Eaux courantes, typologie, écologie, régionalisation, habitat aquatique, bioindicateurs, écotoxicologie, mollusques, oligochètes, EROD, modèles hydrologiques, rupture de barrage.

**Abstract :**

CONTRAT	PROGRAMME DE RECHERCHE	DATE	DIFFUSION
Deuxième annuité Convention DRAIE 93135 - Rapport final -		Juillet 1993	tous publics <input checked="" type="checkbox"/> interne <input type="checkbox"/> confidentielle <input type="checkbox"/>

<b>Sommaire</b>
-----------------

Avant-Propos .....	5
Résumé général .....	6
<b>I - Recherche de descripteurs de fonctionnement en vue d'une typologie des écosystèmes d'eau courante.</b>	
Résumé .....	7
1° Méthodologie .....	8
Le cadre conceptuel .....	8
L'approche typologique.....	9
2° Résultats et perspectives.....	10
Le Bassin versant .....	10
L'Hydrologie.....	11
La morphologie.....	12
Le milieu aquatique.....	12
3° Publications. ....	14
<b>II - Recherche de descripteurs de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante et des perturbations anthropiques subies par ces milieux.</b>	
Résumé .....	17
1° Recherche sur la diagnose écologique des cours d'eau.....	18
1.1. Approfondissement de notre connaissance des situations de référence par type de milieu et de bassin hydrographique .....	18
1.2. Relations entre les invertébrés et la physico-chimie des eaux et des sédiments.....	18
1.3. Améliorations aux indices et diagnoses existants.....	19
2° Caractérisation des conditions de l'induction enzymatique.....	20
3° Couplage d'une diagnose écologique avec la mesure de l'induction enzymatique .....	20
4° Etablissement de relations de cause à effet au sein des écosystèmes	21

5° Liste des travaux soumis ou publiés se rapportant aux thèmes détaillés .....	22
<b>III - Recherches connexes en modélisation hydrologique et hydraulique</b>	
Résumé .....	25
1° Humidité du sol .....	26
1.a) Données au sol et modélisation .....	26
1.b) Recherches sur l'intégration des données issues de la télédétection .....	26
2° Modélisation régionale à large validité d'échelle spatiale.....	26
3° Modélisation de la propagation d'une onde de rupture de barrages	27
4° Publications .....	29
<b>IV - Méthodologie des investigations techniques sur la sécurité des barrages en service .....</b>	
	31

## AVANT PROPOS

Au cours de l'année 1990, les discussions menées entre le SRETIE et le CEMAGREF ont fait apparaître l'intérêt d'une collaboration sur plusieurs thèmes de recherche concernant les ressources en eau et les risques associés. Cette collaboration et les thèmes correspondant ont été précisés dans une convention cadre signée entre le Ministre de l'Environnement et le Directeur du CEMAGREF le 10 juillet 1990. A l'issue du bilan de la première année, certaines réorientations thématiques ont été retenues (janvier 1992).

La présente note fait état des principaux résultats 1992, et des perspectives pour 1993.

## Résumé général

Le présent rapport résume les résultats acquis par le Cemagref dans les années 1992-1993 dans le cadre de deuxième annuité de la convention générale Ministère de l'Environnement - CEMAGREF. Les travaux ont porté sur trois domaines :

- Recherche de descripteurs de fonctionnement en vue d'une typologie des écosystèmes d'eau courante, notamment : cadre conceptuel et méthodologique ; approche par hydro-écorégions ; descripteurs de la variabilité des régimes hydrologiques ; modélisation de l'habitat des poissons ; invertébrés et facteurs trophiques.
- Bioindicateurs de la qualité globale des milieux aquatiques, notamment : relations entre la faune des sédiments (mollusques, oligochètes) et la contamination des eaux courantes, des lacs, et des eaux interstitielles ; utilisation de l'activité enzymatique P450 dépendante EROD pour diagnostiquer les pollutions toxiques.
- Modélisation hydrologique et hydraulique, notamment : modélisation de l'humidité du sol ; modèles hydrologiques régionaux à large validité d'échelle spatiale ; simulation de la propagation d'une onde de rupture de barrage.

### Mots Clés :

Eaux courantes, typologie, écologie, régionalisation, habitat aquatique, bioindicateurs, écotoxicologie, mollusques, oligochètes, EROD, modèles hydrologiques, rupture de barrage.

## I - Recherche de descripteurs de fonctionnement en vue d'une typologie des écosystèmes d'eau courante

J.G. WASSON, P. BREIL, L. MARIDET, Y. SOUCHON

### Résumé :

Une typologie fonctionnelle régionalisée des écosystèmes d'eau courante semble possible à partir d'une approche hiérarchisée des facteurs de contrôle à l'échelle du bassin versant, fournissant le cadre d'une approche déterministe à l'échelle des organismes aquatiques. De nouveaux paramètres hydrologiques, descripteurs de la variabilité fréquente et peu fréquente des débits ont été élaborés et seront testés à l'échelle régionale. A l'échelle des organismes aquatiques, des relations déterministes apparaissent entre la structure physique de l'habitat (écoulement, substrat) et les peuplements de poissons et d'invertébrés. La simulation de l'habitat piscicole disponible en fonction du débit à partir du couplage d'un modèle hydraulique et d'un modèle biologique traduisant le préférendum d'habitat des poissons aboutit à un logiciel transférable à court terme. Cet outil est utilisé pour interpréter les réponses biologiques face à des événements hydrologiques extrêmes (crues, éclusées hydroélectriques).



## 1°/- METHODOLOGIE

La plupart des typologies de cours d'eau sont bâties à partir de corrélations statistiques entre des paramètres de milieu faciles d'accès et des peuplements. Autrement dit, la classification se fait à partir de la réponse d'un groupe d'organismes (poissons, invertébrés, végétaux), et non sur les facteurs de causalité. La dimension longitudinale constituant généralement le facteur discriminant, on aboutit à des zonations dont la validité diminue à mesure que l'on s'éloigne de leur région d'origine. L'approche proposée ici part du principe qu'il est plus pertinent, en vue d'une typologie, de classer des causes que des conséquences, et donc de rechercher les facteurs de contrôle du fonctionnement des écosystèmes plutôt qu'un état résultant vu à travers le filtre d'un peuplement biologique. Ces facteurs de contrôle dépendent en premier lieu des caractéristiques naturelles du bassin versant, et sont secondairement influencés par les activités humaines.

### **Le cadre conceptuel**

Le terme d'"écosystème d'eau courante" est défini comme "un tronçon morphologiquement homogène de cours d'eau, dans son lit majeur et sous la dépendance de son bassin versant". Il s'agit d'une définition pragmatique qui, sans nier l'évidence d'une continuité et d'une interdépendance des tronçons, s'appuie sur une réalité objective et permet de délimiter les objets de la typologie. Dans une approche fonctionnelle, il est indispensable d'intégrer les quatre dimensions de l'écosystème. Longitudinalement, les limites sont à rechercher au niveau des discontinuités physiques majeures, telles qu'un changement de type de vallée ou de numéro d'ordre. Transversalement, les frontières sont celles du lit majeur ou du peuplement végétal significativement influencé par les oscillations de la nappe alluviale. La couche de sédiments mobilisable donne la dimension verticale, difficile à apprécier mais très importante en terme de fonctionnement. La dimension temporelle enfin, imposée par le régime hydrologique à travers les rythmes saisonniers et les événements rares, est essentielle pour la compréhension de l'écologie de ces milieux par nature fluctuants.

La recherche des descripteurs pertinents est optimisée au moyen d'un modèle conceptuel de l'écosystème qui définit des interactions entre différents compartiment (figure 1). Un compartiment est une entité à la fois physique et conceptuelle, ayant une réalité en terme de fonctionnement écologique, caractérisé par des échelles propres d'espace et de temps et une dynamique d'interactions avec d'autres compartiments. C'est aussi une discipline scientifique (donc des spécialistes...), et un domaine d'impact ou d'action dans un processus d'anthropisation.

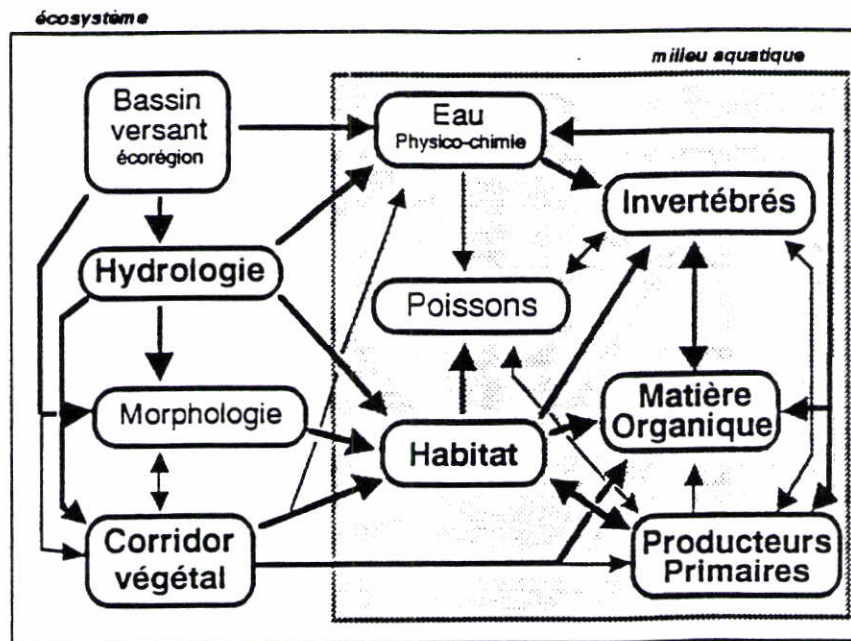


Figure 1 : Modèle conceptuel de l'écosystème d'eau courante

Le point important dans cette approche est qu'elle rajoute au dessus du milieu aquatique proprement dit une couche de "compartiments de contrôle" qui contiennent en fait les facteurs déterminant du fonctionnement du milieu aquatique. Il ressort de la hiérarchie des interactions entre ces compartiments que les trois plus importants sont respectivement **le bassin versant** (en terme d'écorégion et de dimension), puis **le régime hydrologique** qui régit la dynamique temporelle du système, et **la morphologie** qui détermine la structure spatiale et la connectivité des éléments. **La végétation rivulaire**, pour importante qu'elle soit dans le fonctionnement du milieu aquatique proprement dit, est déjà une variable biologique de réponse, mais qui pourra être intégrée comme facteur de contrôle avec des descripteurs appropriés.

En résumé, si l'on décrit correctement ces quatre compartiments, on aura quantifié les principaux déterminants du fonctionnement.

### L'approche typologique

Ces compartiments de contrôle, parce qu'ils sont en quelque sorte "externes" au milieu aquatique, sont abordables par des techniques géographiques. Ils peuvent, au moins pour les trois premiers, être régionalisés et cartographiés à partir de données existantes.

Un découpage en hydro-écorégions basées sur la géologie et le climat, complété par une caractérisation de la variabilité des régimes hydrologiques et par une sectorisation régionalisée à partir des types de vallées et de la dimension des cours d'eau, constitue ainsi la première étape d'une approche typologique.

Evidemment, cette classification demandera à être confirmée dans une phase ultérieure par des données recueillies dans le milieu aquatique, pour valider l'hypothèse que les différents types de cours d'eau identifiés correspondent à des fonctionnements écologiques distincts. Ceci devra se faire à l'aide de paramètres relativement simples. La sélection de ces descripteurs pertinents est au centre de la problématique de recherche évoquée ici.

## **2°/- RESULTATS ET PERSPECTIVES**

Nous résumons ci-dessous l'état de la recherche pour les différents compartiments abordés dans ce programme ; on notera cependant que le travail sur le bassin versant est financé dans le cadre d'une autre convention. Les chiffres entre parenthèses renvoient aux documents cités au 3°/.

Cette approche globale avait été testée en Bolivie, dans la région de La Paz où les situations naturellement très contrastées et exemptes d'altérations humaines se prêtaient bien à la validation des méthodes. la première publication concernant ce travail est parue cette année (4).

### **Le Bassin versant**

Si l'on considère que la végétation intègre la géologie, le climat, les sols et elle-même, on conçoit qu'une carte des régions écologiques ayant pour base les formations végétales constitue déjà un bon outil de départ. Une telle carte existe en France (Dupias & Rey, 1980). Cependant, pour arriver à des écorégions ayant une signification pour les cours d'eau, nous parlerons d'Hydro-écorégions, il faut réinterpréter cette carte en fonction des paramètres comme la nature des roches, la perméabilité des sols, de la nature du couvert végétal, etc... à partir de données existantes, cartes ou images interprétées. L'hypothèse de base est que des bassins inclus dans une même hydro-écorégion auront la même gamme de types fonctionnels de cours d'eau. A ce premier niveau de classification, il faut expliciter toute l'information véhiculée par la variable qualitative "hydro-écorégion".

On considère que les facteurs de contrôle primaires sont la géologie et le climat qui déterminent (historiquement et actuellement), le relief, la géomorphologie, la nature des sols, la couverture végétale, et donc l'hydrologie, la morphologie, la physico-chimie de l'eau.

Cette approche est en cours sur le bassin de la Loire, dans le cadre d'une autre convention avec le Ministère de l'Environnement (DE/SDMAP - Convention DPN 91/236 du 11/11/91), avec l'objectif de définir le référentiel scientifique nécessaire à la mise en oeuvre de la loi sur l'eau. La méthodologie est directement inspirée par la réflexion menée également à la demande du Ministère sur une approche de gestion écologique intégrée ; cette réflexion a fait l'objet d'un rapport (12) et d'une publication (5). Le CEMAGREF est associé avec le CRENAM de Saint-Etienne (Laboratoire de Géographie Rhodanienne, URA CNRS 260) pour toute la caractérisation du milieu naturel et du cadre socio-économique à l'échelle du bassin. Un SIG permettant cette approche macroscopique est réalisée par le CRENAM. Le CEMAGREF apporte la réflexion méthodologique pour la recherche des descripteurs pertinents à cette échelle. Cette méthodologie a fait l'objet de trois rapports d'étape et d'un rapport de stage non diffusés (13, 14, 15, 18) et d'une présentation sous forme de poster au colloque de Besançon (11). Cette étude se poursuit en 1993 et des publications et présentations à des colloques sont déjà programmées.

## L'Hydrologie

C'est le compartiment clé pour exprimer la variabilité temporelle du milieu aquatique. Il intègre l'ensemble des processus impliqués dans la genèse des débits, notamment les relations avec les nappes alluviales.

L'hydrologie est généralement décrite par les hydrologues en termes de flux d'eau et de matières, en vue de certains usages (ressources en eau, inondations...) ou de bilans globaux. Cette information, indispensable dans un premier temps pour la définition des hydro-écorégions, est en fait peu pertinente en terme de fonctionnement écologique. Il faut donc une relecture des chroniques hydrologiques pour quantifier :

- la variabilité saisonnière et interannuelle des conditions moyennes ;
- l'intensité (par rapport aux conditions médianes), la durée et la régularité des événements structurants pour les écosystèmes : les crues fréquentes et les étiages. Les crues rares ou exceptionnelles qui interviennent plus en terme de structuration morphologique seront considérées ultérieurement.

Cette approche initiée par un DEA en 1991 a fait l'objet d'un deuxième DEA (17) en 1992. Un logiciel TYPOLOGIE a été développé, permettant à partir de données disponibles sur la banque Hydro de générer des paramètres synthétiques exprimant la variabilité d'un régime. Cette approche a été testée sur 34 stations dans la région Rhône Alpes qui présente l'avantage de recouvrir une large gamme de types de régimes. L'étude est pour l'instant limitée aux petits bassins (< 1000 km<sup>2</sup>). Deux descripteurs sont générés :

- D1 exprime la variabilité saisonnière des conditions médianes ;
- D2 exprime, saison par saison, l'intensité des crues fréquentes.

Il est ainsi possible de quantifier la variabilité intrinsèque des différents types de régimes, du glaciaire au pluvial. C'est essentiel pour l'interprétation de ces événements en terme de perturbation écologique, avec toutes les conséquences postulées au niveau de la biodiversité ou de la productivité des systèmes. C'est le point sur lequel les hydrobiologistes réfléchissent. Les interventions aux "Entretiens sur l'eau" à Grenoble allaient dans ce sens (9, 10).

Cette recherche se poursuivra en 1993 dans le cadre d'une thèse avec une application au bassin de la Loire, et extension de la recherche des descripteurs vers les conditions d'étiages, et vers des bassins de plus grande taille. Se posera ensuite le problème de relier ces descripteurs à des outils de modélisation comme le modèle QdF développé par les hydrologues.

## La morphologie

C'est le compartiment clé pour décrire l'hétérogénéité spatiale, et permettre le changement d'échelle, des organismes au bassin versant. Il faut donc une description emboîtée, chaque niveau conservant l'information du précédent.

Cette approche n'est pas développée dans le cadre temporel de la présente convention, mais il y a lieu de la prévoir comme une suite logique de la démarche.

## Le milieu aquatique

Dans le milieu aquatique proprement dit, les compartiments ne peuvent être décrits que de manière ponctuelle, et l'extrapolation n'est valable que si les compartiments précédents ont été régionalisés. Vu le nombre limité de types de cours d'eau qui ressort de la première étape, une stratégie d'échantillonnage visant à caractériser le fonctionnement écologique des différents types sur des secteurs de référence est tout à fait envisageable. Il faudra auparavant sélectionner dans chaque compartiment les meilleurs descripteurs en terme de rapport coût/information. C'est l'objet de la recherche au niveau des compartiments habitats, facteurs trophiques et invertébrés.

L'HABITAT est le compartiment clé pour décrire l'hétérogénéité spatio-temporelle à la bonne échelle, celle des organismes "habitants" du milieu aquatique. C'est la combinaison de deux variables, l'une statique : le substrat, et l'autre dynamique : l'hydraulique. Une description, même simple, du substrat et des faciès morphodynamiques est extrêmement informative. L'hydraulique prend tout son sens quand on la relie à l'hydrologie par une méthode de type "microhabitat" qui peut être extrapolée à l'échelle d'un tronçon décrit par faciès. Par ailleurs, le couplage avec des données hydrologiques permet de reconstituer statistiquement ou en temps réel des durées-fréquences de paramètres d'habitat.

La recherche sur les préférendums d'habitat des différentes espèces se poursuit mais n'a pas donné lieu à publication cette année (un rapport à diffusion restreinte, 16).

La réflexion méthodologique concernant le couplage des résultats fournis par la méthode des microhabitats aux données hydrologiques a donné lieu à une publication sur l'effet des crues (1), et une communication concernant les variations rapides de débits par écluse hydroélectrique (8). Le point de la recherche en France a été fait à l'occasion d'un colloque Franco-Québécois par Souchon (7), qui souligne la nécessité du couplage des microhabitats avec une description morphologique emboîtée allant de l'échelle du faciès à celle du tronçon pour valider l'extrapolation des résultats. Une revue similaire compare l'expérience des USA, de la Grande Bretagne et de la France (3).

Au niveau de outils, le logiciel EVA sur PC que développe actuellement le CEMAGREF a été annoncé (6) ; il devrait permettre de monter en puissance en 1993 à la fois en recherche et en valorisation.

La recherche des descripteurs des FACTEURS TROPHIQUES se poursuit dans le cadre d'une thèse (L. Maridet). Une première publication met l'accent sur l'importance de la structure du substrat en particulier la porosité- qui conditionne en fait l'habitabilité et la disponibilité des ressources trophiques dans la dimension verticale de l'écosystème (2). L'année 1992 a été consacrée au recueil de données visant à mettre en évidence le rôle de la végétation rivulaire dans le fonctionnement trophique d'un cours d'eau ; de nouvelles publications et communications sont attendues en 1993.

Enfin, les INVERTEBRES peuvent être considérés dans ce programme sous quatre aspects :

- peuplements, dont la biodiversité s'interprète en fonction de tous les compartiments précédents, à la lumière de diverses hypothèses théoriques.
- ressource trophique pour les consommateurs supérieurs (poissons).
- descripteurs de processus, notamment métaboliques, difficiles à quantifier directement au niveau des compartiments "production primaire" et "matière organique".
- indicateurs d'état pour la plupart des perturbations anthropiques.

Les invertébrés constituent potentiellement d'excellents descripteurs typologiques, à condition que la richesse de l'information fonctionnelle qu'ils véhiculent ne soit pas laminée par des descripteurs trop réducteurs.

En 1992, nos données très détaillées sur une quinzaine de stations de références réparties dans différentes écorégions ont été organisées au sein d'une base cohérente et facilement accessible. Leur traitement dans l'optique de la recherche de descripteurs de fonctionnement est programmé en 1993.

**3°/- PUBLICATIONS****\* Articles de revues à comité de lecture et chapitres d'ouvrages**  
parus en 1992

- (1) **MALAVOI J.R., SOUCHON Y.** 1992 Hydrologie et dynamique hydroécologique des cours d'eau, Revue des Sciences de l'Eau, 5 : 247-261
- (2) **MARIDET L., WASSON J.G., PHILIPPE M.**, 1992. Vertical distribution of fauna in the bed sediment of three running water sites : influence of physical and trophic factors. Regulated Rivers : research and management, 7(1) : 45-55
- (3) **MILHOUS R.T., JOHNSON I., SOUCHON Y., VALENTIN S.**, 1992. Habitat simulation in United States, Britain and France. in Mohammad Karamouz, ed. Water Resources Planning and Management : Saving a Threatened Resource. In Search of Solutions. American Society of Civil Engineers. New York, NY : 362-376
- (4) **WASSON J.G., MARIN R.**, 1992. Tipologia y potencialidades biologicas de los rios de altura en la region de La Paz (Bolivia) : metodologia y primeros resultados. Memorias Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, t. XLVIII, suppl. 1988 : 97-122.

sous presse

- (5) **WASSON J.G.**, 1992. La rivière et l'homme : vers une gestion par bassin intégrant la dimension écologique. Revue de Géographie de Lyon, 67 (4).

**\* Communications à des congrès**

- (6) **GINOT V., SOUCHON Y.**, 1992. "EVA" un système informatique pour évaluer l'habitat du poisson. Communication présentée au séminaire ADEME. "Insertion des petites centrales hydroélectriques dans l'environnement" Sophia-Antipolis, 1/2 décembre 1992. Publication en cours
- (7) **SOUCHON Y.**, 1992. Etat d'avancement des recherches sur l'habitat des poissons en France. Communication présentée au colloque "Intégration des technologies modernes à la gestion des poissons dulcicoles et amphihalins". Montréal, Canada, 31 mai- 3 juin 1992. Publication en cours.
- (8) **VALENTIN S., SOUCHON Y., WASSON J.G.**, 1992. Evaluation of hydropeaking effect on fish community habitat. Communication présentée à "International Symposium on rehabilitation of inland fisheries" Hull, UK, 6/10 avril 1992. Publication en cours.

**\* Communications écrites à des congrès, sans publication**

- (9) **SOUCHON Y.**, 1992. Sécheresse et fonctionnement biologique. Communication aux Entretiens sur l'eau, atelier "Sécheresse", Grenoble, 1/2 décembre 1992. Actes du colloque.
- (10) **WASSON J.G.**, 1992. Le rôle des crues dans le fonctionnement des écosystèmes d'eau courante. Communication présentée aux Entretiens sur l'Eau, atelier crues, Grenoble 1/2 décembre 1992. Actes du colloque.
- (11) **WASSON J.G., BETHEMONT J., DEGORGE J.N., DUPUIS B., JOLIVEAU T.**, 1992. La typologie des écosystèmes d'eau courante dans le bassin de la Loire : un outil d'aide à la gestion. Poster présenté au colloque international "Limnologie appliquée et application de la limnologie". Besançon, 16/19 novembre 1992 : 2 p. non publié.

**\* Rapport CEMAGREF**

Rapports de synthèse diffusés

- (12) **WASSON J.G.**, 1992. Les orientations fondamentales par bassin : propositions pour une gestion intégrée des écosystèmes d'eau courante. CEMAGREF-Lyon, BEA/LQ : 32 p.

Pour mémoire : Rapports d'étude à diffusion restreinte, non fournis.

- (13) **BETHEMONT J., WASSON J.G.**, 1992. Etude de compréhension globale du fonctionnement de l'hydrosystème de la Loire et de ses affluents. Phase 1 - Etat initial. Problématique. Rapport d'étape n° 1, CEMAGREF Lyon, BEA/LQ et CRENAM - URA CNRS 260 : 20 p.
- (14) **WASSON J.G., BETHEMONT, J. DEGORGE J.N., DUPUIS B., JOLIVEAU T.**, 1992. Etude de compréhension globale du fonctionnement de l'hydrosystème de la Loire et de ses affluents : phase 1, état initial - problématique. Rapport d'étape n° 2 CEMAGREF Lyon BEA.LQ et CRENAM,URA CNRS 260 : 40 p.
- (15) **WASSON J.G., BETHEMONT J., DEGORGE J.N., DUPUIS B., JOLIVEAU T.**, 1992. Etude de compréhension globale du fonctionnement de l'hydrosystème de la Loire et de ses affluents : phase I, état initial - problématique. Rapport d'étape n° 3 CEMAGREF Lyon BEA/LQ et CRENAM, URA CNRS 260 : 66 p.
- (16) **SOUCHON Y., POUILLY M., GINOT V.**, 1992. Méthodologies pour la définition des débits réservés : application dans le cadre de l'article L.232-5 du Code Rural. Généralisation aux cours d'eau à cyprinidés rhéophiles. Convention 91/289, rapport intermédiaire. CEMAGREF Lyon BEA/LQ : 19 p.



**\* Rapport de stages**

Mémoire de DEA

- (17) **MARTIN E.**, 1992. Hydrologie adaptée à la typologie des écosystèmes d'eau courante : recherche de descripteurs de fonctionnement des régimes d'écoulement naturels. DEA Université Grenoble I, LAMA : 77 p. + annexes.

Mémoire de fin d'études, non diffusé

- (18) **PAREDES F.**, 1992. Typologie des aménagements de rivière dans le bassin de la Loire. Rapport TFE ENTPE Lyon : 77 p. + annexes. Diffusion restreinte.

## **II - Recherche de descripteurs de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante et des perturbations anthropiques subies par ces milieux**

M. LAFONT, J. GARRIC

### **Résumé :**

L'approche de la bioindication à partir des invertébrés benthiques, largement développée dans les eaux courantes, a jusqu'ici été peu appliquée aux systèmes lacustres. Pourtant la faune des sédiments permet de renseigner rapidement sur les conditions biologiques des zones profondes, et permet en complément des méthodes utilisant le phytoplancton de poser un diagnostic global sur le fonctionnement de l'écosystème lacustre. Une méthode de diagnostic de la qualité des sédiments lacustres utilisant les mollusques a ainsi été proposée. Par ailleurs les relations entre la physico-chimie de l'eau et des sédiments et les peuplements benthiques (oligochètes) sont utilisées pour diagnostiquer les risques de contamination toxique des nappes alluviales. Enfin se met en place une démarche écotoxicologique prometteuse associant les bioindicateurs de terrain et des marqueurs biochimiques (activité EROD) en vue d'établir des relations de cause à effet au sein des écosystèmes.

## 1°/- RECHERCHE SUR LA DIAGNOSE ECOLOGIQUE DES COURS D'EAU

### ***1.1. Approfondissement de notre connaissance des situations de référence par type de milieu et de bassin hydrographique***

En 1992, nous avons développé une approche théorique et une approche directe.

**L'approche théorique** a consisté dans la rédaction d'un chapitre concernant les oligochètes dans le cadre d'un ouvrage général sur le Patch Dynamic concept (PDC) (1). Les investigations sur le PDC, à l'instigation du CNRS (PIRE "Genèse dynamique et organisation des mosaïques dans l'hydrosystème fluvial") constituent une approche théorique visant à appréhender l'évolution des biocénoses animales et végétales selon un gradient d'espace et de temps. Dans le cas des oligochètes, la richesse en substrats dans un secteur donné favorise les espèces à cycle de développement court, notamment celles qui se reproduisent par voie asexuée.

**L'approche directe** consiste à effectuer des prélèvements dans des secteurs considérés comme non affectés par des perturbations anthropiques (2), (3). Par exemple, l'Ardières, cours d'eau du Beaujolais, dans la zone exempte de rejets diffus d'origine viticole, constitue, en basse montagne cristalline et à 60 km de Lyon, un secteur original à préserver. Une espèce nouvelle d'oligochètes y a été décrite. On peut souligner au passage que, s'il est intéressant de se pencher sur la faune tropicale (4), la faune d'invertébrés de l'Hexagone est loin d'être connue.

### ***1.2. Relations entre les invertébrés et la physico-chimie des eaux et des sédiments***

Une première approche visant à préciser les relations entre les espèces de mollusques et la physico-chimie des eaux et des sédiments a été réalisée au niveau des systèmes lacustres à partir :

- d'une part de critères globaux, descripteurs de la richesse spécifique et des effectifs des peuplements à différentes profondeurs (5) ;
- d'autre part des effectifs des espèces (6).

Les principaux résultats obtenus ont montré que :

- 1- Les capacités d'oxygénation d'un système lacustre et les teneurs en matière organique de ses sédiments profonds jouent un rôle majeur dans la distribution au sein du milieu ;
- 2- L'existence d'exigences écologiques propres aux deux classes de mollusques : Gastéropode et Bivalves, en fonction de la profondeur ;

3- Le mode de fonctionnement des lacs, défini à partir des conditions régnant dans leur zone profonde, détermine non seulement la composition des peuplements profonds mais également celle des malacocénénoses littorales.

Par ailleurs, les analyses réalisées ont permis de préciser les affinités et tolérances particulières des espèces à différentes profondeurs pour différents types de lacs définis à partir de descripteurs synthétiques de leur fonctionnement.

Une analyse des relations espèces-physico-chimie a également été entreprise au niveau des cours d'eau. L'analyse des peuplements et des paramètres recueillis sur plus de 150 stations, parfois très polluées, est en cours.

Un autre volet de recherche a fait l'objet d'investigations en 1992. Il s'agit de la "vulnérabilité" des champs captants à une pollution des eaux superficielles. Un article a fait le point de "l'état de l'art" dans le domaine (9). Cette recherche fait actuellement l'objet de collaborations avec le BURGEAP, le BRGM, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse et le CNRS (PIRE "Ecosystème souterrains"). Elle prend en compte des milieux poreux (Rhône, Moselle) et fissurés karstiques (le Terrieu, dans l'Hérault). De plus, en 1992, les microcrustacés ont été pris en considération.

Si 1992 a principalement été une année d'acquisition de données, on peut d'ores et déjà souligner les points suivants, largement évoqués dans (9) :

- que ce soit en milieu poreux ou en milieu fissuré karstique, les oligochètes sont corrélés avec les flux hydriques et permettent de décrire leur sens et leur intensité avec précision ;

- parallèlement, l'impact des rejets polluants peut être décrit aussi bien en milieu poreux qu'en milieu fissuré, même à forte profondeur.

### **1.3. Améliorations aux indices et diagnoses existants**

L'étude des peuplements d'insectes aquatiques de l'Ardières (2) a permis de tester un nouvel outil de caractérisation de l'impact de pollutions mixtes (en l'occurrence, des pollutions diffuses d'origine agricole) à l'aide de courbes diversité/abondance. Les résultats sont encourageants car ils semblent permettre de caractériser de façon différente les effets de rejets organiques et toxiques (pesticides, Pb, Cu, ...).

En ce qui concerne l'impact de métaux lourds sur le milieu récepteur, la prise en considération de 15 stations dans le bassin de l'Ille a permis d'apporter des améliorations sensibles aux méthodes existantes (7) :

- les fortes contaminations métalliques sont généralement associées à de très faibles valeurs de l'indice oligochètes IOBS ( $IOBS < 1$ ) et des effectifs. La prise en considération du pourcentage de Tubificidae avec soies capillaires (variable opposée aux métaux) et du pourcentage de Tubificidae sans soies capillaires (variable corrélée avec les métaux) permet d'affiner le diagnostic ;

- cette recherche a permis de préciser et d'approfondir nos connaissances sur la sensibilité ou la résistance des espèces et taxons d'oligochètes aux métaux lourds dans le milieu récepteur. Les contaminations métalliques semblent de plus perturber la reproduction in situ des oligochètes. A titre d'exemple, les adultes de Tubificidae sont en général moins résistants que les immatures et la stratégie de reproduction par voie asexuée (Naididae) paraît constituer un facteur de résistance aux contaminations métalliques.

En ce qui concerne les systèmes lacustres, la mise au point d'un indice qui vise à définir d'une manière simple et rapide l'état biologique global d'un lac à partir de ses peuplements de mollusques a été réalisée (8). Actuellement, l'indice mollusque (IMOL) s'applique essentiellement aux milieux de petites dimensions (S < 500 hect.), de profondeur maximale supérieure à 10 m et d'altitude ne dépassant guère 1000 m. Toutefois, une extension de cette technique aux milieux profonds de grandes dimensions (Lac Léman, Bourget,...) d'une part et aux plans d'eau apparentés aux étangs d'autre part, est envisageable.

## **2°/- CARACTERISATION DES CONDITIONS DE L'INDUCTION ENZYMATIQUE**

Les résultats des campagnes effectuées entre 1989 et 1992, sur la Durance, l'Ardières et le Rhône sont en cours d'exploitation en vue d'une caractérisation des paramètres biotiques (espèces) et abiotiques (température, stations) influençant le phénomène d'induction.

Les premiers résultats obtenus, en particulier la quasi absence des phénomènes d'induction au cours des mois d'hiver, ont conduit à faire porter les expérimentations réalisées en 1992, sur l'étude au laboratoire de l'influence des facteurs température et photopériode sur l'induction de l'activité enzymatique p450 dépendante (EROD).

Ces expérimentations seront poursuivies au cours de l'année 93.

## **3°/- COUPLAGE D'UNE DIAGNOSE ECOLOGIQUE AVEC LA MESURE DE L'INDUCTION ENZYMATIQUE**

Les dosages de l'activité enzymatique acétylcholinestérase, sur les prélèvements de muscles de poisson des stations de l'Ardières ont été effectués.

De nouveaux sites ont été prospectés, en particulier sur la Moselle et les dosages d'EROD et d'AChE effectués. Ils devraient permettre d'apporter des données en vue de préciser les relations entre bioindicateurs (indices hydrobiologiques) et biomarqueurs (taux d'induction EROD ou d'inhibition (AChE).

Suite aux travaux effectués sur l'Ardières (2,3), la rédaction d'un article de synthèse est prévue au premier semestre 1993 : "Impact de pollutions diffuses d'origine viticole sur les biocénoses d'invertébrés benthiques et sur l'activité enzymatique du poisson (EROD, AChE) : cas de l'Ardières (affluent de la Saône, Beaujolais, France)";

#### 4°- ETABLISSEMENT DE RELATIONS DE CAUSE A EFFET AU SEIN DES ECOSYSTEMES

Les études prévues sur les effluents du Rhône (bioessais en laboratoire et étude in situ) n'ont pu être réalisées en 1992.

Une étude similaire a par contre débuté fin 1992 sur le cours de la Moselle.

Les campagnes de terrain ont été réalisées, l'étude de la toxicité des effluents aura lieu en 1993. Ces premières données doivent permettre d'apporter des informations sur les intérêts respectifs de cette double approche étude in situ et en laboratoire.

En 1992, les travaux de deux DEA, ont permis d'acquérir quelques résultats concernant les méthodologies d'essai au laboratoire sur effluents :

- sur les méthodes de conservations des effluents et effet sur la mesure de leur écotoxicité, les protocoles et résultats de mesure de l'induction enzymatique en laboratoire (11),
- sur la mise au point d'un essai permettant de mesurer en quelques heures un impact sublétalement écologiquement significatif sur *Daphnia magna* (12).

Les principaux résultats de ces travaux font l'objet actuellement d'une rédaction d'article à soumettre en février.

**5° LISTE DES TRAVAUX SOUMIS OU PUBLIES SE RAPPORTANT AUX THEMES  
DETAILLES**

- (1) **JUGET J., LAFONT M.**, 1993. Oligochaeta. In "Patch Dynamic concept" STAZNER B., RESH V., eds. Freswat. Biol : in press (article soumis en 1992)
- (2) **FAESSEL B., ROGER M.C., CAZIN B.** Incidence de rejets ponctuels et diffus sur les communautés d'invertébrés benthiques d'un cours d'eau du Beaujolais : l'Ardières. Soumis pour publication aux Annales de Limnologie en novembre 1992.
- (3) **LAFONT M., JUGET J.**, Description de *Rhyacodrilus ardierae* n. sp. Oligochaeta, Tubificidae) récoltée dans l'Ardières (affluent de la Saône, France). Soumis pour publication au Bulletin de la Société Zoologique de France en décembre 1992.
- (4) **LAFONT M., JUGET J.**, 1992. The benthic oligochaetes. In "Lake Titicaca". A synthesis of limnological knowledge", DEJOUX C., ILTIS A. eds. Monographiae Biologicae 68 (Kluwer Academic Publ.) : 302-306.
- (5) **MOUThON J.**, 1992. Snail and bivalve populations analysed in relation to physico-chemical quality of lakes in eastern France. General criteria for population analysis. *Hydrobiologia*, 245 : 147-156
- (6) **MOUThON J.**, 1992. Peuplements malacologiques lacustres en relation avec la physico-chimie de l'eau et des sédiments II. Les espèces. *Annls Limnol.*28 (2) : 109-119.
- (7) **ROSSO A., LAFONT M., EXINGER A.** Peuplements d'oligochètes de quelques cours d'eau du Haut-Rhin (France) : essai de description de l'incidence des métaux lourds du sédiment. Soumis pour publication aux Annales de limnologie en novembre 1992.
- (8) **MOUThON J.** Un indice biologique lacustre basé sur l'examen des peuplements de mollusques. Soumis pour publication à la revue *Hydroécologie Appliquée* en décembre 1992.
- (9) **LAFONT M. , DURBEC A. , ILLE C.**, 1992. Oligochaete worms as biological describers of the interactions between surface and groundwaters : a first synthesis. *Regulated Rivers*, 7 : 65-73.
- (10) **LAFONT M. et col.**, 1992. Méthodes d'évaluation de la qualité des milieux aquatiques : rapport de présentation du programme, CEMAGREF Lyon - 55 p.

- (11) **NAUDIN S.** Toxicité chronique d'un effluent industriel : influence du mode de conditionnement des échantillons, utilisation de trois bioessais comparatifs, DEA, Univ. de Metz, CEMAGREF, Septembre 1992.
- (12) **KOSMALA A.** Développement d'un essai d'écotoxicité basé sur la nutrition de *Daphnia magna*. DEA, Univ. de Metz, CEMAGREF, Univ. of Sheffield. septembre 1992.



### III - Recherches connexes en modélisation hydrologique et hydraulique

T. LEVIANDIER, C. MICHEL, Z. MAKHLOUF, A. PAQUIER, DEGOUTTE

#### Résumé :

Les recherches ont porté sur trois points.

1) L'intégration de données issues de la télédétection dans la modélisation des relations pluie-débit est en cours.

2) Le changement d'échelle spatiale dans la modélisation hydrologique est abordé en intégrant un modèle élémentaire sur un réseau hydrologique, en liaison avec des paramètres géomorphologiques ; la faisabilité de modèles régionaux de qualité faiblement dégradée par rapport aux modèles locaux apparaît réaliste.

3) Les travaux sur la modélisation de la propagation d'une onde de rupture de barrage ont abouti à un logiciel prenant en compte la possibilité de rupture progressive, dans différents types de vallées, avec une précision accrue sur les tirants d'eau et le temps d'arrivée de l'onde. Les recherches en cours portent sur l'amélioration de la convivialité du logiciel, et l'intégration des phénomènes de transport solide et d'érosion dans la modélisation.

## **1°/- HUMIDITE DU SOL**

### **1.a)- Données au sol et modélisation**

La fiabilité du matériel testé en 1992 (sondes capacitives) n'est toujours pas suffisamment assurée pour en proposer l'installation sur des sites gérés par des services opérationnels, ce qui est reconnu par le constructeur qui doit commercialiser une version améliorée. Une substitution par la technique TDR est également à l'étude.

Les mesures faites sur les bassins de Naizin et de l'Orgeval, confirment l'intérêt de la prise en compte de l'humidité. En raison d'un progrès des modèles pluie-évaporation-débit, on n'observe plus de supériorité des modèles qui l'utilisent pour la simulation des débits et l'intérêt se porte sur les délais d'initialisation, l'application aux bassins non jaugés et la compréhension des bilans (calcul d'ETR).

### **1.b)- Recherches sur l'intégration des données issues de la télédétection**

L'obtention de données satellitaires d'humidité comparables avec les données au sol justifie les travaux préparatoires faits sur l'assimilation de données. certaines difficultés ont été rencontrées dans l'élaboration de ces algorithmes, l'assimilation donnant à l'heure actuelle des résultats équivalents à ceux de la simulation à partir de pluies et ETP.

## **2°/- MODELISATION REGIONALE A LARGE VALIDITE D'ECHELLE SPATIALE**

La voie proposée d'intégration d'un modèle élémentaire sur un réseau hydrographique a été mise en oeuvre dans l'optique du changement d'échelle.

Ce type de modèle donne des résultats de qualité équivalente à ceux d'un modèle global, en prenant en compte les transferts d'une façon plus spatialisée, et semble ouvrir des perspectives d'une hydrologie "récursive" généralisable aux problèmes de transferts diffus. Elle semble aussi présenter un intérêt pour la macro-hydrologie et les modèles climatiques.

Le modèle GR4, global dont les sorties sont très proches du précédent, a été étudié de façon beaucoup plus extensive. Les recherches prévues de liaison avec les paramètres géomorphologiques ont mis en évidence, sur la région Bretagne et sur le bassin de la Moselle, des relations assez faibles mais qui autorisent cependant la construction de modèles régionaux, utilisables sans calage, et d'une qualité faiblement dégradée par rapport aux modèles locaux.

### 3°/- MODELISATION DE LA PROPAGATION D'UNE ONDE DE RUPTURE DE BARRAGES

Deux DEA (PERRAUD, ROBIN) avaient permis en 1990 et 1991 de développer un logiciel de calcul monodimensionnel simplifié d'onde de rupture de barrage puis de le valider dans le cas d'une rupture instantanée. En 1992, l'utilisation du logiciel sur plus d'une dizaine de barrages (PAQUIER) a montré que, pour les petits barrages en remblai qui devaient constituer la majeure partie des cas à traiter, il était indispensable de développer une option séparée "rupture progressive" du logiciel. En effet, sans cela, on était conduit soit à surestimer fortement le débit maximal à l'aval immédiat du barrage, soit à sous-estimer ce débit maximal loin à l'aval.

La version du logiciel disponible fin 1992 comporte (par rapport à la version de fin 1991) les améliorations suivantes :

- prise en compte possible d'une rupture progressive avec une validité équivalente au cas d'une rupture instantanée (à débit maximal au barrage exact) ;
- extension des types de vallée pouvant être traités par le logiciel ;
- calcul du tirant d'eau maximal effectué à partir d'une description du profil en travers en largeur-cote (au lieu d'un paramétrage), ce qui permet une précision accrue sur ce tirant d'eau ;
- introduction du calcul du temps d'arrivée de l'onde dans le logiciel.

L'ensemble des résultats déjà obtenus par le logiciel et la comparaison avec un calcul (toujours monodimensionnel) à partir des équations de Saint-Venant fera l'objet d'une communication de A. PAQUIER au colloque organisé par la CGB et l'AFEID sur le thème "Petits barrages" (Bordeaux - février 1993).

Les améliorations susceptibles d'être apportées en 1993 portent sur :

- la "convivialité" du logiciel (et la rédaction d'un mode d'emploi) afin de permettre une utilisation en dehors du CEMAGREF ;
- la prise en compte sommaire de la géométrie de la vallée entre le barrage et la section de calcul ;
- la validation du logiciel dans une plus large gamme de vallées et de barrages.

En dehors du cadre propre au développement du logiciel simplifié, d'autres travaux ont permis de progresser dans la modélisation monodimensionnelle et bidimensionnelle des ondes de rupture de barrage à partir des équations de Saint-Venant (thèse en cours de A. PAQUIER sur ce sujet). L'amélioration des méthodes de résolution numérique (en particulier, celle de leur stabilité) doit permettre à terme une intégration plus aisée des phénomènes de transport solide et d'érosion dans la modélisation.

En ce qui concerne cette intégration proprement dite (2ème thème abordé dans la présente convention), différentes actions ont été menées, en particulier dans le cadre de la thèse de E. HEROUIN sur le transport solide en régime fortement transitoire. Nous mentionnons ci-dessous les principaux aspects développés en 1992 :

- bibliographie sur le transport solide et la description de l'écoulement (en particulier, profil vertical des vitesses et contraintes au fond) en régime non-uniforme et transitoire.

- étude de faisabilité d'une expérimentation visant à déterminer la nature de l'écoulement en canal lors du passage d'une onde de crue et son impact sur le transport solide ;

- étude théorique de l'influence des différentes forces (traînée, portance, masse ajoutée) responsables de la mise en mouvement des particules, identification de grandeurs adimensionnelles ;

- étude à l'aide d'un modèle numérique de l'ordre de grandeur de l'erreur en cote et temps de propagation d'un front dû au fait de négliger le transport solide. Le modèle utilisé couplait un calcul hydraulique monodimensionnel (équations de Saint-Venant) et une estimation sommaire du phénomène d'érosion ou de dépôt à partir des formules de transport solide habituellement utilisées en rivière en régime permanent.

En 1993, l'ensemble des actions précédentes devrait être poursuivi en vue d'identifier plus précisément les caractéristiques du transport solide lors de phénomènes hydrauliques violents par opposition à des situations de régime quasi-uniforme.

**4°/- PUBLICATIONS****4.a)- Thèmes 1 et 2****\* Articles de revues scientifiques à comité de lecture**

**BENALLEGUE M., NORMAND M., GALLE S., DECHAMBRE M., TACONET O., VIDAL-MADJAR D., 1992.** Soil moisture assessment at a basin scale using active microwave remote sensing: the agriscatt"88 airborne campaign on the Orgeval watershed. Accepté pour publication à Journal of Remote Sensing.

**\* Communications à un colloque ou congrès**

**CASTELAO GEGUNDE A., CHAHIR K., NORMAND M., 1992.** La méthode TDR : un outil pour la mesure de l'humidité du sol et de sa variabilité. Journées Scientifiques du GFHN, UCL, Faculté des Sciences Agronomiques, Louvain-la-Neuve, Belgique, 3/5 novembre 1992.

**MAKHLOUF Z., MICHEL C., 1992.** Relation entre les paramètres d'un modèle global pluie-débit et les caractéristiques physiques d'un bassin versant breton, 8ème journées hydrologiques de l'ORSTOM, 22.23 Septembre 1992.

**NASCIMENTO N., MICHEL C., 1992.** Conceptual rainfall-runoff modelling of ephemeral river basins. EGS Edinburgh, Avril 1992.

**NASCIMENTO N., MICHEL C., 1992.** Some epistemological aspects of the development and use of hydrological conceptual models. 4th European Junior Scientist course. "Assessment of Modelling uncertainties and Measurement Error in Hydrology". St. Etienne, 9/12 april 1992.

**YANG X., MICHEL C., ROCHE P.A., 1992.** A real-time flood forecasting methodology based on conceptual rainfall-runoff model. EGS dinburgh, Avril 1992.

**\* Communications proposées**

**LEVIANDIER T., 1993.** Modèles récursifs de transfert de pollution diffuse. Rencontres Hydrologiques Franco-Roumaines. Tulcea, septembre 1993.

**LEVIANDIER T., 1993.** Scaling considerations in propagating flows through a network of reservoirs. EGS Wiesbaden.

**4.b)- Thème 3**

**PAQUIER A.**, 1991. Conséquences de la rupture du batardeau du barrage de Caramany sur la vallée à l'aval. CEMAGREF-CNARBRL, rapport d'étude.

**PAQUIER A.**, 1992. Calcul d'onde de rupture de barrage par une méthode simplifiée (application au cas de 9 petits barrages). CEMAGREF note interne.

**PAQUIER A.**, 1992. Méthodes d'estimation de l'onde de submersion créée par la rupture d'un barrage. Communication proposée au colloque CFGB-AFEID "Petits barrages" de Bordeaux (2/3 février 1993).

**PERRAUD M.F.**, 1991. Etude de performance d'un modèle simplifié de calcul de propagation d'onde de rupture de barrage. CEMAGREF, Rapport de DEA de l'UCBL.

**ROBIN O.**, 1990. Méthode simplifiée de calcul d'onde de submersion résultant de la rupture d'un barrage. CEMAGREF. Rapport de DEA de l'UCBL.

#### IV - Méthodologie des investigations techniques sur la sécurité des barrages en service

Comme convenu en janvier 1992, ce travail méthodologique non repris dans l'avenant a été poursuivi **de façon transitoire** en 1992 au titre de la présente convention.

Les travaux ont porté sur une vingtaine de nouveaux départements.

On notera la parution d'un ouvrage de référence, diffusé par la Direction de l'Eau à ses services (DDE, DIREN) :

Guide pour le diagnostic rapide des barrages anciens - 1992 -  
coordination G. DEGOUTTE -ISBN 2-85362-302-5 - Dépôt légal 4<sup>o</sup>  
trimestre 1992 "Etudes" du CEMAGREF, série hydraulique Agricole  
n° 13 - 100 pages