

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

I N R S - E A U

VINGT-DEUXIEME RAPPORT ANNUEL

1er juin 1990 au 31 mai 1991

14 novembre 1991

I N R S - E a u
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec, Canada, G1V 4C7
(418) 654-2524

TABLE DES MATIERES

	Page
1 - RAPPORT DU DIRECTEUR.....	1
2 - RESSOURCES HUMAINES.....	7
3 - RECHERCHE.....	13
3.1 Analyse statistique des données.....	13
3.2 Modélisation hydrologique.....	17
3.3 Analyse numérique.....	28
3.4 Développement de modèles d'aménagement.....	29
3.5 Biogéochimie des polluants (métaux traces et pesticides).....	34
3.6 Écotoxicologie des polluants.....	47
3.7 Dynamique des éléments nutritifs dans les écosystèmes.....	50
3.8 Processus d'assainissement.....	52
4 - ENSEIGNEMENT.....	61
4.1 Maîtrise en sciences de l'eau.....	61
4.2 Doctorat en sciences de l'eau.....	66
5 - PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS.....	71
5.1 Livres ou ouvrages collectifs.....	71
5.2 Articles publiés dans des revues scientifiques avec comité de lecture.....	72
5.3 Articles publiés dans des comptes rendus de conférences avec comité de lecture.....	74
5.4 Conférences sur invitation.....	75
5.5 Communications avec arbitrage, sans comptes rendus.....	75
5.6 Rapports scientifiques ou techniques.....	76
5.7 Publications diverses.....	79
5.8 Communications et publications diverses, sans arbitrage.....	80
5.9 Thèses de doctorat et mémoires de maîtrise.....	80
5.10 Statistiques des publications et communications des membres de l'INRS-Eau publiées durant l'année 1990-1991.....	82

6 - SÉMINAIRES ET COLLOQUES.....	83
7 - AUTRES ACTIVITÉS.....	85
7.1 Coopération scientifique.....	85
7.2 Collaborations externes	88
7.3 Participation aux activités d'autres organismes ou comités.....	89
7.4 Revues scientifiques	93
7.5 Visiteurs.....	96
7.6 Associations professionnelles.....	96
7.7 Activités internes au sein de l'INRS et de l'Université du Québec.....	100
8 - SERVICES	101
8.1 Organisation des laboratoires.....	101
8.2 Informatique et bureautique.....	103
8.3 Documentation et Édition.....	105
9 - RAPPORT FINANCIER.....	107

1 - RAPPORT DU DIRECTEUR

FAITS SAILLANTS

L'année budgétaire 1990-1991 s'est déroulée dans un contexte de consolidation des acquis et dans le cadre d'une démarche de raffermissement des structures de gestion des activités d'opération et de services. Il faut noter cette année, en ce qui a trait aux subventions de recherche, la très bonne performance du Centre auprès du CRSNG. Sur le plan des locaux la situation désastreuse du Centre s'est amplifiée. Le manque d'espace au Complexe scientifique a forcé de nouveaux déménagements de personnel vers le Carrefour Molson. Cette situation n'a fait qu'accentuer la séparation entre les secs et les humides.

Les activités de recherche du Centre se sont poursuivies selon les axes privilégiés dans la programmation sexennale établie en 1988 et dans les domaines qui avaient alors été identifiés. Cette programmation des activités est la conséquence d'une adaptation dynamique du Centre aux problématiques de recherche des années quatre-vingt-dix. Elle permettra entre autres d'articuler adéquatement les nouveaux domaines d'activités qui viendront s'ajouter à la programmation actuelle. Deux thématiques d'action servent d'encadrement aux orientations et à la définition des domaines de recherche du Centre: l'étude des mécanismes décrivant les processus et les procédés, et la modélisation de ces mécanismes. C'est dans cette optique qu'ont été établis les huit programmes d'activités de recherche en cours.

Sur le plan académique les activités d'enseignement ont constitué une part importante des tâches du Centre. En effet, au cours de l'année le Centre a eu 36 étudiants inscrits au doctorat et 34 inscrits à la maîtrise. Il n'y a pas eu de modifications substantielles dans la programmation, ni des études doctorales, ni des études de maîtrise. On doit cependant noter la reprise des stages de terrain en début d'année pour les étudiants à la maîtrise.

L'année 90-91 est encore une année importante sur le plan de l'autofinancement des activités de recherche. Les revenus extérieurs accordés ont totalisé la somme de 3 507 040\$. Ces sommes sont équivalentes à 57% des dépenses du Centre pour l'année 90-91. Ces revenus extérieurs sont constitués de subventions pour un montant de 2 059 566\$ et de contrats de recherche pour un montant 1 447 474\$. Dans le contexte actuel, cette performance des chercheurs est assez exceptionnelle particulièrement au niveau des subventions dont le montant total est plus important que l'année dernière. Les subventions proviennent principalement des sources suivantes: le fonds pour la Formation de chercheurs et l'aide à la recherche (FCAR), 423 160\$; le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), 1 062 741\$; et différents ministères et organismes fédéraux et provinciaux 573 665\$. Les contrats de recherche viennent de différentes sources; notons: le Ministère de l'Environnement du Canada 779 423\$; la Communauté Urbaine de Québec (BPR) 206 150\$; Hydro-Québec 143 333\$; le Ministère des Pêches et Océans du Canada 122 400\$.

Notons que l'implication des professeurs pour défrayer une part plus importante des frais indirects a permis au Centre de terminer l'année avec un excédent des revenus sur les dépenses. Cet effort volontaire et soutenu de leur part mérite à juste titre d'être souligné.

La coopération scientifique France-Québec, a permis de poursuivre l'entente intervenue entre l'INRS-Eau et le Groupement d'intérêt scientifique (GIS) pour la publication de la "Revue des Sciences de l'Eau". Notons que la rédaction et l'édition de cette revue sont rendues possibles grâce en particulier à l'aide financière du fond FCAR.

En septembre 90, l'administration du Centre et le service de la documentation ont quitté le Complexe scientifique de Sainte-Foy pour s'installer au Carrefour Molson. Les nouveaux espaces sont déjà insuffisants et les besoins actuels supplémentaires ont été évalués à 1300 mètres carrés. La séparation des équipes de recherche soulève des difficultés supplémentaires pour un Centre dont la dynamique interne se veut essentiellement interdisciplinaire. En plus de nouveaux espaces, il faut donc envisager à court terme le regroupement des scientifiques pour pouvoir maintenir cette dynamique et aviver l'esprit de corps qui a toujours animé le Centre.

Dans cette optique le Centre a entrepris l'étude de ses besoins à court, moyen et long termes. Un comité de six (6) professeurs étudie les avenues actuelles de recherche ainsi que les nouveaux secteurs que le Centre devrait explorer. Cette réflexion devrait permettre d'abord d'établir la pertinence des activités actuelles, de définir un plan pour leur consolidation et un échéancier de réalisation, ensuite sélectionner les nouvelles activités, les priorités d'implantation et l'échéancier. Cette démarche permettra d'établir non seulement la programmation scientifique du centre mais aussi les besoins en locaux pour les prochaines années.

En cette année, l'INRS et le ministère des Pêches et Océans du Canada ont signé une entente de collaboration scientifique. Cette entente fait des différents centre de l'INRS des partenaires privilégiés de ce ministère.

RECHERCHE

Analyse statistique des données

Les travaux sur le développement de méthodes pour l'analyse de diverses données dans le domaine des ressources en eau ont été poursuivis au cours de l'année. S'appuyant sur des méthodes statistiques avancées (études des valeurs extrêmes, persistance de séries de temps, méthodes multivariées) et sur des méthodes d'analyse numérique et de simulation, les chercheurs du Centre ont continué leurs travaux sur la prévision et la régionalisation des crues, l'analyse de l'évolution temporelle de la qualité des eaux.

Différents projets de recherche ont été poursuivis dans le cadre de l'analyse statistique des données. Notons entre autres les projets portant sur la simulation de la contamination des eaux de source agricole résultant de l'élevage bovin (PARDE), la simulation et la reconstitution des données hydrologiques actuelles (CRSNG - Hydro-Québec), la mise au point de méthodes de caractérisation des effluents d'élevage (MENVIQ - F. Bernard Inc.) et le développement de méthodes multidimensionnelles pour l'étude de phénomènes hydrologiques et océanographiques (FODAR).

Modélisation hydrologique

L'élaboration de modèles numériques permet de simuler et de prévoir divers phénomènes reliés au mouvement de l'eau et de substances nutritives et toxiques à travers les diverses phases du cycle hydrologique. Les travaux du Centre portent sur des phénomènes aussi divers que le cheminement de pesticides provenant d'épandages agricoles vers les eaux souterraines, le transport atmosphérique des polluants sur de grandes distances, ou les prévisions hydrologiques pour la gestion. Un intérêt particulier est apporté au traitement et à l'intégration, à ces modèles, d'informations obtenues par télédétection (satellites, avions...) et par radars météorologiques.

Le projet avec Environnement Canada pour la mise au point de logiciels intégrant la télédétection par satellite et la modélisation hydrologique s'est poursuivi comme prévu. Un nouveau projet du même type,

mais appliqué au milieu agricole, a reçu l'appui du Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et Alimentation du Québec. Le projet sur la modélisation de la contamination des eaux souterraines par des sources diffuses, appuyé par le CRSNG dans le cadre des subventions stratégiques, en est à sa deuxième année.

Des études ont été réalisées pour déterminer les régimes thermiques de la rivière Moisie avant et après le détournement de la rivière aux Pékans. On a entrepris, avec le ministère de Pêches et Océans du Canada, un projet de développement d'un modèle conceptuel pour la gestion intégrée des habitats de poissons du milieu littoral québécois. Un modèle productif de quantité et de qualité de l'eau en rivière, financé par le CRSNG et Hydro-Québec, a été développé comme support à la gestion environnementale.

Analyse numérique

Ce champ de recherche regroupe, entre autres, les projets sur la simulation par la méthode d'éléments finis, des écoulements à surface libre stratifiés ou rapides (estuaires maritimes, lacs) et des comportements des sols soumis au gel ainsi que le traitement numérique d'images obtenues par télédétection et le développement d'algorithmes spécifiques appliqués aux ressources en eau.

Parmi les différents projets qui se sont déroulés cette année on doit noter: la modélisation des écoulements et des micro-habitats de la ouananiche de la rivière Ashuapmushuan et l'étude du comportement des chaussées en relation avec la période de gel et dégel au Québec.

Développement de modèles d'aménagement

Ce programme de recherche regroupe les activités qui ont pour objectifs de fournir aux gestionnaires de la ressource des outils informatiques qui permettent d'évaluer l'impact des diverses décisions d'aménagement et de sélectionner les meilleurs choix, en vue d'une gestion optimale, compte tenu des ressources disponibles, des contraintes et des priorités. Ces projets trouvent des applications dans des domaines aussi variés que l'implantation d'usines d'assainissement, l'impact d'épandages de pesticides ou l'influence des débits sur les habitats biologiques.

Un important projet sur le Contrôle et la Gestion en temps réel des débordements s'est poursuivi en partenariat avec les Consultants BPR. Ce projet est réalisé pour le compte de la Communauté urbaine de Québec qui en assure le financement avec le Ministère de l'Environnement du Québec. Une étude importante sur le bilan toxique et le développement d'une méthodologie d'analyse des interventions et de la récupération des usages a été entreprise pour le compte du Centre Saint Laurent. Un autre projet a porté sur la modélisation des écoulements et des micros habitats de la Ouananiche de la rivière Ashuapmushuan; ce projet est réalisé avec la firme Gilles Shooner et Associés Inc.

Biogéochimie des polluants (métaux traces et pesticides)

Ces recherches concernent le comportement de polluants dans la colonne d'eau, à l'interface eau-sédiment, ainsi que dans les eaux souterraines; les résultats qui en découlent servent à tester et à raffiner des modèles conceptuels du comportement des polluants dans le milieu.

Dans le cas de la colonne d'eau, les chercheurs visent à élucider les relations qui existent entre, d'une part, la spéciation des métaux traces et, d'autre part, leur comportement géochimique et leur prise en charge par les organismes biologiques. Les travaux au niveau de l'interface eau-sédiment portent sur les échanges à l'interface, le contrôle des concentrations en métaux traces dans les eaux interstitielles, la répartition de ces métaux entre différentes phases solides, et la prise en charge des métaux par les organismes benthiques vivant à cette interface. Enfin, les recherches touchant les eaux souterraines visent à identifier et à

quantifier les facteurs qui contrôlent la mobilité des pesticides dans le milieu souterrain (phénomènes d'adsorption et de désorption; complexation de pesticides organiques par les acides humiques dissous).

Un projet subventionné par le Fonds FCAR soutien aux équipes de recherche s'est poursuivi pour étudier la biogéochimie des substances polluantes dans le milieu aquatique. Le projet sur l'influence des processus biophysicochimiques sur le transport des pesticides dans les eaux souterraines en est à sa troisième année. Le projet spéciation et biodisponibilité de l'aluminium dans les eaux naturelles et celui portant sur la biogéochimie de métaux traces dans le milieu aquatique se sont poursuivis.

On a entrepris deux projets sur la dynamique sédimentaire et la bioaccumulation chez les macrophytes du fleuve Saint-Laurent. Ces projets sont financés par le Centre Saint-Laurent.

Écotoxicologie des polluants

Les travaux réalisés dans ce programme ont pour objectif le développement d'approches pour évaluer les dangers et risques environnementaux de contaminants (sources ponctuelles et diffuses); ils consistent à étudier les mécanismes d'acclimation et à définir les indicateurs de "stress environnementaux". Les études sont axées sur les relations structures-fonctions de populations et de communautés planctoniques. La biochimie de l'agression toxique est précisée en suivant l'action de substances altérantes sur des voies métaboliques et sur l'ultrastructure cellulaire.

Les principaux projets dans ce programme portent: sur la modélisation de l'accumulation de métaux traces chez les invertébrés benthiques (CRSNG stratégique); sur les indicateurs biochimiques du stress environnemental causé par les métaux toxiques (Fonds mondial pour la nature); sur les bio-indicateurs de stress et suivi du comportement toxique d'effluents en rivière (MENVIQ).

Dynamique des éléments nutritifs dans les écosystèmes

Ces recherches portent sur les cycles du soufre et de l'azote dans les écosystèmes forestiers et lacustres. Les chercheurs visent à identifier et ensuite à quantifier les transformations que ces éléments subissent dans l'écosystème forestier. Les scientifiques du Centre apportent également une attention particulière aux transformations dans la neige au sol, ainsi que dans les sols pendant la période critique de fonte printanière.

Un projet financé par le Fonds FCAR actions spontanées porte sur l'établissement d'un modèle biogéochimique de la dynamique du soufre dans un écosystème boréal.

Processus d'assainissement

Dans ce domaine de recherche, les activités de l'année ont porté sur les problèmes posés par la disposition des boues provenant des usines de traitement des eaux usées, sur l'élaboration d'une stratégie de contrôle des usines de traitement soumises à des effets chocs et sur la valorisation des rejets industriels. L'objectif de ces recherches est d'établir l'impact des métaux lourds dans les processus d'assainissement et de valorisation des boues. On effectue aussi des recherches sur l'évaluation des effets des métaux lourds sur le traitement biologique des eaux résiduaires, sur la récupération des métaux à partir des boues provenant de tels traitements, et sur la valorisation de ces boues.

Plusieurs projets sont en cours de réalisation dans le cadre du programme d'assainissement. Citons entre autres: l'étude des effets chocs sur le système biologique (CRSNG); l'extraction des métaux des boues municipales par lixiviation bactérienne hautement active (FCAR actions spontanées); la variation des boues de traitement biologique (FCAR équipes); l'évaluation de la contamination des eaux par l'élevage bovin

(MENVIQ); la bioconversion des effluents laitiers par bio-réaction (FODAR); l'extraction des métaux lourds de boues d'épuration (CQVB) et enfin l'étude de la solubilisation des métaux lourds dans les boues aérobies d'épuration (SQAE).

CONCLUSION

Le Centre INRS-Eau a connu une autre année remarquable sur le plan des revenus extérieurs et en termes d'activités scientifiques. Les activités d'enseignement ont été aussi très importantes. Nous avons réaménagé nos structures de fonctionnement dans un esprit d'accroissement des responsabilités individuelles. Nous avons réussi grâce aux efforts soutenus des chercheurs à dépasser nos objectifs budgétaires. En terme d'orientation, nous maintenons comme objectif prioritaire, l'application de nos travaux à la solution des problèmes qui touchent notre société et nous continuerons de consacrer nos efforts à la formation de chercheurs et spécialistes qui sauront comment aborder et résoudre les nouveaux problèmes auxquels ils seront confrontés. Si, sur le plan scientifique (projets, subventions, contrats, publications, etc...) et sur le plan de la formation, nous pouvons considérer l'année 90-91 comme excellente, il demeure une ombre majeure au fonctionnement harmonieux du Centre. La localisation du personnel du Centre en deux lieux différents et le manque d'espace de recherche vont conduire à des problèmes majeurs si cette situation n'est pas réglée dans des délais relativement courts. Au cours de la prochaine année, nous procéderons à l'examen de la programmation des activités scientifiques du centre et nous travaillerons particulièrement à la solution du problème des locaux.

Le directeur du centre INRS-Eau

Jean-Pierre VILLENEUVE

2 - RESSOURCES HUMAINES

Directeur

Jean-Pierre VILLENEUVE, B.Sc.A., D.E.S., D.Ing.

Professeurs réguliers

Jean-Christian AUCLAIR,	B.Sc., D.E.A., D.Sc.
Bernard BOBÉE,	L.Sc., M.Sc.A., D.Ing.
Peter G.C. CAMPBELL ¹ ,	B.Sc., Ph.D.
Richard CARIGNAN,	B.Sc., Ph.D.
Daniel CLUIS,	L.Sc., Ing., D.Ing.
Denis COUILLARD,	B.Sc.A., M.Sc.A., D.Sc.
Pierre COUTURE,	B.Sc., D.E.A., D.Sc.
Jean-Pierre FORTIN,	B.Sc., M.Sc., D.E.A., D.Sc.
H. Gerald JONES,	B.Sc., M.Sc., Ph.D.
Marius LACHANCE,	B.Sc.A., M.Sc., D.Sc.
Michel LECLERC,	B.Sc.A., M.Sc.A., D.Ing.
Guy MORIN,	B.Sc.A., M.Sc.A., D.Ing.
Marcel OUELLET,	B.Sc., M.Sc., Ph.D.
Jean-Louis SASSEVILLE,	B.Sc., Ph.D.
Michel SLIVITZKY,	CES, B.Eng.M.Sc.
André TESSIER,	B.Sc., D.Sc.
Rajeshwar D. TYAGI,	B.Sc., B.Tech., Ph.D.
Jean-Pierre VILLENEUVE,	B.Sc.A., D.E.S., D.Ing.

Professeurs sous octroi

Olivier BANTON,	L.Sc., D.E.A., D.Sc.
Landis HARE,	B.Sc., M.Sc., Ph.D.
Pierre LAFRANCE,	B.Sc., M.Sc.A., D.Sc.

Chercheur universitaire

Wolfgang SUMMER,	B.Sc., M.Sc.A., D.Sc.
------------------	-----------------------

¹ Congé sabbatique

Professeurs ou chercheurs invités

Christian AMBLARD,
 Christian BLAISE,
 Jacques BUFFLE,
 Georges CAVADIAS,

James R. KRAMER,
 Pierre LAVALLÉE,

Richard MARCEAU,
 Alain R. PESANT,
 Régis R. SIMARD,

Université Blaise-Pascal, France
 Environnement Canada, Longueuil
 Université de Genève, Suisse
 Consultant pour organismes
 internationaux, Montréal
 Université McMaster, Ontario
 ASSEAU Inc., Montréal;
 Gendron Lefèbvre, Consultants, Montréal
 ENAP, Sainte-Foy
 Agriculture Canada, Lennoxville
 Agriculture Canada, Sainte-Foy

Chargés de cours

Jean-Yves CHOUINARD,
 André GRENON,

Richard MARCEAU,

INRS-Urbanisation
 Centre québécois de coordination de la
 télédétection (COCT), Ministère de l'Énergie et
 des Ressources du Québec
 Ecole nationale d'administration publique, Québec

Associés de recherche contractuels

Louis MATHIER
 Jean ROBERGE²
 Francisco PADILLA

Stagiaires post-doctoraux

Jean CARON
 Miguel Angel HUERTA-DIAZ
 William O. NELSON²boursier CRSNG
 Stefan MICALLEF²boursier CRSNG
 Louise ST-CYR
 Shucaï ZHU

Professionnels réguliers

Sylvie DESJARDINS
 Jean LACROIX
 Lise POTVIN
 Wanda SOCHANSKI

Professionnels contractuels

Claude BLANCHETTE
 Guy FORTIN
 David MONAGHAN²
 Daniel MORISSETTE²

Assistants de recherche contractuels

Irène ABI-ZEID
 Reine BÉLANGER²
 Jérôme BENOIT
 Paul BOUDREAU
 Jean-François CANTIN²
 Myriam CHARTIER²
 Guylain CHARRON
 Marc CRISPIN
 Daniel DESCHENES²
 Patrick DUPONT
 Richard JANVIER²
 Yves MALTAIS²
 Kalil MAMOUNY
 Grégoire MARTIN
 Line MCLAUGHLIN

Guy MERCIER
 Nathalie MEUNIER
 Martin MONTMINY
 Daniel NOLIN
 Luc PERREAULT
 Hugues PERRON
 Emmanuelle QUENTIN
 Serge SIMARD²
 Isabelle VILLENEUVE

Agent technique de laboratoire

Paul BOISVERT

Techniciens réguliers

Denise DOYON-PAQUET
 Michelle GEOFFROY
 André PARENT
 Christiane RENAUD
 Bernard VEILLEUX

Techniciens contractuels

Christian BASTILLE²
 Nicole DROUIN²
 François FOURNIER
 Pierre FOURNIER²
 Carol LÉPINE
 Chantal PAQUIN
 René RODRIGUE
 Sylvie ST-PIERRE

Agent métiers et services

Marco POULIN

Agents de bureau réguliers

Alain POIRIER
 Lise RAYMOND
 Christine ROY

² Départ au cours de l'année

Agents de bureau contractuels

Carmen DESCHENES
 Jean-Léon DOYON
 Lise DUPUIS²
 Suzanne DUSSEAULT
 Claire LORTIE²
 Lucie MERCIER
 Claire MIGNEAULT
 Elaine PARENT
 Johanne PLAMONDON

Stagiaires de recherche contractuels

Jean BÉRUBÉ
 Louis CYR
 Juana ELUSTONDO
 Louise FRASER
 Nadine GIRARD
 Valérie MONTGRAIN
 M.-Hélène MUNSCH
 Michèle PARENT
 Maryse ROCHEFORT
 Annie ST-LOUIS
 Alex TESSIER

Stagiaires de recherche externes

Catherine BELLIARD
 Bernard FABRE
 Georges-Marie SAULNIER

Stagiaires étudiants d'été

François AUBÉ
 Marie-Christine BÉLANGER
 Sylvain BÉRARD
 Jean-François BERNARD
 Steve BLACKBURN
 François BLOUIN
 Philippe BOISSINOT
 Julie BOUCHARD
 J.D. BOURGEAULT
 Marie-Claude CHAPDELAINÉ
 Marie-André CIMON
 Caroline COTÉ
 Diane COTÉ
 Isabelle COTÉ
 Philippe CLÉMENT
 Isabelle CRETE

Christine DESNOYERS
 Martin DUBÉ
 Martin ERNST
 Vincent FORTIN
 Pierre FOURNIER
 Caroline FRENETTE
 Jean GAUTHIER
 Jacinthe GIRARD
 Patrick GOUPIL
 Annie GRAVEL
 Denis HAMEL
 Jocelyn HAMEL
 Martin HANDFIELD
 Michel HARVEY
 Nathalie JOLICOEUR
 Christine LABERGE
 Bruno MORIN
 Luc NADEAU
 Ali NAEEMY
 Jacinthe PAQUET
 Gilles PELLETIER
 Lise RANCOURT
 Marc SAVARD
 Gaétane TARDIF
 André VACHON
 Valérie VILLENEUVE

Étudiants à la maîtrise

MA.Catalina ALFARO DE LA TORRE
 Nicole BROUARD, boursière CRSNG
 Jean-François CANTIN
 Marie-Claude CHAPDELAINÉ, boursière FCAR
 Myriam CHARTIER, boursière FCAR
 Christine, DESNOYERS, boursière FCAR
 Éric GAUTHIER
 Marie LAROCQUE, boursière CRSNG
 Andrée-Moira LEBRUN
 Sylvie LESSARD
 Léon MARINEAU
 Sylvain MARTIN, boursier FCAR
 Lucie MÉNARD
 Jalal MZALI
 France PELLETIER
 Guy ROBERGE
 Danielle RODRIGUE, boursière FCAR
 Esther SALVANO
 Claire TINCELLIN
 Luc TRÉPANIÉ, boursier FCAR
 Pascale VACHON

Étudiants libres (maîtrise)

Marc AMYOT
Christiane FLESSAS

Étudiants au doctorat

Lahcen AIT-SSI
Djilali BENMOUFFOK
Monique BERNIER
Jean-François BLAIS
Paul BOUDREAUULT, boursier FCAR
Bernard BOULANGER, boursier CRSNG
Oscar CAMARA-DURAN
Raynald CHASSÉ
Yves COUILLARD, boursier CRSNG
Albert CRAIG
Michel CROWLEY
Louise DESCHESNES
Marie-Hélène DE SEDE
Mohammed ESSADAoui
Danielle FORTIN, boursière CRSNG
Georges GANGBAZO
Christian HARVEY, boursier FCAR
Daniel HOULE, boursier FCAR
Claude LABERGE, boursier CRSNG
René LAFLEUR
Yves LEFEBVRE, boursier FCAR
Yvon MARANDA
Patrick MARCEAU
Hacene MESSAOUDI
Jocelyn OUELLET
Lise PARENT, boursière CRSNG
B.R. RAVISHANKAR
Agnès RENOUX
François ROBERGE
René ROY
Robert ROY, boursier FCAR
Yves THOMASSIN
Charles TREMBLAY
Éric VAN BOCHOVE
Kevin WILKINSON, boursier FCAR
Guillemette WILLEMIN

Étudiant libre (doctorat)

Nassiba BENDALI-AMOR

3 - RECHERCHE

Dans le cadre de la programmation sexennale de l'INRS-Eau pour la période 1988-1994, des orientations et axes de recherche sont définis pour mieux refléter la réalité des activités du Centre. Les activités scientifiques sont regroupées en huit grands domaines de recherche:

- **l'analyse statistique des données**
- **la modélisation hydrologique**
- **l'analyse numérique**
- **le développement de modèles d'aménagement**
- **la biogéochimie des polluants (métaux traces et pesticides)**
- **l'écotoxicologie des polluants**
- **la dynamique des éléments nutritifs dans les écosystèmes**
- **les processus d'assainissement.**

Les travaux du Centre font appel à deux approches méthodologiques majeures: d'une part, l'étude, en laboratoire ou dans leur milieu naturel, des processus tels que le transport atmosphérique des polluants ou le cheminement des contaminants dans le cycle hydrologique; d'autre part, la modélisation et la simulation de ces mêmes processus et l'élaboration de méthodes d'analyse de données appliquées aux phénomènes hydrauliques et hydrologiques.

Plusieurs projets effectués dans le cadre des huit domaines de recherche du Centre comportent à la fois l'étude des processus et leur modélisation.

Chacun des huit domaines de recherche regroupe des projets de recherche qui répondent soit à une demande spécifique d'organismes extérieurs, soit à un problème spécifique (souvent rencontré lors de la réalisation de la recherche contractuelle) qui a fait l'objet d'une subvention.

3.1 Analyse statistique des données

Les chercheurs rattachés à ce domaine de recherche visent le développement de méthodes pour l'analyse de diverses données sur les ressources en eau. S'appuyant sur des méthodes statistiques avancées (études des valeurs extrêmes, persistance de séries de temps, méthodes multivariées) et sur des méthodes d'analyse numérique et de simulation, les chercheurs du Centre poursuivent des travaux sur la prévision et la régionalisation des crues et l'analyse de l'évolution temporelle de la qualité des eaux (détection des tendances).

3.1.1 Persistance des séries hydrologiques. Utilisation des coefficients d'autocorrélation pour étudier la persistance des séries temporelles en hydrologie quantitative et qualitative

Responsable: Daniel CLUIS

Description et objectifs: Ce projet vise à résoudre, à moyen terme, trois groupes de problèmes:

1. Dans le domaine de la surveillance de la qualité de l'eau, l'estimation des débits massiques constitue un prérequis nécessaire à l'interprétation des phénomènes de transport, à des relations sources-effets et à la calibration des modèles de qualité de l'eau. Dans ce secteur on complétera l'étude entreprise sur le contenu en information d'une fonction de deux séries de temps mesurées à des fréquences différentes. Une approche prometteuse utilisant l'analyse combinatoire appliquée à des distributions log-normales sera développée.
2. Dans le domaine de l'étude structurale des séries environnementales, les caractéristiques d'asymétrie et de non-stationnarité en moyenne et en variance, ainsi que la présence de valeurs aberrantes, douteuses, censurées ou tronquées rendent l'analyse difficile. Nous nous attachons à développer des méthodes robustes et des algorithmes permettant la détection structurale de valeurs aberrantes (A.O, Additive Outliers) permettant une réévaluation des paramètres de la transformation BOX-COX normalisatrice initiale; les estimateurs de HUBER seront mis à contribution.
3. Dans le domaine des fonctions de transfert entre séries environnementales, nous adapterons les méthodes développées en économétrie pour les rendre robustes à la structure de nos données et suggérer des hypothèses physiques objectives. Nous traiterons d'abord de fonctions de transfert univariées à l'intérieur du cycle hydrologique (modèle SISO, Single Input Single Output) pour chaque paramètre critique, puis nous essayerons d'étendre ces méthodes aux fonctions de transfert multivariées (modèles MISO, Multiple Inputs Single Output). Nous appliquerons ces méthodes à deux banques de données liées à des problèmes environnementaux aigus au Québec: la problématique des précipitations acides et celle des épandages agricoles des lisiers.

Financement: CRSNG - Dépenses courantes

3.1.2 Méthode de gestion par simulation de la contribution à la contamination des eaux des sources agricoles causées par l'élevage bovin

Responsable: Daniel CLUIS

Collaborateur: Khalil MAMOUNY

Description et objectifs: La demande croissante d'une information de qualité essentielle à la solution des problèmes environnementaux nous incite à développer un outil permettant d'apprécier l'importance relative des diverses sources de pollution sur un bassin, d'identifier les secteurs les plus menacés, et de vérifier dans quelle mesure la réglementation existante et les solutions techniques connues permettraient d'atteindre les objectifs fixés par les gestionnaires de l'environnement.

Dans cette perspective, nous poursuivons les objectifs suivants:

- A court terme - 1 an: fournir au ministère de l'Environnement un logiciel qui permette d'évaluer la contribution relative des amas de fumier, des eaux usées de laiterie et des cours d'exercice à la pollution de l'eau dans une représentation graphique absolue et relative.

- A moyen terme - 3 ans: fournir au ministère de l'Environnement un logiciel qui permette d'évaluer les contributions de l'épandage des déjections animales, de l'érosion du sol et de cartographier les exploitations à hauts risques. Le produit final pourra être utilisé pour orienter les actions et évaluer l'impact des interventions du Ministère en milieu agricole.

Financement: Ministère de l'Environnement du Québec (PARDE)

3.1.3 Modèle de simulation et de reconstitution des données hydrologiques mensuelles

Responsable: Bernard BOBÉE

Collaborateurs: Louis MATHIER
Hugues PERRON
Luc PERREAULT

Description et objectifs: Compte tenu des lacunes observées dans les programmes actuels REMUL et HEC-4:

- non-examen systématique de la normalité (hypothèses à priori que les débits mensuels sont distribués suivant la loi log-normale ou la loi log-Pearson type 3, hypothèses qui ne sont pas vérifiées);
- non-prise en compte de la structure de dépendance des variables indépendantes,

L'objectif de ce projet est de construire un modèle de simulation et de génération des données hydrologiques mensuelles qui:

- comble les lacunes précédemment décrites;
- soit d'un usage simple, souple et efficace (user's friendly) compte tenu de son emploi fréquent par divers usages.

Le modèle proposé, qui rassemblera l'ensemble des recherches effectuées, sera programmé en Pascal (programme REMUL-2) afin d'être utilisé sur un micro-ordinateur. Le programme REMUL-2 sera accompagné d'un manuel d'utilisation. Il sera développé concurremment aux études théoriques afin d'y introduire les résultats de recherche et d'effectuer les tests de validation.

Financement: CRSNG - Programme de partenariats de recherche (Hydro-Québec)

3.1.4 Méthodes statistiques multidimensionnelles dans l'étude des phénomènes hydrologiques

Responsable: Marius LACHANCE

Collaborateurs: Serge SIMARD
Mohammed ESSADAoui

Description et objectifs: Le programme de recherche comporte les objectifs généraux suivants :

- développement et adaptation de méthodes statistiques multidimensionnelles appropriées à l'analyse des différents types de données acquises par plusieurs ministères gouvernementaux pour la surveillance de la qualité des eaux de précipitation et de surface, ainsi que de la qualité de l'air;

- vérification de l'applicabilité et utilisation de ces méthodes multidimensionnelles pour faire ressortir des relations globales entre l'utilisation du territoire ou ses caractéristiques géographiques et certaines variables de qualité de l'eau ou de l'air;
- élaboration et mise au point de logiciels interactifs (genre systèmes experts) fournissant aux gestionnaires et aux scientifiques dans le domaine de l'eau un accès assisté par ordinateur à certaines techniques statistiques appropriées au problème considéré.

Sans négliger de considérer les méthodes multidimensionnelles classiques (Analyse en composantes principales, Analyse discriminante, Analyse canonique, Régression multiple usuelle), le programme de recherche proposé concerne principalement l'apport de méthodes encore peu utilisées en Amérique et provenant, à l'exception de la Ridge-Regression, de l'École française d'analyse de données. L'apport de méthodes telles que l'analyse factorielle des correspondances et la classification ascendante hiérarchique sera également considéré. D'ailleurs, le potentiel d'utilisation de ces deux méthodes pour interpréter des données de qualité de l'eau a été démontré par plusieurs applications. On considérera également l'apport complémentaire de méthodes utilisées en écologie numérique telles que l'analyse en coordonnées principales.

Financement: CRSNG - Dépenses courantes

3.1.5 Mise au point de techniques de caractérisation standardisées pour les effluents d'élevage

Responsable: Daniel CLUIS

Collaborateurs: F. BERNARD
ANALEX
Khalil MAMOUNY

Description et objectifs: Il s'agit d'un projet soumis en réponse à un appel d'offres du MENVIQ dans le cadre de PARDE-3. Il touche les régies des élevages intensifs, les pertes à l'environnement dans la chaîne des bilans N-P-K, les méthodes analytiques de mesures et les plans d'échantillonnage des entreposages pour créer une banque de données documentées et standardisées.

Financement: Ministère de l'Environnement du Québec (assainissement agricole) et F. Bernard Inc.

3.1.6 Développement et adaptation de méthodes statistiques multidimensionnelles pour l'analyse et l'interprétation des phénomènes hydrologiques et océanographiques

Responsable: Marius LACHANCE

Collaborateur: Jean-Pierre CHANUT

Description et objectifs: Les principaux objectifs du travail de recherche sont les suivants :

- développer et adapter des méthodes statistiques multidimensionnelles au domaine de l'environnement aquatique et analyser la complémentarité de certaines méthodes d'analyse de tableaux multiples et de classification;

- mettre au point des méthodes comportant un système d'aide à la décision permettant d'effectuer une ordination et une classification des données environnementales et éventuellement de modéliser des phénomènes présentant une structure temporelle.

Financement: Université du Québec (FODAR)

3.1.7 Évaluation régionale et locale de la contribution des activités agricoles en matières fertilisantes provenant des fumiers et lisiers

Responsable: Daniel CLUIS

Collaboratrice: Emmanuelle QUENTIN

Description et objectifs: Introduire et développer la géomatique au Service de l'assainissement agricole:

- acquisition et installation de la station de travail;
- acquisition et installation de données cartographiques;
- réalisations techniques de l'année financière 1990-1991.

Financement: Ministère de l'Environnement du Québec (PARDE)

3.2 Modélisation hydrologique

La recherche en modélisation hydrologique s'attache à l'élaboration de modèles numériques permettant de simuler et de prévoir divers phénomènes reliés au mouvement de l'eau et des substances nutritives et toxiques. Les travaux portent sur des phénomènes aussi divers que le cheminement vers les eaux souterraines de pesticides provenant d'épandage agricole, le transport atmosphérique des polluants sur de grandes distances, ou les prévisions hydrologiques pour la gestion. Un intérêt particulier est apporté au traitement et à l'intégration à ces modèles, d'informations obtenues par télédétection (satellites, avions) et par radars météorologiques.

3.2.1 Approche stochastique de la contamination des eaux souterraines en zone agricole

Responsable: Olivier BANTON

Description et objectifs: La quantification du risque de contamination des eaux souterraines par les contaminants d'origine agricole, c'est-à-dire la détermination de la quantité de contaminant susceptible de parvenir à la nappe, doit être réalisée au moyen d'outils performants conçus expressément pour une telle tâche. En cela, les modèles mathématiques apparaissent comme étant les outils les plus fiables et les plus performants. Considérant la variabilité spatiale et temporelle des paramètres qui contrôlent l'évolution des contaminants dans le sol, seule une approche prenant en compte les distributions des valeurs de ces paramètres peut permettre une bonne évaluation des risques de contamination. Une telle approche stochastique permet de plus une évaluation de la vulnérabilité basée sur la probabilité de dépassement des normes de qualité.

Dans cette optique, des recherches porteront sur la compréhension des processus contrôlant le transport

dans le sol des contaminants d'origine agricole (pesticides, nitrates,...). Une revue des méthodes d'évaluation sera réalisée. Les hypothèses concernant le transport des contaminants dans le sol seront analysées, et permettront le choix des processus à retenir dans l'étude de la contamination. Les méthodes d'acquisition des données sur le terrain seront vérifiées dans l'optique de la caractérisation de la variabilité spatiale des paramètres hydrodynamiques, de la détermination ou de leur distribution statistique et leur interdépendance spatiale. La modélisation stochastique du transport des contaminants dans le sol sera réalisée et calibrée pour les conditions canadiennes. Cette modélisation sera intégrée sous la forme d'un logiciel d'évaluation des risques de contamination des eaux souterraines par les diverses pratiques agricoles. Finalement cette approche d'évaluation quantitative de la vulnérabilité sera appliquée pour les différents types de contaminants étudiés sur des sites canadiens.

Ces recherches permettront de développer nos connaissances dans le domaine de la contamination des eaux souterraines. Elles constitueront le support scientifique pour l'élaboration des nouvelles politiques de protection de ces eaux. Elles fourniront un outil performant pour la gestion de la ressource qui pourra être utilisé aisément par les responsables qui interviennent dans les domaines de l'environnement ou de l'agriculture. Enfin, elles proposeront des méthodologies pour l'investigation de la vulnérabilité et pour l'acquisition des valeurs des paramètres nécessaires.

Financement: CRSNG - Dépenses courantes

3.2.2 Logiciel de traitement intégré de données de radars à ouverture synthétique (ROS) et d'autres capteurs satellitaires pour le suivi opérationnel du couvert nival

Responsable: Jean-Pierre FORTIN

Description et objectifs: Le projet a pour objectif général le développement d'un logiciel de traitement, à des fins hydrologiques, des données du capteur radar à ouverture synthétique (ROS) du futur satellite canadien RADARSAT. Plus spécifiquement, on désire: a) analyser les données fournies par un capteur aéroporté ROS en vue d'évaluer leur potentiel pour l'estimation des caractéristiques du couvert nival; b) mettre au point une approche multicapteur et multirate pour l'estimation des caractéristiques du couvert nival; c) vérifier et améliorer l'approche définie précédemment à l'aide des données ROS du futur satellite ERS-1.

Les campagnes de mesure antérieures avec des capteurs ROS aéroportés n'ont pas permis d'en arriver à des conclusions définitives sur le potentiel de ces données pour le suivi opérationnel du couvert nival. Le satellite RADARSAT devant être lancé en 1994, l'analyse de données supplémentaires obtenues par de nouvelles campagnes de mesures s'avère nécessaire.

On précisera tout d'abord la relation entre le signal radar et les caractéristiques de la neige au sol en faisant appel à des données fournies par des capteurs satellitaires, des mesures au sol et un modèle numérique de terrain. Les données ROS ne pouvant fournir toutes les caractéristiques souhaitées, on mettra aussi au point une approche multicapteur permettant d'intégrer ces données à chaque date désirée. Cette approche sera enfin testée dès que nous recevrons des données ROS en provenance du satellite ERS-1.

Le Canada pourra donc disposer, dès le lancement du satellite RADARSAT, d'un logiciel de traitement des données ROS à des fins spécifiquement hydrologiques. De plus, ce logiciel sera conçu pour être utilisé sur un microordinateur, assurant davantage sa diffusion, non seulement ici, mais aussi pour d'autres pays.

Financement: CRSNG - Dépenses courantes

3.2.3 Mise au point de logiciels intégrant télédétection par satellite et modélisation hydrologique

Responsable: Jean-Pierre FORTIN

Collaborateurs: Jean-Pierre VILLENEUVE
Martin MONTMINY
Claude BLANCHETTE
Jérôme BENOIT

Description et objectifs: Dans le cadre de la phase de préparation au lancement du satellite RADARSAT, le Centre canadien de télédétection (CCT) a pour tâche, en particulier, de voir à ce que, dès le lancement du satellite, le Canada dispose à la fois de l'expertise et des moyens de traitement permettant de tirer le meilleur parti possible des données qu'il fournira. L'un des champs d'application pour lequel le CCT désire le développement d'une expertise est l'hydrologie. C'est dans cette perspective que notre équipe travaillant déjà au développement d'un modèle hydrologique conçu pour utiliser tout le potentiel de la télédétection, a proposé au CCT les activités suivantes:

- 1- Mise au point du modèle hydrologique HYDROTEL, conçu pour utiliser des données acquises par télédétection et être exécuté sur un microordinateur.
- 2- Mise au point de logiciels complémentaires:
 - a) de traitement et d'affichage d'images (IMATEL);
 - b) de traitement et de structuration des données spatiales selon un système d'information à référence spatiale (PHYSITEL).
- 3- Développement d'une méthodologie multicapteur et multidate pour l'évaluation des caractéristiques du couvert nival, développement mettant l'accent sur les données radar ROS (en vue du lancement du satellite RADARSAT) et comprenant des campagnes de mesures sur le terrain.
- 4- Support scientifique et technique aux utilisateurs participant aux tests du modèle sur différents bassins à travers le Canada.

L'originalité de cette proposition consiste à intégrer:

- la micro-informatique;
- la transmission rapide de données (dont les images acquises par les satellites météorologiques);
- le traitement d'images acquises par télédétection et de modèles numériques de terrain;
- la modélisation hydrologique distribuée;

et à présenter le tout sous forme de logiciels interactifs d'utilisation facile.

Financement: Environnement Canada - Contrat

3.2.4 Modèle paramétrique conceptuel de la qualité de l'eau

Responsable: Guy MORIN

Description et objectifs: L'objectif principal de ce projet consiste dans le développement et la mise au point de sous-modèles mathématiques permettant d'évaluer l'évolution dans le temps et dans l'espace de certains paramètres de qualité de l'eau pour des conditions naturelles et modifiées d'un bassin versant. Ces sous-modèles complètent le modèle hydrologique CEQUEAU qui permet d'évaluer la formation et le déplacement de l'onde de crue sur un bassin versant en tenant compte, s'il y a lieu, des aménagements tels que barrage, prise d'eau, etc.

L'élaboration des sous-modèles de qualité est basée sur une approche conceptuelle déterministe. Cette approche devrait être applicable à n'importe quel bassin hydrographique et utiliser les composantes hydrologiques du modèle CEQUEAU (écoulement superficiel, hypodermique et souterrain, fonte, évaporation, infiltration, transfert en rivière, etc.) ainsi que des données physiographiques, météorologiques et socio-économiques (population humaine et animale, utilisation du territoire, activité agricole et industrielle), etc.). Les paramètres modélisés prioritairement sont: la température de l'eau, l'oxygène dissous, les solides en suspension, les solides dissous, l'azote total, le phosphore total et les sulfates. Les résultats obtenus sur les premiers paramètres modélisés montrent l'avantage de coupler les sous-modèles de qualité à un modèle hydrologique mais font également ressortir la nécessité de vérifier et éventuellement améliorer la modélisation des différents processus pour des conditions extrêmes rencontrées sur des bassins versants où l'utilisation du territoire est importante. Dans cette optique, nous prévoyons utiliser les données de la rivière Yamaska pour la poursuite de notre recherche.

Financement: CRSNG - Dépenses courantes

3.2.5 Modèle mathématique appliqué. Gestion optimale de la ressource eau d'un bassin

Responsable: Jean-Pierre VILLENEUVE

Description et objectifs: Il existe une demande importante pour des outils mathématiques appliqués au domaine des sciences de l'eau. Nos travaux s'inscrivent dans les préoccupations actuelles et se veulent aussi précurseurs dans le développement d'outils qui répondront aux besoins futurs. Forts de l'expérience acquise, nous poursuivrons nos travaux dans les thèmes déjà développés précédemment.

- a) **Modèle mathématique appliqué:** Au cours des trois dernières années, nous avons développé deux modèles mathématiques de simulation des débits et travaillé sur la prédiction. Nous poursuivons le développement d'un modèle pluie-débit pour la gestion en temps réel. Ce modèle est mis au point sur microordinateur. Nos travaux sur le modèle couplé (eau souterraine - eau de surface) nous ont conduits à nous préoccuper du transport des contaminants dans les eaux souterraines. Nous poursuivons nos travaux sur le développement d'un modèle de transport en zone non saturée. Au cours des trois prochaines années, nous voulons terminer la mise au point de ce modèle et aborder la modélisation en zone saturée.
- b) **Gestion optimale de la ressource eau d'un bassin:** Nous avons développé un modèle (prototype) du système rivière-aménagement. Cet outil mathématique permet d'effectuer les choix optimaux d'aménagement, en tenant compte des contraintes inhérentes au système eau-usage, et de la capacité auto-épuratrice du système rivière. Le prototype a été appliqué au bassin de la rivière Yamaska. Ce modèle d'optimisation du système eau-usage-aménagement tient compte des contraintes physiques, des technologies de traitement et des normes à respecter (quantité et qualité). On utilise une technique de programmation non linéaire adaptée pour la solution optimale du système. Au cours des trois prochaines années, nous désirons poursuivre le développement et principalement généraliser la structure du prototype afin qu'il soit transposable.

Financement: CRSNG - Dépenses courantes

3.2.6 Études géologiques et hydrogéologiques de la vulnérabilité de la nappe aquifère alimentant la ville de Bamako (Mali) en eau potable à la pollution d'origine humaine et animale

Responsable: Jean-Pierre VILLENEUVE

Collaborateur: Olivier BANTON

Description et objectifs: L'objectif principal de ce projet est d'établir, par des études géologiques et hydrogéologiques, la vulnérabilité de la nappe aquifère qui alimente la ville de Bamako (Mali) en eau potable à la pollution d'origine humaine et animale de façon à pouvoir proposer des solutions qui tiennent compte des possibilités économiques nationales.

Les objectifs spécifiques du projet sont les suivants:

- a) détermination des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des nappes aquifères de la région de Bamako;
- b) détermination de l'état actuel de la contamination des nappes, notamment de la nappe superficielle;
- c) compréhension de la problématique de la contamination des eaux souterraines;
- d) prévision de l'évolution de cette contamination;
- e) préparation de recommandations à l'intention des services responsables de la planification de l'hygiène et de l'assainissement dans le but de corriger et de prévenir la contamination;
- f) renforcement du potentiel de recherche en hydrogéologie et en assainissement de l'École nationale d'ingénieurs de Bamako;
- g) acquisition par les chercheurs de l'École de la maîtrise des outils et des techniques de modélisation appliquée à l'hydrogéologie.

Financement: Centre de recherche pour le développement international (CRDI)

3.2.7 Évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination par des sources diffuses

Responsable: Jean-Pierre VILLENEUVE

Collaborateurs: Michel LECLERC
Olivier BANTON
Pierre LAFRANCE
Wolfgang SUMMER
Jean CARON

Description et objectifs: Le but de ce projet de recherche est de développer une méthodologie rationnelle, pratique et fiable d'évaluation quantitative de la vulnérabilité des eaux souterraines. Ce programme vise donc à établir, d'une part une méthodologie d'investigation de la vulnérabilité, et d'autre part une méthode d'évaluation des paramètres hydrogéologiques et bio-physico-chimiques intervenant dans la prédiction du destin des contaminants dans le sol. Les activités de l'équipe seront réparties à l'intérieur de cinq projets:

- 1) Établissement d'une méthodologie d'investigation de la vulnérabilité. Choix des principaux processus affectant le transport des contaminants. Développement théorique.
- 2) Vérification en laboratoire d'hypothèses concernant la complexation/adsorption, la biotransformation, et le transport. Acquisition des données sur le terrain.