Évaluation de modèles de transport des pesticides pour le développement de normes de performance agro-environnementale atteignables (NPA) à l'échelle des bassins versants

Rapport No R-786-e1 *20 janvier 2006*

Évaluation de modèles de transport des pesticides pour le développement de normes de performance agro-environnementale atteignables (NPA) à l'échelle des bassins versants

Rapport d'étape

Centre Saint-Laurent (CSL) – Environnement Canada (EC)

Préparé par :

Alain N. Rousseau, Ph.D., ing.
Pierre Lafrance, D. d'État Sc. Phys.
Renaud Quilbé, D.Sc.
Stéphane Savary, M.Sc.
Mauro Sulis, Étudiant Ph.D.
Emmanuelle Caron, Étudiante M.Sc.

Centre Eau Terre et Environnement
Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE)
490, rue de la Couronne, Québec (QC), G1K 9A9

Rapport N° R-786-e1

20 janvier 2006

© Alain N. Rousseau, 2006

ISBN : 2-89146-325-0

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS **1**

1 INTRODUCTION **1**

1.1 CONTEXTE 1

1.2 OBJECTIFS 1

2 MÉTHODE GÉNÉRALE ET DONNÉES REQUISES POUR L'APPLICATION DES MODÈLES **3**

2.1 MÉTHODE GÉNÉRALE 3

2.1.1 Données requises 5

2.2 APPLICATION SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE 5

2.2.1 Présentation du bassin versant 5

2.2.2 Disponibilité des données 6

3 COLLECTE ET CLASSIFICATION DES DONNÉES SUR LES PESTICIDES **9**

3.1 CONCENTRATIONS EN PESTICIDES DANS LES RIVIÈRES BEAURIVAGE ET CHAUDIÈRE 9

3.2 IDENTIFICATION DES PRATIQUES CULTURALES LIÉES AUX PESTICIDES 10

3.3 IDENTIFICATION DE PESTICIDES PRIORITAIRES POUR EC ET POUR L'ARLA 11

3.3.1 Pesticides prioritaires pour EC 11

3.3.2 Pesticides prioritaires pour l'ARLA 12

3.4 CLASSIFICATION DES PESTICIDES POUR L'ÉLABORATION DES NPA 12

3.4.1 Catégories et intérêts des groupes de pesticides 12

3.4.2 Classification proposée pour la détermination des NPA 14

3.5 TRAVAUX EN COURS ET FUTURS 15

4 APPLICATION DES MODÈLES 19

4.1 BASINS 19

4.1.1 Présentation générale 19

4.1.2 Constitution des bases de données 26

4.1.3 Application du modèle HSPF 33

4.1.4 Travail en cours et prochaines étapes 37

4.2 SWAT 37

4.2.1 Présentation générale 37

4.2.2 Constitution de la base de données pour le bassin versant de la rivière Beaurivage 38

4.2.3 Constitution de la base de données pour le bassin de la rivière Chaudière 42

4.2.4 Travail en cours et prochaines étapes 44

4.3 GIBSI 45

4.3.1 Présentation générale 45

4.3.2 Données requises spécifiques pour les modèles de GIBSI 46

4.3.3 Constitution de la base de données 47

4.3.4 Application et calage du modèle hydrologique 54

4.3.5 Application et calage du modèle d'érosion 55

4.3.6 Modèle de transport des pesticides 58

4.3.7 Modules pour la définition de scénarios de gestion (PGB) 61

4.3.8 Travail en cours et prochaines étapes 62

4.4 COMPARAISON DES TROIS MODÈLES 63

5 DÉTERMINATION DES NPA À L'AIDE DES MODÈLES 65

5.1 CONTEXTE 65

5.2 COURBES DE FRÉQUENCE CUMULÉE 65

5.2.1 Notion de probabilité de dépassement 68

5.3 DÉTERMINATION DU NPA 69

5.3.1 Détermination de la gamme de valeurs possibles pour le NPA 69

5.3.2 Lien avec l'impact écotoxicologique 72

5.3.3 Extension à la détermination de valeurs de NPA intermédiaires 74

5.4 CONCLUSION ET PROCHAINES ÉTAPES 75

6 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 79

7 COORDINATION DES ACTIVITÉS ET PROMOTION DU PROJET 81

7.1 ÉQUIPE DE TRAVAIL 81

7.2 ÉCHÉANCIER 81

7.3 COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES 83

7.3.1 Rapports 83

7.3.2 Articles 83

7.3.3 Présentations orales 83

7.4 COMPTES RENDUS DE RÉUNIONS 83

8 RÉFÉRENCES 85

ANNEXE A. SUIVIS DES CONCENTRATIONS EN PESTICIDES 89

A.1 SUIVIS DE 1996 ET 1997 (MEF) 89

A.2 SUIVI DE 2005 (INRS-ETE, 2005) 93

A.3 SIMILITUDES ENTRE LES DEUX ÉTUDES DE SUIVI (MEF 1996-1997 ET INRS-ETE 2005) 97

ANNEXE B. ENQUÊTE SUR LES PRATIQUES AGRICOLES 101

B.1 PRATIQUES PHYTOSANITAIRES 101

B.2 ENQUÊTE SUR LES PGB 102

ANNEXE C. COMPTE RENDU DE LA RENCONTRE AVEC LE CLUB DE FERTILISATION DE LA BEAUCE 107

ANNEXE D. QUESTIONNAIRE SUR LES PRATIQUES AGRICOLES ET PHYTOSANITAIRES 117

ANNEXE E. COMPTE RENDU DE LA RÉUNION DU 13 DÉCEMBRE 2005 123

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Diagramme des différentes étapes pour l'application d'un modèle sur un bassin versant 4

Figure 2.2 : Localisation du bassin versant de la rivière Chaudière 6

Figure 4.1 : Représentation sommaire des composantes du système BASINS 21

Figure 4.2 : Interface principale du modèle BASINS 22

Figure 4.3 : Intégration du secteur d'étude au système BASINS 26

Figure 4.4 : Carte de sols (a) et de l'occupation des sols (b) du bassin versant de la Chaudière obtenues avec BASINS 28

Figure 4.5 : Représentation a) des stations de mesures et d'observation de la qualité de l'eau, b) des stations hydrométriques et c) des stations météorologiques 29

Figure 4.6 : Sources ponctuelles de rejets et polluants 30

Figure 4.7 : Délimitation automatique du secteur d'étude 31

Figure 4.8 : Régénération automatique du réseau hydrographique 32

Figure 4.9 : Délimitation automatique du bassin versant sélectionné 33

Figure 4.10 : Sélection de l'ensemble du sous bassin versant de la rivière Beaurivage 35

Figure 4.11 : Intégration du secteur d'étude sélectionné au modèle HSPF 36

Figure 4.12 : Délimitation des sous-bassins et du réseau hydrographique pour le bassin versant de la Beaurivage 39

Figure 4.13 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Beaurivage dans SWAT 40

Figure 4.14 : Carte des sols du bassin versant de la Beaurivage dans SWAT 41

Figure 4.15 : Délimitation des sous-bassins et du réseau hydrographique pour le bassin versant de la Chaudière 42

Figure 4.16 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Chaudière avec SWAT 43

Figure 4.17 : Carte des sols du bassin versant de la Chaudière avec SWAT 44

Figure 4.18 : Représentation schématique du fonctionnement général de GIBSI 46

Figure 4.19 : Localisation des stations hydrométriques, des stations qualité et des stations météorologiques 48

Figure 4.20 : Représentation de l'occupation du sol avec GIBSI 49

Figure 4.21 : Représentation du modèle numérique d'altitude (MNA) et du réseau hydrographique avec GIBSI 50

Figure 4.22 : Découpage spatial : (a) bassin versant, (b) bassin versant constitué de plusieurs USS, (c) une USS, (d) représentation d'une USS numérisée, (e) schéma d'écoulement de surface d'une USS et (f) occupations du sol d'une USS 52

Figure 4.23 : Exemple de discrétisation d'une partie du bassin versant en USS (en jaune) et en tronçons de rivière (en bleu) 52

Figure 4.24 : Discrétisation du bassin versant de la rivière Chaudière en USS par PHYSITEL 53

Figure 4.25 : Visualisation des données mesurées (en bleu) et simulées (en rouge) de débit dans GIBSI 54

Figure 4.26 : Résultat du calage et de la validation de HYDROTEL sur plusieurs sous bassins du bassin versant de la rivière Chaudière 55

Figure 4.27 : Comparaison des charges journalières simulées et observées pour l'année 1989 à l'exutoire de la Beaurivage (tronçon 1644) 57

Figure 4.28 : Comparaison des charges journalières simulées et observées avec une échelle logarithmique pour l'année 1989 à l'exutoire de la Beaurivage (tronçon 1644) 58

Figure 4.29 : Processus simulés par le modèle pesticide de GIBSI 59

Figure 4.30 : Interface usager pour la spécification des cultures des systèmes de rotation et des dates des pratiques culturales 62

Figure 5.1 : Différentes représentations des courbes de fréquence cumulée 66

Figure 5.2 : Effet du bassin versant sur les courbes de fréquence cumulée 67

Figure 5.3 : Effet des scénarios de gestion sur les courbes de fréquence cumulée 68

Figure 5.4 : Détermination de la probabilité de dépassement d'une valeur seuil de concentration 69

Figure 5.5 : Utilisation des courbes de fréquence cumulée pour déterminer le NPA en fonction du NPI 70

Figure 5.6 : Utilisation des courbes de fréquence cumulée pour déterminer le NPA indépendamment du NPI 71

Figure 5.7 : Détermination de différentes valeurs statistiques à partir des courbes de fréquence cumulée 72

Figure 5.8 : Distribution de sensibilité des espèces pour le permethrin (source : CANTOX Environmental, 2005) 73

Figure 5.9 : Courbes de fréquence cumulée pour chaque étape de la mise en place des PGB 74

Figure 5.10 : Schématisation de l'approche proposée pour la détermination des NPA (dans le cas, le NPA est déterminé indépendamment du NPI) 77

Figure 5.11 : Exemple de carte qui pourrait représenter les NPA selon un code de couleur pour les tronçons de rivière d'un bassin versant. 78

Figure 6.1 : Échéancier du projet 82

Figure A.1 : Répartition du territoire cultivé sur le sous-bassin versant de la rivière Beaurivage en 1996 (d'après Bédard *et al.*, 1997 selon Giroux, 1998) 89

Figure A.2 : Localisation de la station d'échantillonnage de St-Étienne-de-Lauzon (en rouge). 90

Figure A.3 : Concentrations d'atrazine (en bleu) et de métolachlore (en rose) à St-Étienne-de-Lauzon en 1996 (selon les données de Giroux, 1998). CVA (en rouge) : critère pour la protection de la vie aquatique pour l'atrazine. 92

Figure A.4 : Localisation de la station d'échantillonnage à St-Gilles (en rouge) et St-Narcisse de Neubois (en bleu, position approximative à préciser)....94

Figure A.5 : Concentrations d'atrazine et de métolachlore à St-Gilles en 2005 (Lafrance et Caron, 2005)....96

Figure A.6 : Concentrations d'atrazine et de métolachlore à St-Narcisse en 2005 (Lafrance et Caron, 2005)....96

Figure B.1 : Évolution des ventes de matières actives de pesticides et de l'indice de pression sur les superficies en cultures annuelles au Québec de 1992 à 2000 (tirée de BPR, 2003)....103

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Inventaire des données requises pour l'implantation et l'application des modèles de transport de pesticides et disponibilité sur le bassin versant de la rivière Chaudière 7

Tableau 4-1 : Reclassification de l'occupation du sol 34

Tableau 4-2 : Résultats du calage pour les charges annuelles et saisonnières sur l'année 1989 à l'exutoire de la rivière Beaurivage (en t) 56

Tableau 6-1: État d'avancement de la procédure d'application des trois modèles (en gris foncé : étapes complétées; en gris clair : étapes en cours) 80

Tableau A-1 : Résultats du suivi du MEF de 1996 sur la Rivière Beaurivage (Giroux, 1998). Concentrations mesurées en pesticides (µg/L) 98

Tableau A-2 : Résultats du suivi du MEF de 1997 sur la Rivière Beaurivage (Giroux, 1998). Concentrations mesurées en pesticides (µg/L) 99

Tableau A-3 : Résultats du suivi de l'INRS-ETE de 2005 sur le ruisseau du Bras d'Henri (Lafrance et Caron, 2005). Concentrations des herbicides Atrazine, Métolachlore et DEA aux deux sites d'échantillonnage (µg/L) 100

Tableau B-1 : Principaux produits recommandés par le Club de Fertilisation de la Beauce pour les années 1996, 1997 et 2005. 105

LISTE DES SIGLES

AAC	Agriculture et Agroalimentaire Canada
ACR	Acute-to-Chronic Ratio
APPLES	A Pesticide Priority Listing Evaluation System
ARLA	Agence de Réglementation pour la Lutte Antiparasitaire
BASINS	Better Assessment Science Integration point and Nonpoint Sources
CE_{10}	Concentration à laquelle 10% de la population exposée est affectée (l'effet est généralement la mortalité)
CL_{50}	Concentration létale pour 50% de la population exposée
DEA	Dééthylatrazine
DL_{50}	Dose létale pour 50% de la population exposée
EC	Environnement Canada
GIBSI	Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé
HRU	Hydrological Response Unit
HSPF	Hydrological Simulation Program – Fortran
INÉNA	Initiative Nationale d'Élaboration des Normes Agro-environnementales
INRS-ETE	Institut Nationale de la Recherche Scientifique, Centre Eau, Terre et
LOEC	Lowest Observed Effect Concentration
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation du Québec
MDDEP	Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec
MEF	Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec
MENV	Ministère de l'Environnement du Québec
MNA	Modèle Numérique d'Altitude
NOEC	No Observed Effect Concentration
NOEL	No Observed Effect Level
NPA	Norme de Performance Agro-environnementale Atteignable
NPI	Norme de Performance Agro-environnementale Idéale
PGB	Pratiques de Gestion Bénéfique
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation

SIG	Système d'Information Géographique
SWAT	Soil Water Assessment Tool
UHRH	Unité Hydrologique Relativement Homogène
UPA	Union des Producteurs Agricoles
URH	Unité de Réponse Hydrologique
USLE	Universal Soil Loss Equation
USS	Unité Spatiale de Simulation
WEBs	Watershed Evaluation of Best Management Practices

REMERCIEMENTS

Nous désirons remercier le Club de Fertilisation de la Beauce (M. Brisebois), Fertior et le Club Ferti-Conseil Rive-Sud pour leurs excellentes collaborations ainsi que MM Pierre-Yves Caux et Paul Jiapizian d'Environnement Canada pour leurs communications et informations justes et pertinentes.

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

Dans le cadre de l'Initiative Nationale d'Élaboration des Normes Agro-environnementales (INÉNA) menée par Environnement Canada (EC), des normes de performances agro-environnementales idéales (NPI) et atteignables (NPA) doivent être définies pour servir de cadre de référence pour le secteur agricole. Ces normes permettront de jauger la performance environnementale de ce secteur et orienter les actions pour l'améliorer, notamment pour guider la mise en œuvre et le développement de pratiques de gestion bénéfiques (PGB[1]). Les NPI correspondent à un niveau de concentration qui permet de protéger un certain pourcentage des espèces présentes dans un milieu aquatique selon des courbes doses-réponses spécifiques à un groupe de pesticides, tandis qui les NPA correspondent à un niveau de concentration qui peut être atteint en mettant en place des mesures de gestion, des pratiques agricoles et des technologies disponibles, et doivent être définis à l'aide d'outils de modélisation.

La première phase de ce projet (Rousseau *et al.*, 2005a) a permis de faire un inventaire des modèles existants de transport de pesticides à l'échelle des bassins versants et de sélectionner, à l'aide d'une analyse multicritère, trois modèles pertinents aux besoins de l'étude. Ces trois modèles sont BASINS, SWAT et GIBSI. À noter que BASINS comprend le modèle HSPF.

Cette première sélection a été réalisée sur la base d'informations théoriques trouvées dans la littérature. Afin de mieux identifier et comparer les avantages et inconvénients de ces trois modèles, la deuxième phase de ce projet consiste à appliquer les trois modèles sélectionnés sur un bassin versant pilote.

1.2 OBJECTIFS

L'objectif principal de ce travail est de caractériser les conditions d'application d'un ou des modèles à l'étude pour définir les NPA à l'échelle pancanadienne. Pour cela, il s'agit de :

---

[1] Les PGB sont les pratiques agricoles qui intègrent les connaissances et techniques agricoles les plus actuelles à propos de la conservation du sol, de la gestion des systèmes de cultures, des pesticides et de l'eau sans compromettre la productivité économique au niveau de la ferme.

(i) Appliquer les trois modèles sur le bassin versant de la rivière Chaudière;
(ii) Comparer la performance des modèles pour simuler les concentrations en pesticides;
(iii) Définir une méthode pour déterminer les NPA à l'aide de ces modèles;
(iv) Développer les NPA pour les six groupes de pesticides sur le bassin versant de la rivière Chaudière.

Ce rapport d'étape permet de faire un état d'avancement de ce travail qui a débuté officiellement en Novembre 2005. Le chapitre 2 présente la procédure générale d'implantation des modèles, les données requises qui sont disponibles et celles qu'il reste à obtenir. Le chapitre 3 présente le travail en cours de récolte des données liées aux traitements phytosanitaires et aux concentrations en pesticides en rivière. Le chapitre 4 présente l'état d'avancement de l'application des trois modèles BASINS (HSPF), SWAT et GIBSI. La méthode proposée pour la détermination des NPA est présentée dans le chapitre 5. Enfin, la conclusion permet de faire une synthèse du travail réalisé et des prochaines étapes.

2 MÉTHODE GÉNÉRALE ET DONNÉES REQUISES POUR L'APPLICATION DES MODÈLES

2.1 MÉTHODE GÉNÉRALE

La procédure générale pour appliquer un modèle distribué destiné à simuler le transport des pesticides sur un bassin versant comprend différentes étapes, schématisées à la Figure 2.1 :

(i) Rassembler les informations et données nécessaires pour constituer la base de données (données spatiales vectorielles et matricielles par intégration des couches d'information géographiques avec le SIG approprié, données d'entrée, paramètres des modèles, paramètres de gestion, données mesurées de débits et de concentration);

(ii) Construire la base de données;

(iii) Appliquer le modèle hydrologique;

(iv) Caler et valider le modèle hydrologique à l'aide de données de débits mesurées;

(v) Appliquer les modèles d'érosion et de transport des pesticides;

(vi) Réaliser d'éventuelles adaptations des modèles utilisés en fonction des conditions d'application (exemple : prise en compte des PGB);

(vii) Caler et valider les modèles d'érosion et de devenir de pesticides à l'aide de données de concentrations et de débits mesurées.

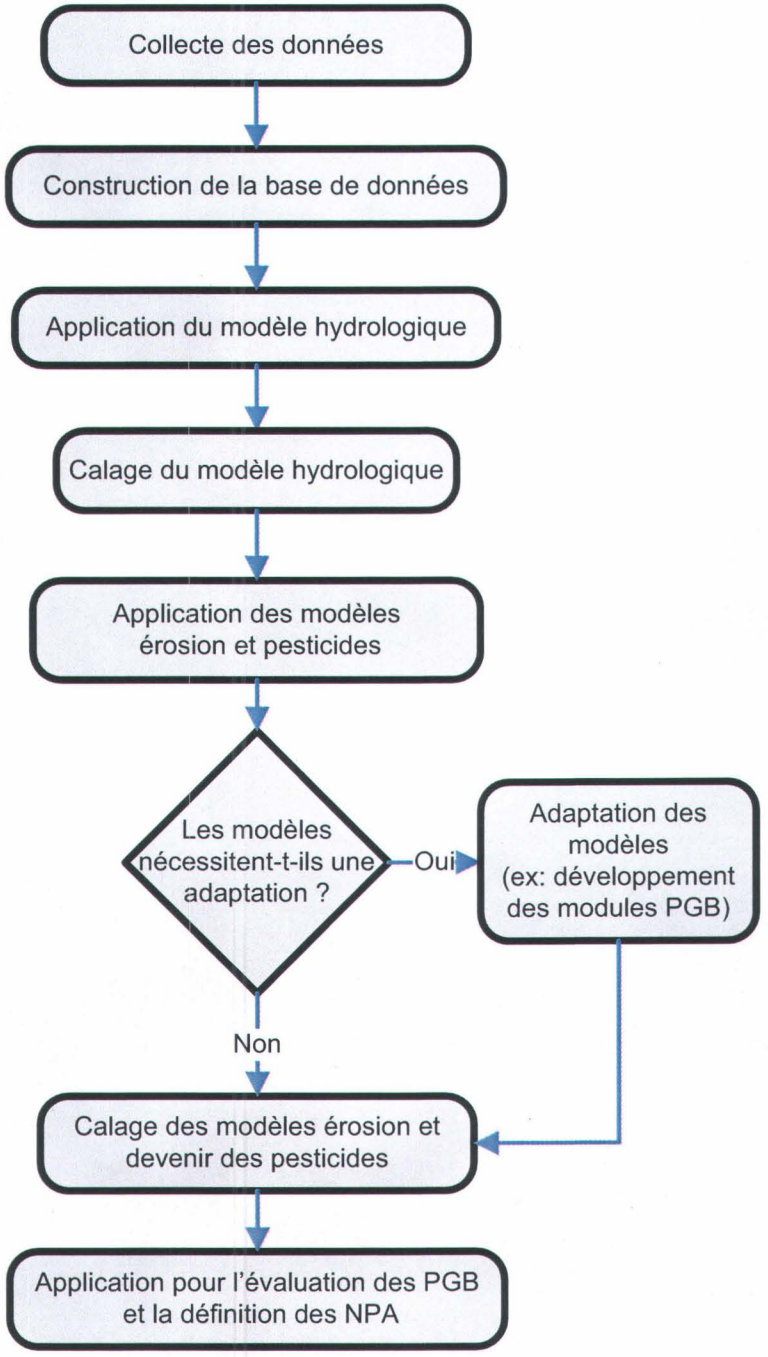


Figure 2.1 : Diagramme des différentes étapes pour l'application d'un modèle sur un bassin versant

2.1.1 Données requises

Les trois modèles sélectionnés sont relativement similaires et nécessitent les mêmes données de base pour leur implantation. Ces données sont présentées au Tableau 2-1. Leur disponibilité à l'échelle du Canada est décrite dans Rousseau *et al.* (2005).

2.2 APPLICATION SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

2.2.1 Présentation du bassin versant

Ce bassin versant a été choisi car la plupart des données nécessaires à l'application des modèles sont disponibles et ont déjà servi au développement et à l'application du modèle GIBSI (contribution antérieure majeure à l'actuel projet). Cela permet de gagner un temps précieux.

Le basin versant de la rivière Chaudière est localisé au sud de la ville de Québec et couvre un territoire de 6 682 km^2. Selon des données de 1995, le territoire est dominé par la forêt (63%), tandis que les terres cultivées couvrent 17.4% de la superficie, avec principalement des cultures fourragères (82%). La population est d'environ 150 000 habitants.

La rivière Beaurivage est un affluent de la rivière Chaudière, et son bassin versant, d'une superficie de 718 km^2, est le plus agricole des sous-bassins du bassin de la Chaudière (30.1% de terres cultivées). C'est donc sur ce sous-bassin que l'étude va focaliser concernant l'acquisition de données de concentrations en pesticides et le calage des modèles. À l'intérieur de ce sous-bassin, le ruisseau du Bras d'Henri est particulièrement intéressant car il est équipé d'une station de mesure des débits et des concentrations et draine un petit bassin versant essentiellement agricole et sans rejets ponctuels qui pourraient fausser les mesures. Il fera donc l'objet lui aussi d'acquisition de données et de calage et/ou validation des modèles.

Figure 2.2 : Localisation du bassin versant de la rivière Chaudière

2.2.2 Disponibilité des données

Comme indiqué au Tableau 2-1, la plupart des données requises sont déjà disponibles. La plupart d'entre elles ont été acquises en 1994 ou 1995 au début du développement de GIBSI. Les seules données qui restent à obtenir concernent les pratiques phytosanitaires ainsi que les concentrations en pesticides en rivière. Ce travail est décrit au chapitre 3. Pour connaître la

disponibilité de ces données à l'échelle pancanadienne en vue de l'application des modèles sur d'autres bassins versants, le lecteur est invité à consulter le rapport de Rousseau *et al.* (2005).

À noter que seules les données nécessaires à l'application des modèles de transport de pesticides sont indiquées au Tableau 2-1. D'autres données sont requises pour l'application des modèles de transport de nutriments et de coliformes qui sont également inclus dans ces modèles (ex : pratiques de fertilisation).

Tableau 2-1 : Inventaire des données requises pour l'implantation et l'application des modèles de transport de pesticides et disponibilité sur le bassin versant de la rivière Chaudière

Données requises	Disponibilité	Source
Données géographiques		
Modèle Numérique d'Altitude	✓	L.A.S.[2]
Carte d'occupation du sol	✓	Image Landsat 1995 + MAPAQ
Réseau hydrographique numérique	✓	MEF
Carte des sols	✓	MAPAQ
Limites du bassin et des sous bassins	✓	MEF
Limites des municipalités	✓	MEF
Localisation des stations météorologiques	✓	MEF
Localisation des stations hydrométriques	✓	MEF
Localisation des stations qualité	✓	MEF
Localisation des rejets ponctuels	✓	MEF
Localisation des réservoirs	✓	MEF
Données attributs		
Données sur les municipalités (population, unités animales, etc.)	✓	MAPAQ MEF
Données sur les rejets ponctuels (débit, concentrations en polluants)	✓	MEF
Caractéristiques et règles de gestion des réservoirs	✓	MEF

[2] L.A.S : Logiciels et Applications Scientifiques

Tableau 2-1 (suite) : Inventaire des données requises pour l'implantation et l'application des modèles de transport de pesticides et disponibilité sur le bassin versant de la rivière Chaudière

Données requises	Disponibilité	Source
Données de gestion agricole		
Types de culture	✓	Image Landsat 1995 + MAPAQ
Rotations culturales (nombre d'années, cultures)	✓	MAPAQ
Pratiques phytosanitaires (pesticides, dates, taux d'application)	En cours	Enquête, cf. Chap. 3
Pratiques culturales (PGB)	En cours	Enquête, cf. Chap. 3
Données d'entrée		
Données météorologiques journalières (T_{min}, T_{max}, P)	✓	MEF
Données spécifiques pour les modèles[3]		
Pesticides : coefficient de partition, solubilité, temps de demi-vie	✓	Littérature scientifique
Autres : à voir pour SWAT et HSPF		
Données pour le calage des modèles		
Données journalières de débit	✓	MEF
Données de concentrations en sédiments	✓	MEF
Données de concentrations en pesticides	✓ + en cours	cf. Chap. 3

[3] Ces données sont détaillées au chapitre 4 dans les sections propres à chaque modèle, même si la plupart d'entre elles sont communes aux trois modèles.

3 COLLECTE ET CLASSIFICATION DES DONNÉES SUR LES PESTICIDES

La présente partie du rapport fait état de l'avancement des travaux en ce qui a trait à la collecte et à la classification des données pesticides. Ces travaux correspondent aux activités de l'étape AT1 décrits à l'échéancier du projet (voir section 6.2). Les données de pesticides seront utilisées lors de l'application des modèles de transport aux fins d'élaboration des NPA. Tel que décrit dans l'échéancier, la collecte et la classification des données pesticides comprennent :

(i) L'inventaire des suivis environnementaux ayant documenté les concentrations en pesticides mesurées dans les rivières Chaudière et Beaurivage;

(ii) Les pratiques phytosanitaires utilisées dans les bassins versants des rivières Chaudière et Beaurivage;

(iii) L'identification de pesticides prioritaires pour Environnement Canada (EC) et pour l'Agence de Réglementation pour la Lutte Antiparasitaire (ARLA) de Santé Canada;

(iv) La classification des pesticides pour l'élaboration des NPA.

Les données pesticides seront utilisées tant au niveau de la définition des scénarios de gestion agricole (*e.g.* pratiques phytosanitaires) qu'au niveau du calage et la validation des trois modèles sélectionnés (*e.g.* concentrations mesurées en rivière).

L'ensemble de ces données est donc très important en vue de l'application et la comparaison des modèles, et pour pouvoir définir les NPA sur le bassin versant de la rivière Chaudière.

3.1 CONCENTRATIONS EN PESTICIDES DANS LES RIVIÈRES BEAURIVAGE ET CHAUDIÈRE

Suite à une revue de littérature et à des discussions avec des intervenants des ministères de l'Environnement du Canada et du Québec, un inventaire des données disponibles de concentrations en pesticides dans les rivières Chaudière et Beaurivage a été réalisé. Cet inventaire avait pour but de répertorier les campagnes de suivi environnemental (Environnement Canada, ministère de l'Environnement du Québec, actuellement le MDDEP, *etc.*) ayant généré des mesures de concentrations en pesticides et pouvant être prises en compte

pour l'application de la modélisation du transport. Ces campagnes de suivi devaient ainsi permettre la caractérisation de l'évolution temporelle des concentrations en pesticides (et si possible des débits associés) retrouvées en rivière suite aux pratiques phytosanitaires et durant la saison de croissance des cultures.

Trois campagnes de suivi, répondant à ces conditions, ont été répertoriées dans le bassin versant de la rivière Chaudière. Pour ces trois cas, les suivis environnementaux ont été réalisés dans le sous-bassin de la Rivière Beaurivage. On peut les classer en deux catégories :

(i) Suivis de 1996 et 1997 (Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec);

(ii) Suivi de 2005 (INRS-ETE, contribution externe à l'actuel projet).

Les méthodes utilisées, les points d'échantillonnage et les résultats sont présentés en ANNEXE A. Les suivis de 1996 et de 1997 ont permis de confirmer que les superficies utilisées en culture de maïs sont une source importante d'herbicides qui peuvent éventuellement être exportés vers les cours d'eau (Giroux, 1998). Les résultats du suivi de 2005 semblent également démontrer une présence d'herbicides provenant principalement de la culture du maïs dans le sous-bassin versant étudié. Les résultats acquis permettent également une bonne caractérisation de la variation temporelle des concentrations d'herbicides au cours de la saison de croissance des cultures.

3.2 IDENTIFICATION DES PRATIQUES CULTURALES LIÉES AUX PESTICIDES

Tel qu'indiqué précédemment, les données de concentrations de pesticides en rivière permettront de caler et de valider les trois modèles de transport sélectionnés. Pour les fins d'application de ces modèles, un certain nombre de données d'entrée relatives aux pratiques phytosanitaires doit être acquis. Ceci est le but de la présente enquête qui a été menée sur le terrain.

Cette enquête est décrite en ANNEXE B, avec ses résultats. Nous avons obtenu des informations sur les composés pesticides, leur formulation et leur taux d'application sur les cultures (susceptibles d'être applicables pour le sous-bassin de la rivière Beaurivage). Il est à noter que seule une future enquête, davantage approfondie et qui est présentement en cours auprès de Clubs de fertilisation oeuvrant au niveau du sous-bassin de la Beaurivage, permettra de mieux connaître les pratiques réellement appliquées dans ce sous-bassin. Nous avons également obtenu des informations sur les PGB pratiquées par les agriculteurs du bassin

versant, concernant les bandes riveraines et le mode d'application des pesticides. L'élaboration d'un formulaire d'enquête (voir ANNEXE D), et sa distribution future auprès de producteurs représentatifs du sous-bassin de la rivière Beaurivage, permettra d'estimer les superficies cultivées qui sont soumises au travail réduit du sol (*e.g.* charrue scarificatrice ou chisel, semis direct ou non-travail du sol), et qui permettent de réduire les volumes d'eau ruisselée quittant les champs agricoles.les travaux primaires du sol.

3.3 IDENTIFICATION DE PESTICIDES PRIORITAIRES POUR EC ET POUR L'ARLA

L'identification de pesticides prioritaires, selon les risques de contamination des eaux de surface, des impacts biologiques (*e.g.* critère de concentration pour la protection de la vie aquatique) et de la limitation des usages de l'eau (*e.g* critère ou norme de concentration pour l'eau potable), a déjà été réalisée par divers services ou agences gouvernementales de plusieurs pays. Le présent projet prévoit d'inclure la liste des pesticides prioritaires d'EC et de l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) de Santé Canada dans les bases de données de l'INRS-ETE aux fins d'analyse et d'élaboration des normes.

3.3.1 Pesticides prioritaires pour EC

Lors de la rencontre entre EC et l'INRS-ETE qui a eu lieu à Québec le 13 décembre 2005 (voir l'ANNEXE E pour le compte rendu), M. Pierre-Yves Caux (EC) a transmis à l'INRS-ETE une liste des dix pesticides prioritaires pour le développement des NPI. Les dix pesticides prioritaires (« top ten ») pour le développement des NPI sont :

- *Chlorpyrifos* : Insecticide (Lorsban, Dursban);
- *Atrazine* : Herbicide (AAtrex, Atratol, *etc.*);
- *Trichlorfon* : Insecticide (Dylox, Masoten);
- *Pendimethalin* : Herbicide (Prowl, Stomp);
- *Tefluthrin* : Insecticide (Force, *etc.*) ;
- *Methomyl* : Insecticide (Lannate, Nudrin, Lanox);
- *Quintozene* : Fongicide (Quintozen, Terrachlor);
- *Malathion* : Insecticide (Cythion, Malathion);
- *Diquat* : Herbicide (Diquat, *etc.*)
- *Fluoroxypyr 1-methylheptyl ester* : Herbicide (Starane).

L'élaboration de cette liste de pesticides prioritaires pour la détermination des NPI est notamment basée sur le Système APPLES (A Pesticide Priority Listing Evaluation System), un outil développé par EC afin, entre autres et historiquement, de prioriser les pesticides pour le développement de critères sur la qualité de l'eau. L'outil APPLES prend en compte les caractéristiques toxicologiques et bio-physico-chimiques des pesticides. L'importance de ces caractéristiques bio-physico-chimiques sera déterminante lors du classement des pesticides qui sera fait par l'INRS-ETE, ceci aux fins du développement des NPA.

Cette liste de pesticides prioritaires prend également en compte certains aspects pratiques liés à l'homologation des pesticides (*ex.* : sont exclus de cette liste les molécules actives dont on prévoit une fin d'homologation du produit au Canada) et au volume des ventes au Canada. Dans le cadre du présent projet sur développement de NPA, l'INRS-ETE portera un intérêt particulier sur cette liste des « top ten » pesticides pour lesquels des NPI seront développés par EC.

3.3.2 Pesticides prioritaires pour l'ARLA

La liste des pesticides prioritaires pour l'ARLA demeure à être définie, notamment en regard des objectifs visés à l'intérieur de l'actuel projet. En effet, les pesticides priorisés par l'ARLA le sont généralement pour des fins spécifiques liées notamment à la santé humaine (*ex.* : résidus de pesticides dans les aliments). L'INRS-ETE explorera davantage les composés prioritaires par l'ARLA en regard des risques d'occurrence dans les eaux d'alimentation humaine.

3.4 CLASSIFICATION DES PESTICIDES POUR L'ÉLABORATION DES NPA

Dans le présent projet, six classes de pesticides doivent être définies pour la détermination des NPA.

3.4.1 Catégories et intérêts des groupes de pesticides

Plusieurs modes possibles de classification des pesticides ont été présentés aux représentants d'Environnement Canada, lors de la rencontre EC et INRS-ETE qui s'est tenue à Québec (INRS-ETE) le 13 décembre 2005 (voir ANNEXE E pour le compte rendu). Le présent paragraphe présente ces modes possibles de classification des pesticides.

D'une façon générale les pesticides peuvent être classés soit selon leur catégorie, leurs propriétés clés, leur utilisation en agriculture, ou leur occurrence dans l'environnement :

3.4.1.1 Catégories

(i) Classement par organisme-cible :

Herbicides; insecticides; fongicides; nématicides; avicides; rodenticides; *etc.*

(ii) Classement par groupe chimique :

45 groupes chimiques. *Ex.* : Carbamates, organochlorés, triazines, amides, *etc.*

Le classement de pesticides par catégories constitue un premier niveau de distinction des pesticides selon leurs propriétés. En effet, certains groupes d'insecticides ont, par exemple, des solubilités dans l'eau inférieures à celles des herbicides, tandis que leur persistance dans l'environnement peut être plus élevée. Cependant et à l'intérieur d'un même groupe chimique (*e.g.* carbamates), on observe une très grande variabilité des propriétés des pesticides de ce groupe. Ainsi et lors d'une comparaison entre plusieurs composés provenant de deux groupes chimiques différents, des composés d'un premier groupe peuvent présenter certaines propriétés bio-physico-chimiques très comparables à celles de composés du second groupe. Le classement de pesticides par groupe chimique ne garantit pas ainsi un classement mutuellement exclusif des composés en regard de leur propriétés bio-physico-chimiques (ex. : solubilité, demi-vie, *etc.*).

3.4.1.2 Propriétés clés

(i) Propriétés bio-physico-chimiques :

demi-vie, solubilité, coefficient d'adsorption, *etc.*

Classes de pesticides prioritaires selon le potentiel de contamination.

(ii) Impacts (éco)toxicologiques :

Normes de potabilité ou de protection de la vie aquatique. Indices de toxicité : DL_{50} ; NOEL (« no observed effect level »), *etc.*

Le classement des pesticides par propriétés bio-physico-chimiques clés (i), pour les fins de la détermination des NPA, apparaît être le plus approprié en regard du comportement des composés dans l'environnement. Ce point sera détaillé dans le paragraphe suivant.

3.4.1.3 Utilisation en agriculture

(i) Identification des cultures à risques de contamination : Cultures consommatrices de pesticides; pratiques agricoles et phytosanitaires; conditions pédoclimatiques, *etc.*

(ii) Bilan des ventes de pesticides dans les provinces et au Canada : fonction des grandes cultures à l'intérieur des écozones.

(iii) Densité d'utilisation : Inventaire des ventes (masse) / superficies cultivées (ha). Indicateur de la pression environnementale des intrants.

Le classement des pesticides selon leur utilisation en agriculture constitue une indication *a priori* des risques de contamination liés à la grandeur de leur utilisation. Des bilans globaux de ventes et/ou d'utilisation des pesticides au Canada ou au Québec sont disponibles, par exemple Gorse (2005) et Brimble *et al.* (2005).

L'intérêt de la connaissance des ventes et de la densité d'utilisation des pesticides est évidente: elle est un indicateur de la pression environnementale exercée par ces composés. Cette connaissance constitue un pré-requis essentiel pour établir un portrait global des risques de contamination de l'environnement et donc des impacts potentiels sur les écosystèmes récepteurs. Les niveaux de précision, de justesse et d'actualisation de ces données d'utilisation des pesticides demeurent cependant souvent très limités à l'échelle de bassins versants agricoles spécifiques.

3.4.1.4 Occurrence dans l'environnement

(i) Banque de données de suivi environnemental : Collection des campagnes de suivi de la qualité des cours d'eau en régions agricoles intensives au Canada.

(ii) Fréquence de détection et de dépassement des normes : Classes de pesticides prioritaires selon les constats sur l'état de l'environnement.

Le classement des pesticides selon leur occurrence dans l'environnement est alors basé sur les observations *in situ* de contaminations déjà existantes. Bien que l'inventaire des cas de contamination peut aider à l'établissement du profil des pesticides à risques selon les cultures, ce travail comporte de nombreuses incertitudes (conditions pédoclimatiques associées aux différentes textures du sol, pratiques culturales réellement appliquées, *etc.*). De plus, les cas présentement répertoriés de contamination au Canada peuvent ne représenter qu'une fraction des cas de contamination potentiellement existants. Puisqu'il n'est pas possible de réaliser des suivis environnementaux de tous les pesticides à risque sous divers contextes agricoles, pédologiques et climatiques, ce mode de classement s'avère être limitant pour la détermination de NPA dans les différents contextes de bassins versants agricoles rencontrés au Canada.

3.4.2 Classification proposée pour la détermination des NPA

Suite aux conclusions du paragraphe précédent, les classes de pesticides doivent viser les caractéristiques bio-physico-chimiques de ceux-ci qui déterminent leur devenir dans les

différents compartiments des agroécosystèmes. Ces caractéristiques bio-physico-chimiques sont principalement la solubilité dans l'eau, S_w (ou, alternativement, le coefficient de partage octanol/eau, K_{ow}), le coefficient d'adsorption (*e.g.* coefficient de distribution sol/eau ou K_d) et la demi-vie, $t_{1/2}$ (ou, alternativement, la constante de dégradation, k). Une telle classification des pesticides, basée sur leurs propriétés qui conditionnent leur devenir, est courante dans les études portant sur la modélisation du transport de ces composés vers les eaux de surface et souterraines. La plupart des modèles mécanistes de transport utilisent en effet les représentations mathématiques des processus chimiques et biologiques modulant la vitesse de transport et la persistance des pesticides dans les eaux de ruissellement, et l'eau interstitielle du sol. Les paramètres représentant la grandeur de ces processus d'atténuation (principalement l'adsorption et la dégradation) sont ainsi les meilleurs indicateurs du comportement environnemental des pesticides. Pour cette raison, de nombreux paramètres cités ci-haut (S_w, K_{ow}, K_d, $t_{1/2}$, k) constituent des données d'entrée incontournables pour les modèles mécanistes de transport des solutés avec l'eau sur ou dans le sol.

Pour ces raisons, une classification des pesticides selon leurs caractéristiques bio-physico-chimiques apparaît être la plus appropriée pour la détermination des NPA. En effet, ces caractéristiques bio-physico-chimiques : (i) déterminent le devenir des pesticides dans l'environnement et donc les concentrations susceptibles d'atteindre les cours d'eau, et (ii) sont des paramètres d'entrée requis par les modèles de transport. La suite du projet permettra de mieux cibler les plages de valeurs (et de combinaisons de valeurs) des caractéristiques bio-physico-chimiques pouvant permettre la définition de six classes de pesticides pour la détermination des NPA.

Toutefois, l'occurrence des pesticides dans les eaux de surface résulte notamment de l'effet d'un ensemble de facteurs complexes et inter reliés. En ce sens, les seules propriétés bio-physico-chimiques des pesticides ne peuvent expliquer entièrement les cas de contamination observés. Dans la suite du projet, nous examinerons la possibilité de prendre en compte l'occurrence des pesticides dans l'environnement comme un élément potentiel d'aide à la hiérarchisation des pesticides à risques.

3.5 TRAVAUX EN COURS ET FUTURS

Les travaux présentés dans cette partie correspondent aux activités de l'étape AT1 décrits dans l'échéancier du projet. Un certain nombre d'activités demeurent à être ou bien finalisées (activités en cours), ou bien à entreprendre afin de terminer la collecte et la classification des données pesticides. Ces activités sont citées ci-après.

- **Concentrations en pesticides dans les rivières Chaudière et Beaurivage**

  (i) Valider, à l'aide du contrôle de qualité des dosages, les données de concentration en pesticides mesurées lors du suivi environnemental du Bras d'Henri (sous-bassin de la rivière Beaurivage) mené par l'INRS-ETE en 2005.

  (ii) Finaliser l'acquisition complète des données météorologiques et hydrométriques correspondant aux trois campagnes de suivi répertoriées pour la qualité de la Rivière Beaurivage (MEF, 1996 et 1997, INRS-ETE 2005).

- **Enquête sur les pratiques culturales liées aux pesticides et sur les PGB**

  (i) Poursuivre l'acquisition et l'analyse des résultats de l'enquête menée auprès de Clubs de fertilisation et de producteurs agricoles situés dans les (sous)bassins versants d'étude. Cette enquête vise les mêmes années que celles des suivis des concentrations de pesticides (1996, 1997 et 2005).

  (ii) Les résultats de cette enquête permettront de caractériser de façon représentative, pour les fins de l'application des modèles de transport dans le sous-bassin de la Rivière Beaurivage (1996, 1997, 2005) : (i) les pratiques phytosanitaires (formulations, pesticides, taux d'application, périodes de traitement, modes d'application, pratiques de réduction des intrants; (ii) les principales PGB incluant les pratiques de conservation du sol (travaux primaires du sol) pour limiter le ruissellement de surface et les dispositifs de protection des cours d'eau telles que la présence de bandes riveraines enherbées.

  (iii) Les PGB répertoriées sur la zone d'étude seront comparées à celles décrites par ailleurs pour différentes régions du Québec (BPR, 2003). Ceci permettra d'estimer la représentativité de la description des PGB dans les régions du Québec (état actuel et tendances tels que décrits par BPR, 2003), en regard de celles prévalant dans la présente zone d'étude (rivières Beaurivage et Chaudière).

- **Identification de pesticides prioritaires pour EC et pour l'ARLA**

  (i) Lors du développement futur des NPA, un intérêt particulier sera porté à la liste des « top ten » pesticides pour lesquels des NPI seront développés par EC.

  (ii) La liste des pesticides prioritaires pour l'ARLA demeure à être définie, notamment en regard des objectifs visés à l'intérieur de l'actuel projet.

- **Classification des pesticides pour la détermination des NPA**

  (i) Le classement des pesticides par propriétés bio-physico-chimiques clés, pour les fins de l'application des modèles de transport et de la détermination des NPA, apparaît être le plus approprié en regard du comportement des composés dans l'environnement. Six classes de pesticides seront ainsi définies ultérieurement sur la base de leurs propriétés bio-physico-chimiques.

  (ii) La suite du projet permettra de mieux cibler les plages de valeurs (et de combinaisons de valeurs) des caractéristiques bio-physico-chimiques pouvant permettre la définition des six classes de pesticides.

  (iii) Dans la suite du projet, nous examinerons la possibilité de prendre en compte l'occurrence des pesticides dans l'environnement comme un élément potentiel d'aide à la hiérarchisation des pesticides à risques.

4 APPLICATION DES MODÈLES

Pour les trois modèles, nous présentons d'abord une description générale du modèle, puis les différentes étapes d'implantation réalisées à ce stade du projet afin de bien comprendre les difficultés posées et le travail requis. Pour plus de détails, le lecteur est invité à consulter les manuels d'utilisation de chaque modèle.

Étant donné que l'application de GIBSI est en avance sur les deux autres modèles, la partie concernant ce modèle est logiquement plus longue et plus complète.

4.1 BASINS

4.1.1 Présentation générale

BASINS (*Better Assessment Science Integration point and Nonpoint Sources)* est un système d'analyse environnemental multi-usages permettant l'étude par bassin versant de la qualité de l'eau à différentes échelles (ex. : parcellaire, locale, régionale…). Cet outil a été développé par le « *U.S. Environmental Protection Agency's (EPA's) Office of Water* » afin de répondre à trois objectifs principaux qui sont :

(i) Faciliter l'accès et l'analyse de l'information environnementale

(ii) Supporter l'analyse de systèmes environnementaux

(iii) Offrir une plate-forme de travail pour l'évaluation de pratiques de gestion alternatives

Le système BASINS est configuré pour supporter des études environnementales et écologiques dans un contexte de bassins versants. De plus, il présente une structure flexible permettant l'analyse à diverses échelles à l'aide d'outils et d'applications à la fois simples ou sophistiqués.

L'approche traditionnelle de caractérisation d'un bassin versant implique bon nombre d'étapes, notamment la collecte et la préparation des données, le regroupement de l'information, l'élaboration de cartes et de base de données, l'application et l'interprétation de modèles. Chacune de ces étapes implique l'utilisation de divers outils et systèmes informatisés. La réalisation de ces étapes de façon isolée peut occasionner des difficultés d'intégration, limiter la coordination et augmenter considérablement le temps d'exécution d'étude. BASINS facilite les études environnementales par bassin versant en regroupant les données requises ainsi que les composantes d'analyse sur une plate-forme commune. L'usage d'une fenêtre unique permet à l'analyste d'accéder aisément aux couches d'informations, d'appliquer des outils de

caractérisation et de planification et également d'appliquer divers modèles liés à la qualité de l'eau. Le regroupement des composantes principales permet donc de réduire le temps d'analyse, de répondre plus rapidement aux interrogations et finalement d'identifier plus rapidement les besoins liés aux données et aux pratiques de gestions.

Le système BASINS est intégré dans un système d'informations géographiques (SIG) permettant ainsi la représentation sous forme de cartes, tables et graphiques des diverses couches d'informations. À l'aide d'une telle plate-forme, BASINS rend possible l'intégration d'un large éventail d'informations (ex : occupation du territoire, type de sols, stations de mesures, sources ponctuelles de polluants...) et ce, pour une échelle déterminée par l'utilisateur.

Le système BASINS comprend une suite de composantes inter-reliées visant l'analyse de divers aspects environnementaux. Ces composantes incluent :

- Des outils de développement de nouveaux projets relatifs à un bassin versant
- Des outils d'analyse et de caractérisation (*TARGET, ASSESS* et *Data Mining*)
- Des utilitaires pour le regroupement et l'évaluation des données
- Des outils de génération de bassins versants
- Des utilitaires pour la classification de modèles numériques de terrain, d'occupation de territoire, du type de sol et l'observation de la qualité de l'eau
- La production de rapports facilitant le regroupement et l'extraction d'informations relatives au bassin versant
- Deux modèles de bassins versants de transport et charge de contaminants : *HSPF* et *SWAT*
- Un modèle simplifié d'estimation de sources non ponctuelles de pollutions basé sur des moyennes annuelles : *PLOAD*
- Un outil de simulation hydrologique basé sur un système d'informations géographiques *: AGWA (Automated Geospatial Watershed Assessment Tool).*

Les composantes d'analyse et de caractérisation intégrées à un SIG permettent rapidement à l'usager d'évaluer la zone d'étude, d'organiser l'information, d'obtenir et présenter des résultats. Les modules de modélisation permettent, quant à eux, d'évaluer les impacts de polluants provenant de sources ponctuelles ou non. Conjointement, ces modules supportent divers aspects spécifiques liés à la gestion par bassin versant. Ces aspects visent à :

- Identifier et prioriser la qualité de l'eau de cours d'eau à risque

- Fournir et caractériser les données liées aux sources de polluants tout en évaluant leurs magnitudes et leurs significations
- Intégrer les sources de polluants, leurs dégradations et leurs transports
- Évaluer et comparer le potentiel de diverses stratégies et pratiques de gestion
- Visualiser et communiquer au public les conditions environnementales à l'aide de tables de données, de graphiques et de cartes.

Cette structure décrite peut être représentée à l'aide de la Figure 4.1

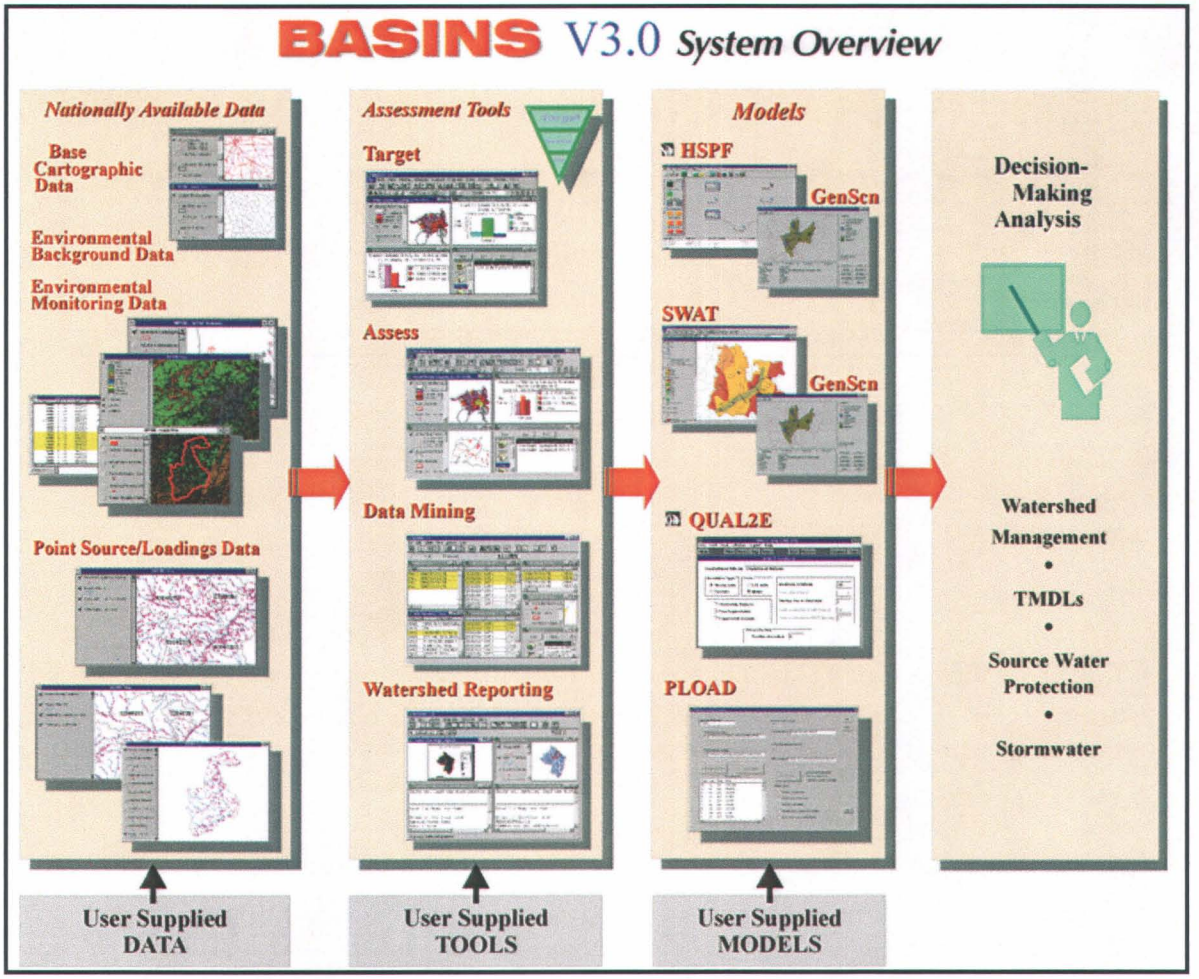


Figure 4.1 : Représentation sommaire des composantes du système BASINS

L'interface principale du système BASINS est présentée à la Figure 4.2.

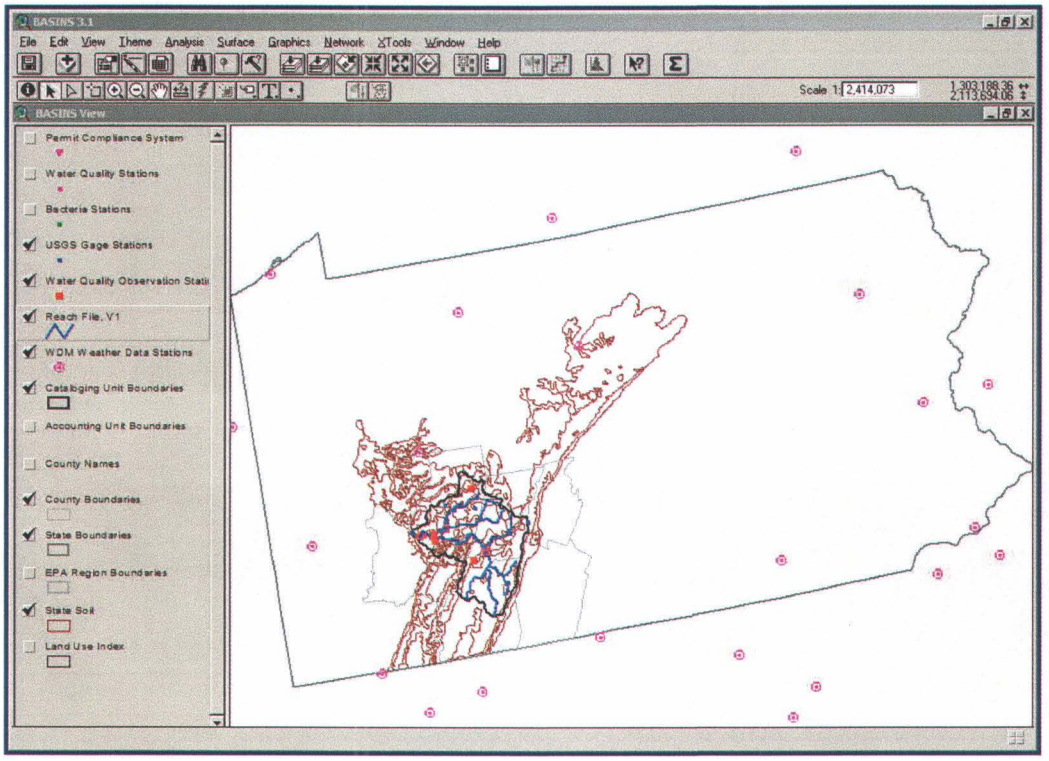


Figure 4.2 : Interface principale du modèle BASINS

4.1.1.1 Données requises par BASINS

Le système BASINS supporte un large éventail de bases de données qui doivent être extraites et formatées afin de faciliter la modélisation et l'analyse par bassin versant. La provenance des données d'entrées peut être diverse et complexe et leur intégration relève de leur caractère environnemental, de leur disponibilité et de leur résolution. Ces données sont regroupées en divers champs qui sont :

(i) Les données cartographiques

Les données cartographiques regroupent les limites administratives, hydrologiques et les routes principales. Ces données sont essentielles pour la localisation du secteur d'étude et la définition de la superficie drainée par le bassin versant. Plus précisément, ces données sont :

- Les limites du bassin versant
- Les routes

- Les zones urbaines
- Les limites provinciales, régionales, municipales et récréo-touristiques

(ii) Les données contextuelles environnementales

Les données contextuelles environnementales offrent des informations de support à la caractérisation du bassin versant et l'analyse environnementale. Il s'agit de données sur les caractéristiques des sols, de l'occupation du territoire et du réseau hydrographique. Ces informations sont utilisées conjointement avec les outils de modélisation afin d'obtenir une caractérisation plus détaillée des conditions du bassin versant et des caractéristiques des sources et charges ponctuelles de polluants. Ces données incluent :

- Les secteurs écologiques ainsi que les parcs et réserves
- Les types de sols (base de données pédologiques)
- Les caractéristiques du réseau hydrographique
- Le modèle numérique de terrain
- L'utilisation du territoire

(iii) Les données de suivi environnemental

Le système BASINS comprend plusieurs couches de données environnementales s'inscrivant dans un contexte de mesure de la qualité de l'eau. Ces données sont propres au bassin versant et permettent de mieux caractériser la qualité de l'eau de certains tronçons ou encore de cibler des secteurs à risque. Ces données peuvent également être utilisées pour évaluer le statut actuel ou l'étude historique de l'état de divers cours d'eau ou encore mesurer l'impact de pratiques de gestion. Ces données regroupent

- Les stations de mesures et d'observations de la qualité de l'eau
- Les stations de mesures de bactéries
- Les stations hydrométriques
- Les stations météorologiques

(iv) Les données de charges et sources ponctuelles de rejets et polluants

Le système BASINS comprend également des informations portant sur les charges et sources ponctuelles de polluants. La localisation, le type de sources ainsi que l'estimation de la charge de polluant sont donc fournis au modèle. Ces charges sont donc utilisées pour supporter

l'évaluation des charges sommaires sur le bassin versant combinant à fois les sources ponctuelles et non-ponctuelles. Des sources potentielles de polluants pouvant occasionner des déversements accidentels ou encore les sources d'émission de polluants dans l'air peuvent également être ajoutées.

4.1.1.2 Outils d'analyse et de caractérisation environnementale

Tel que décrit précédemment, le système BASINS comprend 3 outils d'analyse et de caractérisation permettant la réalisation d'études à diverses échelles.

(i) TARGET

Cet outil permet l'évaluation de la qualité de l'eau sur la superficie totale d'un secteur regroupant plusieurs bassins-versants. Il intègre les données disponibles pour un tel secteur et permet la synthèse des résultats en terme de bassins-versants et ce, pour un large éventail de paramètres environnementaux.

(ii) ASSESS

Cet outil opère sur un bassin versant unique et se concentre sur des localités précises (Stations de qualité de l'eau) liées au réseau hydrographique. Il permet d'établir des relations entre les conditions d'un élément du réseau hydrographique et des sources potentielles de polluant. Il assure également le suivi spécifique de divers tronçons (état, changements temporels, disponibilité des données, efforts de caractérisations, analyses de causes à effets)

(iii) DATA MINING

Cet outil établit des liens dynamiques entre diverses données à l'aide de cartes et de tables de données. En ce sens, il facilite l'intégration et l'interprétation environnementales de l'information historique et géographique. De plus, il assiste l'utilisateur et complète les outils précédents dans le processus de précision et de raffinement de l'analyse en passant d'une échelle régionale à celle de sites spécifiques (ex : stations de mesures).

4.1.1.3 Modèles de transport de polluants

Tel que mentionné, trois modèles sont intégrés au système BASINS afin de permettre la simulation du comportement de divers composés chimiques toxiques, polluants ou nutriments. L'utilisation de tels modèles s'articule autour de lignes directrices qui sont la préparation des données, la sélection de routines de calculs et l'utilisation d'outils de visualisation. Ces modèles sont :

(i) HSPF

HSPF est un modèle de bassin versant permettant la simulation de la pollution diffuse sur un bassin versant. Il permet également la génération de débit et l'évaluation de la qualité de l'eau dans le réseau hydrographique. Il peut être opéré sur un seul bassin versant ou encore sur un regroupement de sous bassins interconnectés généré à partir d'outils de délimitation offerts par BASINS. Le modèle HSPF requiert en entrée les données suivantes :

- L'utilisation du territoire
- Le réseau hydrographique
- Les données météorologiques
- L'information sur les polluants à évaluer

Il est à noter que l'extension WinHSPF interagit directement avec les utilitaires et les jeux de données du modèle BASINS pour faciliter l'extraction de l'information pertinente et la préparation des fichiers d'entrée du modèle HSPF. Cette extension constitue une fenêtre Windows de représentation du modèle.

(ii) SWAT

SWAT constitue un modèle physique développé pour mesurer l'impact de la gestion de l'utilisation du territoire sur l'eau, les sédiments et les composés chimiques liés à l'agriculture pour des bassins-versants complexes et de grandes étendues présentant des variations temporelles des types de sols, de l'utilisation du territoire et des conditions de gestion.

(iii) PLOAD

L'extension PLOAD a été développée pour le calcul des charges de polluants pour un bassin versant. Cette application estime les sources de pollution non ponctuelles sur une base annuelle. Elle peut être appliquée pour tout polluant spécifique. PLOAD se veut un modèle générique agissant comme évaluateur dans la gestion par bassin versant ou la protection d'étendue d'eau libre.

Le travail réalisé à ce stade du projet est décrit dans les prochaines sections et a consisté principalement à constituer les bases de données nécessaires à l'application des modèles et à commencer l'application du modèle HSPF.

4.1.2 Constitution des bases de données

4.1.2.1 Intégration des couches d'information

Cette section se veut une description de l'intégration au système BASINS des couches d'informations liées au secteur d'étude c'est-à-dire le bassin versant de la rivière Chaudière. Afin de procéder à son intégration, le système BASINS nécessite en entrée certaines données de démarrage qui sont :

- Le modèle numérique de terrain
- Les limites du bassin versant
- Le réseau hydrographique

Chacune de ces couches d'informations est disponible pour le secteur d'études puisqu'elles sont également utilisées par le modèle GIBSI. Toutefois, le format de ces couches doit être préalablement vérifié et modifié afin de respecter la structure des fichiers d'entrée correspondant pour le système BASINS. Cette étape est d'une importance capitale au bon fonctionnement de BASINS. En effet, les formats des différentes couches d'informations doivent respecter sans faute ceux prescrits par le système BASINS. Ces formats découlent d'efforts de standardisation de l'information dans l'application potentielle de BASINS sur la totalité du territoire des États-Unis. Une fois les données formatées, elles peuvent être intégrées au système. La Figure 4.3 présente l'intégration des données de démarrage au système BASINS.

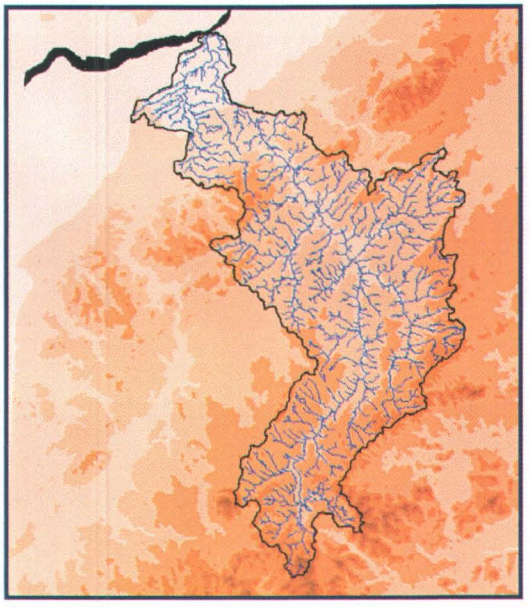


Figure 4.3 : Intégration du secteur d'étude au système BASINS

La Figure 4.3 démontre clairement la prise en compte initiale du secteur d'étude par BASINS. Il est donc possible d'observer en fond d'écran le modèle numérique de terrain de même les limites du bassin ainsi que le réseau hydrographique sont représentées par les lignes noire et bleues.

Suite à l'intégration des données de démarrage, l'utilisateur peut aux besoins ajouter toutes couches d'informations pertinentes à la présente étude. Dans le cas présent, nous avons procédé à une intégration complète de la totalité des informations pertinentes et disponibles pour le secteur d'étude.

Rappelons que l'intégration de chacune des couches d'information requiert préalablement la mise en forme des données selon les formats d'entrée du système BASINS. Plus techniquement, ces formats sont liés à ceux s'affichant dans la constitution de base de données de type DBASE associées notamment au ficher du système d'informations géographiques supportant le modèle (ArcView 3.2 dans le cas présent). De tels fichiers sont caractérisés par des champs de formats (chiffres, texte, logique…) et largeur définis. Ainsi, les fichiers liés aux couches d'informations doivent être convertis afin de disposer les données selon les champs définissant les fichiers d'entrée de BASINS. Une attention toute particulière doit être portée aux unités puisque en raison de l'origine du système BASINS celui-ci respecte plutôt le système anglais plutôt que le système métrique. Les unités doivent donc être modifiées pour répondre à cette exigence.

Les différentes couches d'informations intégrées au système BASINS sont présentées ci-dessous selon les champs présentés à la section 4.1.1.1

(i) Les données contextuelles environnementales

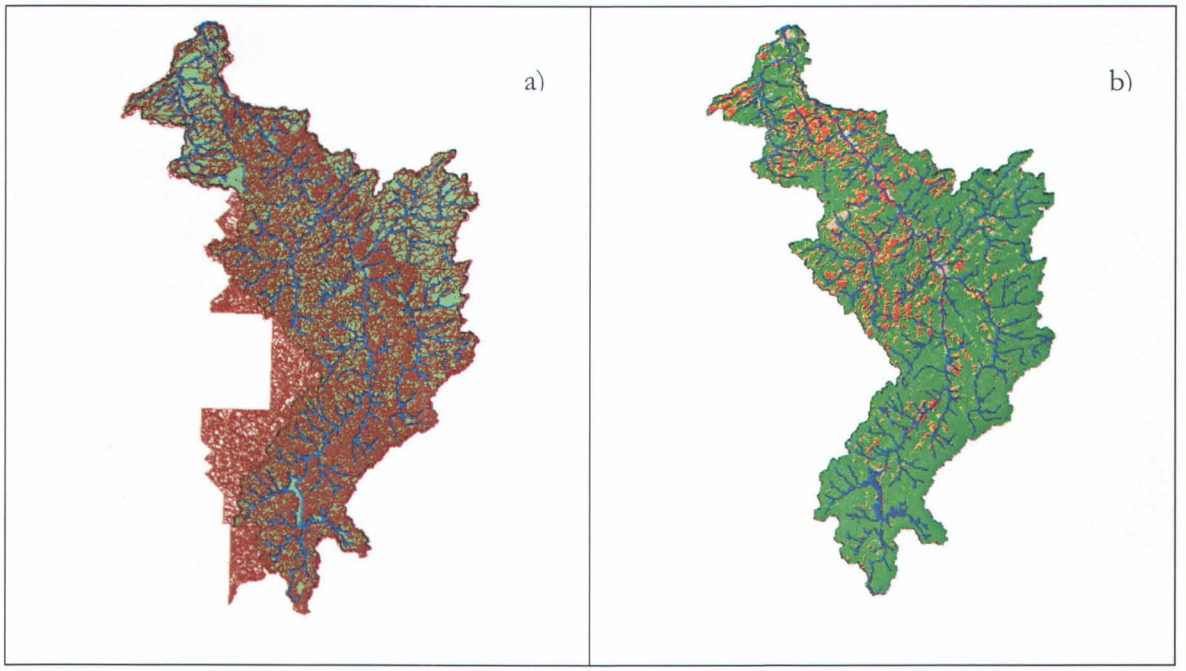


Figure 4.4 : Carte de sols (a) et de l'occupation des sols (b) du bassin versant de la Chaudière obtenues avec BASINS

Contrairement à l'utilisation du territoire qui se présente sous forme d'une carte ou chaque pixel est associé à une classification de l'occupation du sol, les types de sol sont plutôt représentés par un ensemble de polygones faisant référence aux caractéristiques du sol le définissant.

(ii) Les données de suivi environnemental

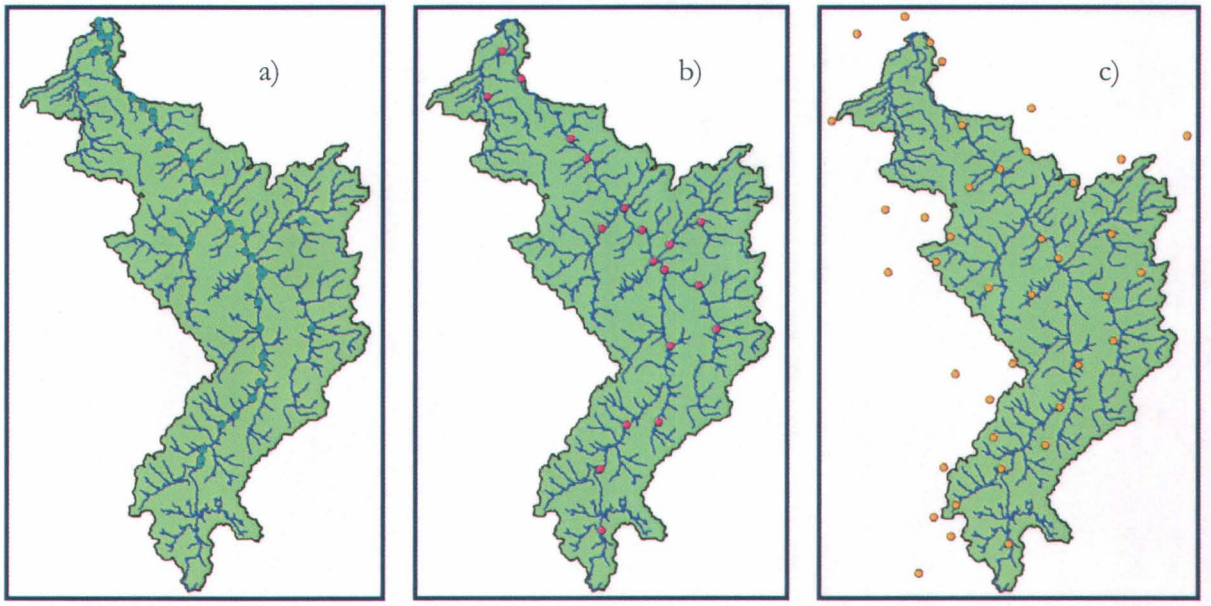


Figure 4.5 : Représentation a) des stations de mesures et d'observation de la qualité de l'eau, b) des stations hydrométriques et c) des stations météorologiques

Les données de suivi environnemental sont représentées géographiquement par le positionnement des diverses stations de mesures. Ces stations sont, par la suite, liées aux bases de données mesurées pour chaque site. Ces bases de données historiques sont largement sollicitées pour l'élaboration de rapport ou la modélisation de la qualité de l'eau sur le secteur d'étude.

(iii) Les données de charges et sources ponctuelles de rejets et polluants

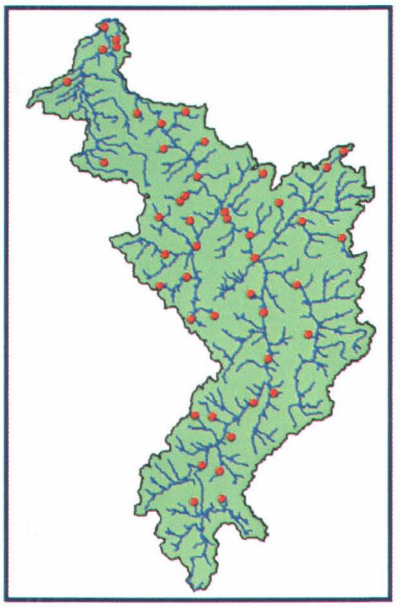


Figure 4.6 : Sources ponctuelles de rejets et polluants

Tout comme les données de suivi environnemental, celles portant sur les charges et sources ponctuelles de polluants sont représentées par la localisation des sources ponctuelles. Les sources de rejets sont également liées aux bases de données mesurées pour chaque site. Ces bases de données historiques interviennent aussi dans l'élaboration de rapport ou la modélisation de la qualité de l'eau sur le secteur d'étude. Il est à noter que les données mesurées doivent être codées selon les identifiants associés aux divers polluants notés par l'Agence de protection de l'environnement de États-Unis (*U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*).

À ce jour, seules les données de mesures de la qualité de l'eau n'ont pas été encore intégrées au système BASINS. Une fois leur mise en forme selon les formats prescrits par BASINS, l'intégration du secteur d'étude sera complète et les diverses applications du système pourront être exécutées. Néanmoins, l'intégration de ces mesures n'est pas requise pour conduire certaines applications ciblées par la présente étude, notamment l'utilisation de l'extension HSPF de BASINS.

4.1.2.2 Digitalisation automatique du bassin versant

Suite à l'intégration des couches d'informations, le système BASINS doit procéder à une digitalisation du bassin versant permettant l'utilisation subséquente d'outils d'analyses et de modèles de bassins versants. Cette digitalisation procède selon les étapes décrites ci-dessous.

(i) Délimitation automatique du secteur d'étude

À l'aide du modèle numérique de terrain, du réseau hydrographique numérisé et des limites du bassin versant, le système BASINS procède à une délimitation automatique du secteur d'étude. Le résultat (Figure 4.7) cible la zone comprise uniquement à l'intérieur des limites du bassin versant. De plus, le modèle numérique de terrain est reclassifié en fonction de la zone ciblée.

Figure 4.7 : Délimitation automatique du secteur d'étude

(ii) Digitalisation automatique du réseau hydrographique

Suite à la délimitation automatique du secteur d'étude, le système BASINS procède à une régénération automatique du réseau hydrographique utilisant à nouveau le modèle numérique

de terrain, le réseau hydrographique initial ainsi que la zone ciblée à l'étape précédente. Il est à noter que BASINS définit le réseau hydrographique selon une superficie acceptable. Dans le contexte actuel, la plus faible superficie acceptable est de 650ha. Le résultat (Figure 4.8) de cette régénération peut être superposé au réseau initial afin d'évaluer la qualité du réseau obtenu. La Figure 4.8 démontre clairement que le réseau nouvellement créé (présenté en bleu foncé) respecte l'original (présenté en bleu pâle) bien qu'il présente une arborescence légèrement plus faible. De plus, le système procède à la détermination des différents exutoires (points bleus) relatifs aux tronçons tout en déterminant les points d'entrée dans le réseau des sources de rejets et polluants (points rouges)

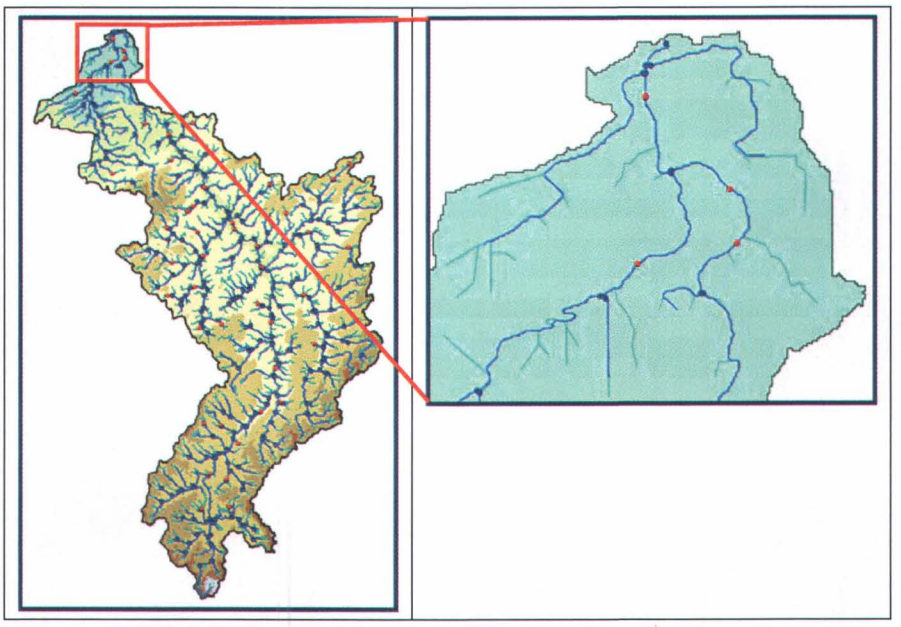


Figure 4.8 : Régénération automatique du réseau hydrographique

(iii) Délimitation automatique du bassin versant sélectionné.

Par la suite, l'utilisateur est appelé à indiquer au système BASINS, l'exutoire du bassin versant afin de procéder à la délimitation automatique du bassin versant sélectionné. Ainsi, BASINS délimite la surface de drainage correspondant au réseau hydrographique régénéré. Le système procède également à la détermination de l'ensemble des sous-bassins versants associés à chacun des exutoires relatifs aux tronçons. L'utilisateur peut également demander l'affichage d'attributs liés à la fois aux tronçons et aux sous-bassins.

La superficie des unités de calcul homogènes

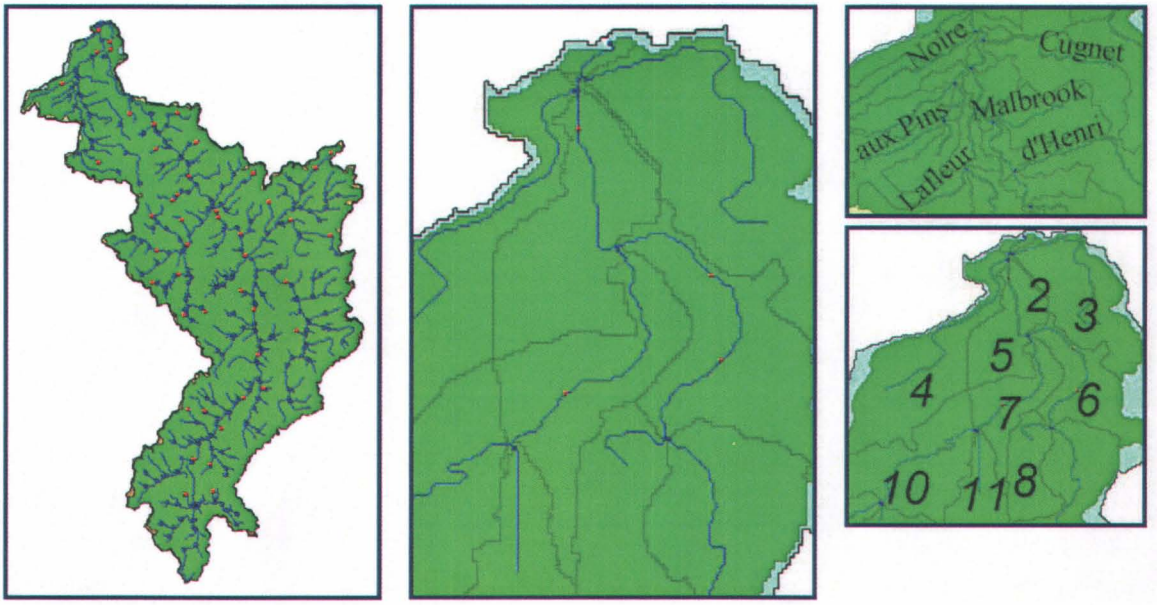


Figure 4.9 : Délimitation automatique du bassin versant sélectionné

Cette digitalisation du bassin versant à l'aide du système BASINS est une étape préliminaire et nécessaire à l'utilisation du modèle hydrologique HSPF.

4.1.3 Application du modèle HSPF

HSPF est un modèle de bassin versant permettant la simulation hydrologique de la qualité de l'eau de surface dans le réseau hydrographique en fonction de l'occupation du sol et la présence de sources ponctuelles de polluants. Il peut être opéré sur un seul bassin versant ou encore sur un regroupement de sous bassins interconnectés déterminés à partir d'outils de régénération offerts par BASINS. Le modèle HSPF requiert en entrée les données suivantes :

- L'utilisation du territoire
- Le réseau hydrographique
- Les données météorologiques
- Les données relatives aux polluants à évaluer

Mises à part les données météorologiques, les données d'entrée du modèle sont identiques à celles des fichiers correspondant du système BASINS.

Il est à noter que l'extension WinHSPF interagit directement avec les utilitaires et les jeux de données de BASINS pour faciliter l'extraction de l'information pertinente et la préparation des fichiers d'entrée du modèle HSPF. Plus précisément, cette extension constitue le portail d'entrée du modèle HSPF puisqu'il convertit l'ensemble des données d'entrée requises par ce modèle et contribue à l'intégration complète du secteur ciblé pour les simulations hydrologiques.

Préalablement à l'application du modèle HSPF, il est nécessaire de procéder à deux étapes qui sont :

(i) La reclassification de l'occupation du sol selon les classes thématiques utilisées par le modèle HSPF

Le modèle HSPF fait appel à des classes d'occupation du sol précises préétablies. En ce sens, le système BASINS permet la reclassification de l'occupation du sol afin de respecter les classes utilisées par le modèle HSPF. Le Tableau 4-1 résume l'attribution des classes d'occupation du sol propres au modèle HSPF à celles existantes préalablement pour le secteur d'étude. La classification originale utilisée est celle effectuée par Gauthier (1996) pour l'année 1995. Cette classification est également utilisée par le modèle GIBSI. Les classes résultantes sont celles utilisées directement par le modèle HSPF selon des paramètres précisés pour chacune des classes.

Tableau 4-1 : Reclassification de l'occupation du sol

Numéros de classes	Classes thématiques GIBSI	Classes thématique HSPF
1	Urbain	*Urban or Built-up Land*
2	Pâturage et foin	*Pasture*
3	Céréales	*Agricultural Land*
4	Maïs	*Agricultural Land*
5	Eau	*Water*
6	Milieu humide	*Wetland*
7	Sol nu	*Barren Land*
8	Friche	*Rangeland*
9	Feuillus	*Forest Land*
10	Conifères	*Forest Land*

(ii) La constitution du fichier de données météorologiques, disponibles pour chacune des stations, selon le format exigé par le modèle HSPF.

Le système BASINS dispose d'un utilitaire (WDMUtil) permettant à l'utilisateur de générer les fichiers météorologiques désirés. Les fichiers d'entrée de WDMUtil sont des fichiers textes contenant les données météorologiques pour chaque station dans un format précis. Il est à noter que ces fichiers ne doivent pas présenter d'interruption sur la totalité de la période de mesure. Toutefois, il n'est pas nécessaire que le période de mesure soit commune à chacune des stations. L'utilitaire WDMUtil fait appel à des scriptes de lecture décrivant les fichiers d'entrée qui permettent la génération des fichiers météorologiques d'entrée du modèle HSPF

Finalement, l'application du modèle HSPF débute par l'intégration du secteur d'étude réalisé à partir du système BASINS à l'aide de l'extension WinHSPF. Les différentes étapes de cette intégration sont décrites aux points suivants :

(i) L'utilisateur doit sélectionner le ou les sous(s)-bassin(s) versant désiré(s). Dans le cadre actuel, le sous bassin de la rivière Beaurivage a été sélectionné (en jaune sur la Figure 4.10).

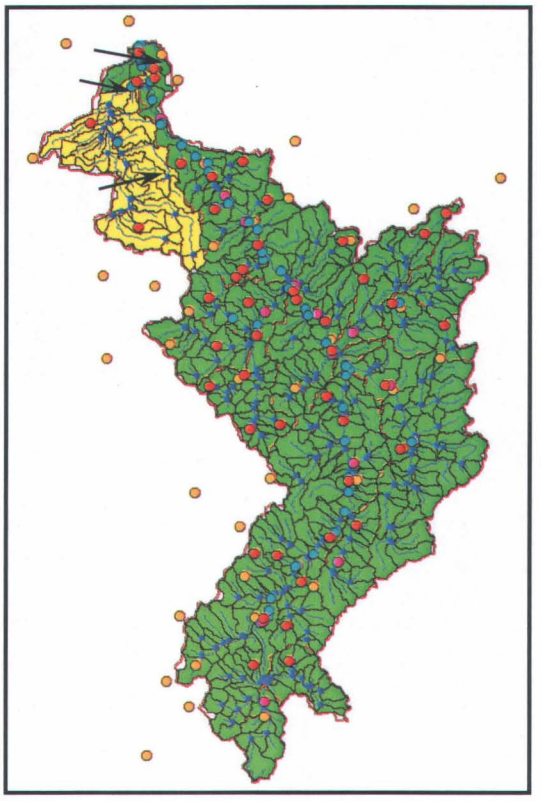


Figure 4.10 : Sélection de l'ensemble du sous bassin versant de la rivière Beaurivage

(ii) L'utilisateur doit également sélectionner les sources ponctuelles de rejets ou polluants susceptibles d'interagir avec les sous-bassins sélectionnés précédemment (voir flèches sur la Figure 4.10). De plus, l'utilisateur doit spécifier l'année de référence des mesures relatives aux rejets et polluants.

(iii) L'utilisateur doit spécifier quelle couche d'information relative à l'occupation sol doit être utilisée. Dans le cas présent, il est jugé acceptable d'utiliser la carte d'occupation respectant les classes thématiques du modèle HSPF. Cette carte résulte d'une reclassification de l'occupation du sol originale.

(iv) Finalement, l'utilisateur doit spécifier le fichier d'entrée de données météorologiques. Tel que décrit précédemment, ce fichier est généré par l'utilitaire WDMUtil.

L'intégration du secteur d'étude sélectionné résulte par son affichage à l'interface du modèle HSPF. Cet affichage s'apparente à la Figure 4.11

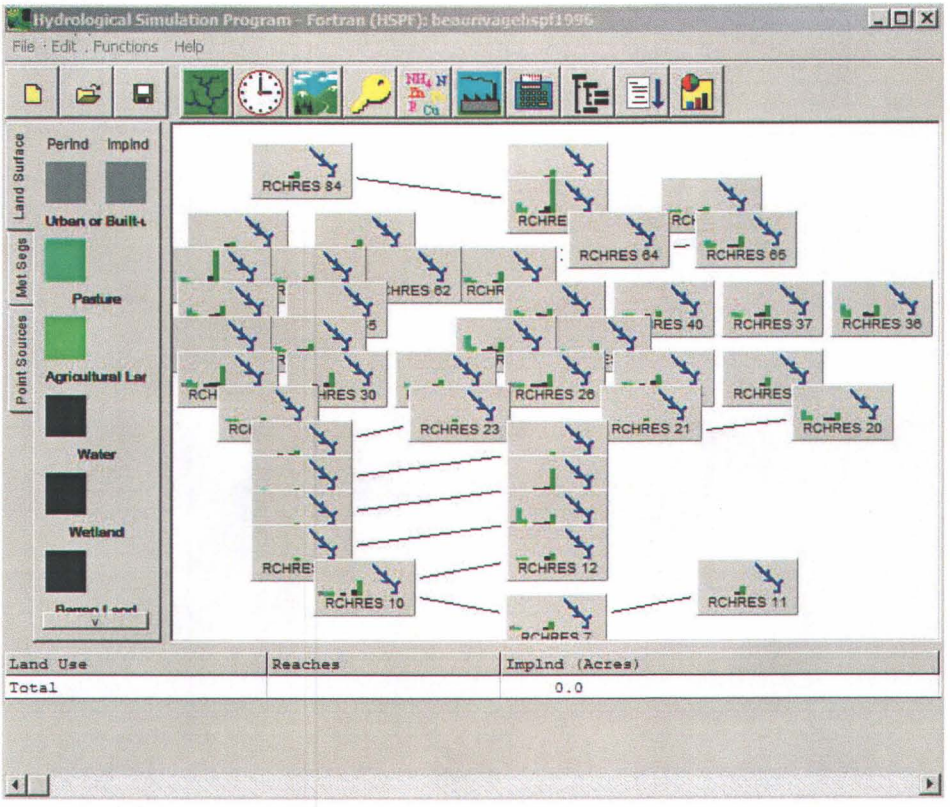


Figure 4.11 : Intégration du secteur d'étude sélectionné au modèle HSPF

Suite à l'intégration du secteur d'étude sélectionné (bassin versant de la rivière Beaurivage), il sera possible de procéder à des simulations hydrologiques contribuant au calage du modèle hydrologique HSPF. Par la suite, le modèle HSPF permettra l'analyse de la qualité de l'eau ainsi que l'évaluation environnementale de la pollution par les pesticides.

4.1.4 Travail en cours et prochaines étapes

Tel que mentionné, les données de mesures de la qualité de l'eau n'ont pas été encore intégrées au système BASINS. Une partie des travaux en cours vise leur mise en forme selon les formats prescrits par BASINS. Par la suite, l'intégration du secteur d'étude sera complète et les diverses applications du système pourront être exécutées. Il sera alors intéressant de faire appel aux divers outils d'analyses et de caractérisations du modèle BASINS dans le but de procéder au calage hydrologique ainsi qu'à l'obtention de rapport notamment sur la qualité de l'eau.

Néanmoins, l'intégration de ces mesures n'est pas requise pour conduire certaines applications ciblées par la présente étude, notamment l'utilisation de l'extension HSPF de BASINS. Les travaux en cours visent l'utilisation et le calage du modèle hydrologique HSPF. Ce modèle permettra par la suite l'analyse de la qualité de l'eau ainsi que l'évaluation environnementale de la pollution par les pesticides.

4.2 SWAT

4.2.1 Présentation générale

SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) est un modèle physique développé pour mesurer l'impact de la gestion de l'utilisation du territoire sur l'eau, les sédiments et les composés chimiques liés à l'agriculture pour des bassins versants complexes et de grandes étendues présentant des variations temporelles des types de sols, de l'utilisation du territoire et des conditions de gestion. Il a été développé par Arnold *et al.* (1996) pour l'USDA Agricultural Research Service (ARS). C'est un modèle continu avec un pas de temps de calcul journalier.

Les processus pris en compte par SWAT sont l'hydrologie de surface, l'érosion, la température du sol, la croissance des plantes, le transport des nutriments et des pesticides (Neitsch et al., 2001; Arnold and Fohrer, 2005). SWAT ne prend pas en compte l'infiltration vers les eaux souterraines. SWAT permet de simuler l'effet des pratiques agricoles sur ces processus. Le pas de temps des modèles est journalier. La définition des unités spatiales de calcul est assez différente de BASINS et GIBSI : SWAT est basé sur une unité de réponse hydrologique

(URH) qui correspond à une portion de territoire, définie à l'intérieur d'un sous-bassin, caractérisée par une unique occupation du sol, un unique type de sol et un unique type de pratique agricole.

Le modèle hydrologique de SWAT est basé soit sur la procédure du SCS Curve Number (Soil Conservation Service, 1972), soit sur la méthode d'infiltration de Green et Ampt (Green et Ampt, 1911). Étant donné l'absence de données de précipitation à un pas de temps inférieur à la journée (requis pour l'approche de Green et Ampt), nous avons adopté la procédure SCS-CN. La procédure utilisée dans la version actuelle de SWAT2000 est une version modifiée proposée par Sharpley et Williams (1990).

À ce stade du projet, nous avons essentiellement travaillé sur la constitution de la base de données. Ce travail a été réalisé en premier lieu sur le sous bassin de la rivière Beaurivage afin de se familiariser avec la procédure et appréhender plus facilement les difficultés. Par la suite, nous avons généralisé l'opération à l'ensemble du bassin versant de la rivière Chaudière.

4.2.2 Constitution de la base de données pour le bassin versant de la rivière Beaurivage

L'implantation de SWAT a été réalisée en utilisant l'interface graphique *AVSWAT2000* (Di Luzio *et al.,* 2004). Cette interface est une extension qui permet d'utiliser toutes les fonctions et le potentiel du SIG ArcView, en aidant à digitaliser le basin versant et à intégrer les différentes données (météo, hydrologiques, qualité).

4.2.2.1 Intégration des données météorologiques

Les données météorologiques journalières disponibles couvrent des périodes variées entre 1965 et 1999, sur 9 stations réparties à l'extérieur du bassin. Les données manquantes ont été complétées à l'aide du logiciel PHYSITEL (voir section 4.3.3). La distribution spatiale des données météorologiques sur le bassin versant est réalisée en attribuant à chaque sous-bassin les valeurs de la station la plus proche.

4.2.2.2 Intégration des données spatiales et attributs dans la base de données

La délimitation du sous-bassin de la rivière Beaurivage a été réalisée à partir du MNA en utilisant l'outil *Watershed Delineation* qui utilise et les extensions de ArcView et de l'outil *Spatial Analyst.* SWAT nécessite de diviser le bassin en sous-bassins. Le nombre et la taille des sous-bassins sont obtenus en fixant une valeur seuil de superficie qui définit la surface de drainage minimale requise pour former l'origine d'un cours d'eau. Pour le bassin de la rivière

Beaurivage, nous avons ainsi considéré une valeur seuil de 1500 hectares, ce qui a conduit à la définition de 29 sous-bassins (Figure 4.12).

La digitalisation du réseau hydrographique peut être réalisée à partir du MNA à l'aide du même outil (*Watershed Delineation*) ou bien en superposant un réseau déjà digitalisé ce qui peut être utile lorsque le MNA n'est pas suffisamment détaillé pour permettre de définir avec précision l'emplacement du réseau hydrographique. Ici, comme la couche d'information existait déjà, c'est cette deuxième option qui a été retenue.

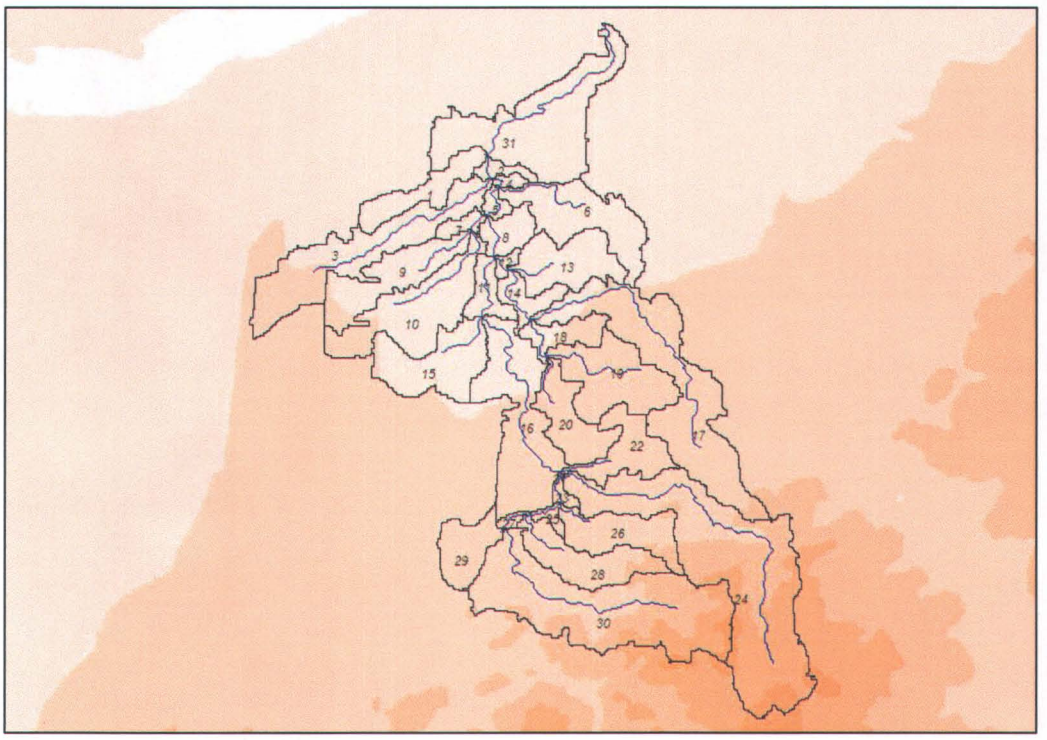


Figure 4.12 : Délimitation des sous-bassins et du réseau hydrographique pour le bassin versant de la Beaurivage

La caractérisation de l'occupation du sol a été réalisée en important la carte existante à la base de données *SWAT Land Cover*. Le lien entre les groupes d'occupation du sol et la base de données a été réalisé en utilisant une simple table. Les classes d'occupation du sol résultantes sont de 33% de forêt de feuillus, 22% de pâturage, 19% de forêt de résineux, 10% de friches et 6% de maïs (Figure 4.13).

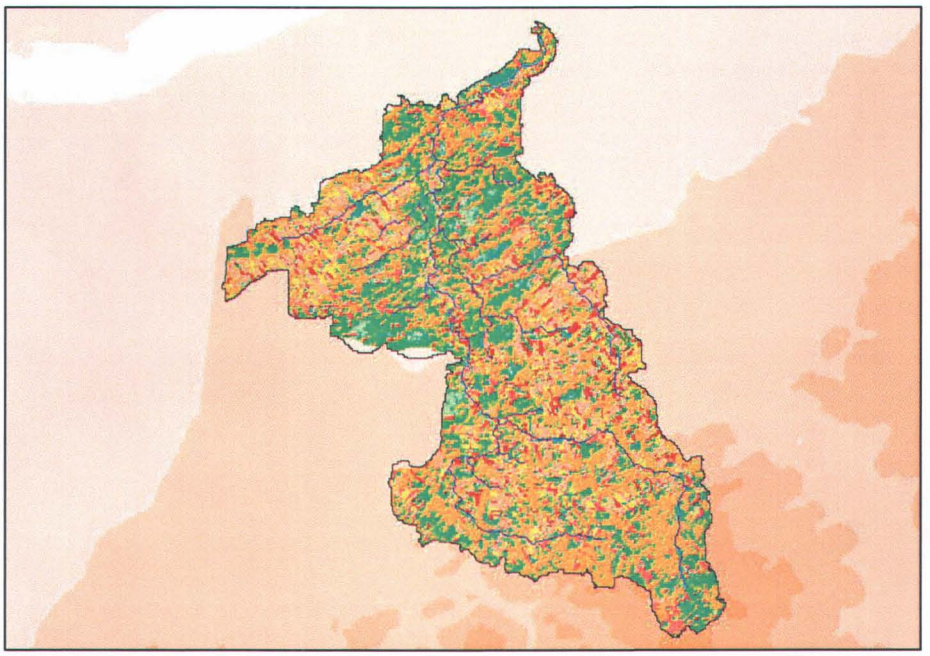


Figure 4.13 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Beaurivage dans SWAT

Concernant la carte des sols, nous avons suivi la procédure de AVSWAT : avec les données existantes pour chaque unité cartographique (pourcentage d'argile, de limon et de sable et conductivité hydrique), nous avons d'abord construit la base de données *USER Soils Database,* ce qui a permis de générer la carte des sols (Figure 4.14). Puis, à partir de ces données, nous avons dérivé d'autres propriétés du sol comme la capacité en eau disponible (AWC) en utilisant des fonctions de pédotransfert classiques proposées par Saxton et al. (1986). À partir des données de conductivité hydrique, nous avons classifié chaque unité cartographique de sol selon les groupes hydrologiques du Soil Conservation Service (SCS) A, B, C ou D afin que SWAT puisse calculer le ruissellement en utilisant la procédure SCS Curve Number.

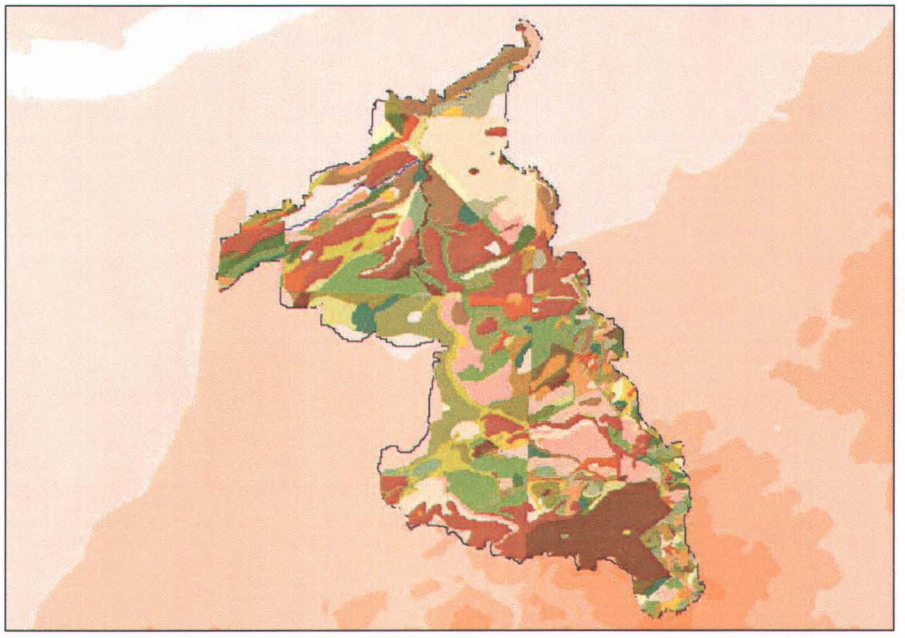


Figure 4.14 : Carte des sols du bassin versant de la Beaurivage dans SWAT

4.2.2.3 Digitalisation du basin versant

Une fois que l'occupation du sol et les données pédologiques ont été intégrées à la base de données, nous avons pu déterminer la distribution des unités de réponse hydrologiques (URH ou HRU) en superposant ces deux couches d'information. Il existe deux options possibles pour la détermination des URH : définir un seul URH à chaque sous-bassin ou définir plusieurs URH pour chaque sous-bassin. Nous avons adopté la deuxième option. La première étape consiste à définir une valeur seuil pour éliminer les classes d'occupation du sol (les classes couvrant un pourcentage du sous-bassin inférieur à la valeur seuil sont éliminées). La superficie des classes restantes est ensuite réajustée afin de couvrir 100% du territoire. Dans notre cas, nous avons préféré conserver toutes les classes d'occupation du sol en fixant une valeur seuil de 0%. Le même processus est suivi pour éliminer les classes de sol à l'intérieur de chaque occupation du sol. Là encore, nous avons conservé toute l'information en fixant une valeur seuil de 0%. Cela a conduit à la définition de 3240 unités spatiales ayant une combinaison unique d'occupation du sol et de type de sol. En recoupant cette information avec la délimitation du bassin, nous avons obtenu un total de 3278 URHs. À noter que dans SWAT, contrairement à GIBSI et BASINS, les URHs ne peuvent pas être visualisés à l'aide d'une carte.

4.2.3 Constitution de la base de données pour le bassin de la rivière Chaudière

Le même travail que précédemment a été réalisé pour l'ensemble du bassin versant de la rivière Chaudière. La délimitation du bassin est présentée sur la Figure 4.15, la carte d'occupation du sol sur la Figure 4.16 et la carte des types de sol sur la Figure 4.17. À noter qu'à cette échelle, afin de garder un nombre raisonnable de sous bassins (33), la taille minimale a été fixée à 14500 ha. Ainsi, le bassin de la Chaudière est séparé en seulement trois sous-bassins au lieu des 29 obtenus à la section précédente.

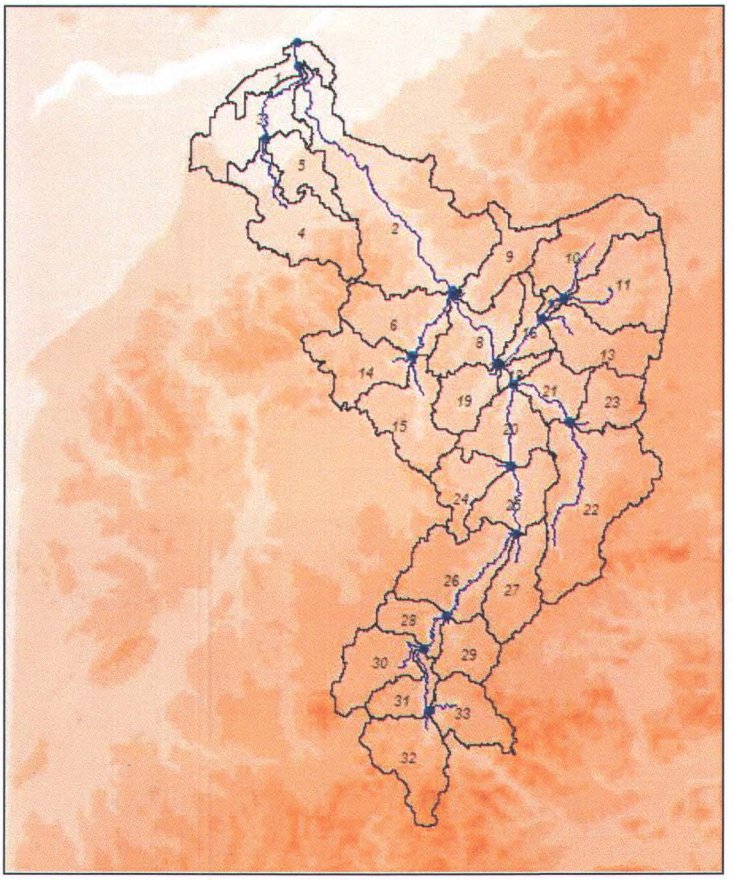


Figure 4.15 : Délimitation des sous-bassins et du réseau hydrographique pour le bassin versant de la Chaudière

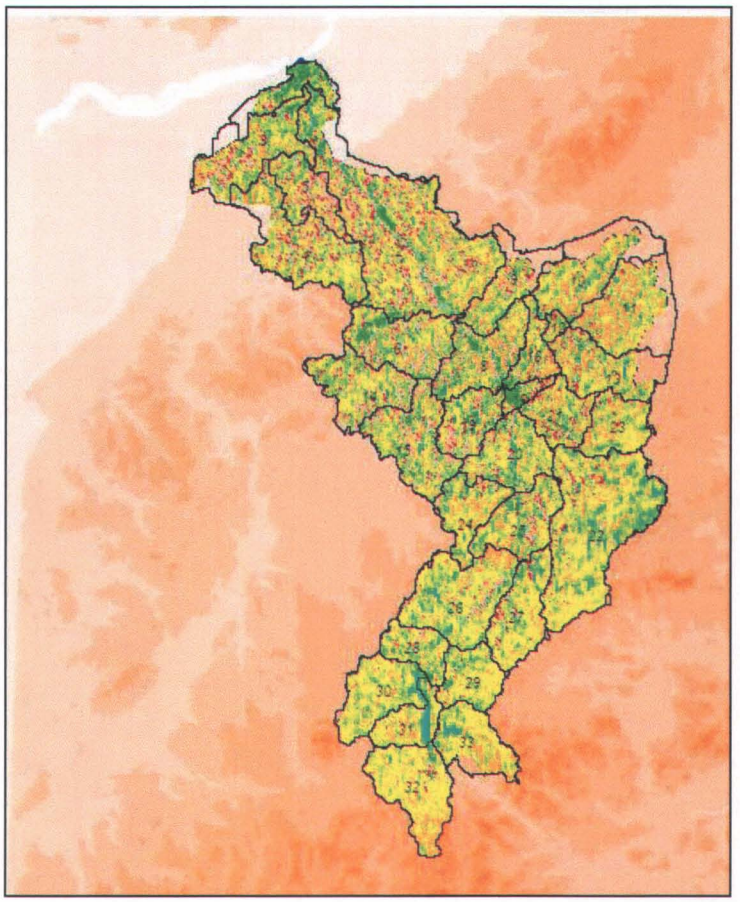


Figure 4.16 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Chaudière avec SWAT

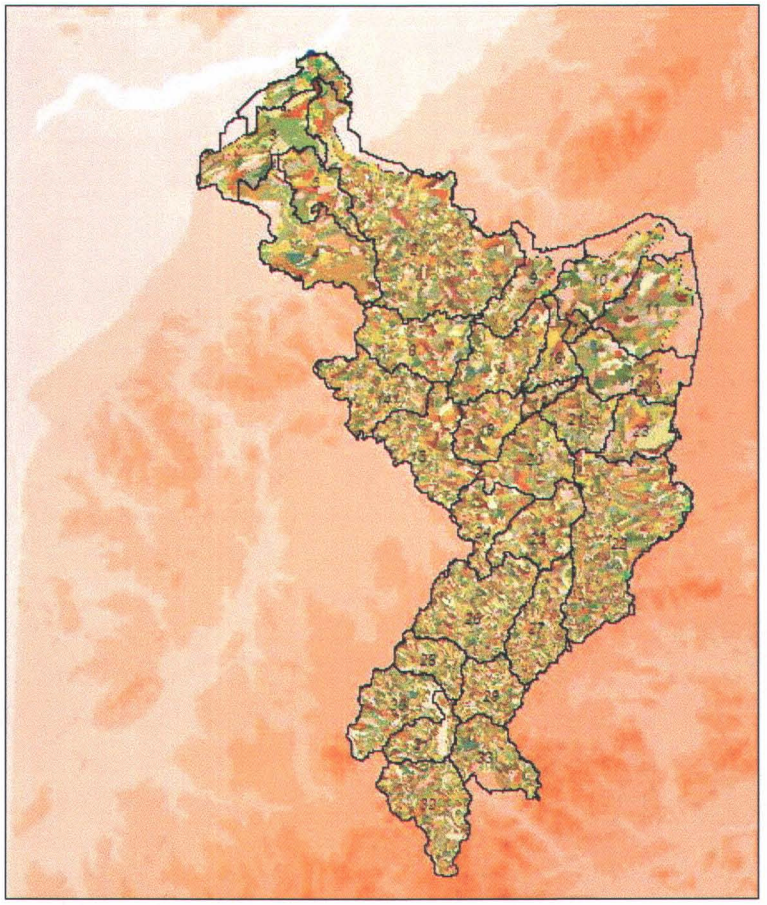


Figure 4.17 : Carte des sols du bassin versant de la Chaudière avec SWAT

4.2.4 Travail en cours et prochaines étapes

À cette étape du travail, la base de données pour l'implantation de SWAT (MNA, occupation du sol, données pédologiques, données météorologiques) est complétée aussi bien pour le bassin de la Beaurivage que pour le bassin de la Chaudière. La délimitation des bassins a été réalisée avec succès.

La prochaine étape consiste à procéder au calage du modèle hydrologique. Pour cela, il s'agira d'abord d'analyser les séries de débits journaliers observés et de séparer les débits de base des débits liés au ruissellement. Cela sera réalisé à l'aide d'une méthode manuelle et d'un programme fourni par les développeurs de SWAT. Une fois le modèle hydrologique calé, nous appliquerons et calerons les modèles d'érosion et de transport des pesticides.

4.3 GIBSI

4.3.1 Présentation générale

GIBSI (Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé) est un système d'aide à la décision capable de simuler les principaux processus hydrologiques affectant l'évolution quantitative et qualitative de l'eau d'un bassin versant (Villeneuve *et al.*, 1998; Rousseau *et al.*, 2000a; 2000b). Les modèles mathématiques de simulation de l'hydrologie, de l'érosion des sols, du transport et du devenir de l'azote, du phosphore et des pesticides, et de la qualité de l'eau en rivière et en lac de GIBSI permettent, à l'aide de bilans de masse, de quantité de mouvement et d'énergie (et quelques relations empiriques et phénoménologiques), d'évaluer les impacts sur l'eau de surface de différents scénarios d'intervention tout le long du réseau hydrographique. L'unité spatiale de simulation pour la qualité de l'eau est le tronçon de cours d'eau d'un sous-bassin versant élémentaire, unité spatiale de simulation (*USS*) pour le bilan hydrologique (plus petite unité homogène), et l'unité temporelle de simulation, la journée. Pour ce qui est des processus d'érosion, de transport et du devenir des polluants agricoles, ils sont simulés sur chacune des occupations de sols agricoles d'un sous-bassin versant élémentaire. À noter que, à l'instar des deux autres modèles, GIBSI ne simule pas l'infiltration vers les eaux souterraines.

Du point de vue de la gestion des bassins versants, GIBSI permet d'élaborer des scénarios d'usage de l'eau et de l'utilisation du territoire à l'aide des modules de gestion suivants:

(i) **ouvrages hydrauliques** (ex.: ajout ou retrait d'infrastructures hydrauliques, modification des règles d'opération des infrastructures hydrauliques);

(ii) **aménagement du territoire** (ex.: changements d'occupation du sol, analyse de schémas d'aménagement, *etc.*);

(iii) **rejets ponctuels** (ex.: ajout ou retrait de rejets ponctuels urbains et industriels, modifications des caractéristiques de ces rejets) et;

(iv) **pollution diffuse d'origine agricole** (ex.: modifications des systèmes de production agricole - cheptel et mode d'épandage des fumiers et lisiers - et des pratiques culturales - fertilisation et protection des cultures, conservation des sols).

Les simulations à l'aide des modèles permettent ensuite de déterminer l'effet des modifications apportées sur le régime hydrologique et la qualité de l'eau en tout point du réseau hydrographique. Des outils d'analyse permettent enfin d'analyser les résultats de simulations : graphiques, cartes, calcul de probabilités de dépassement, analyse avantage/coût.

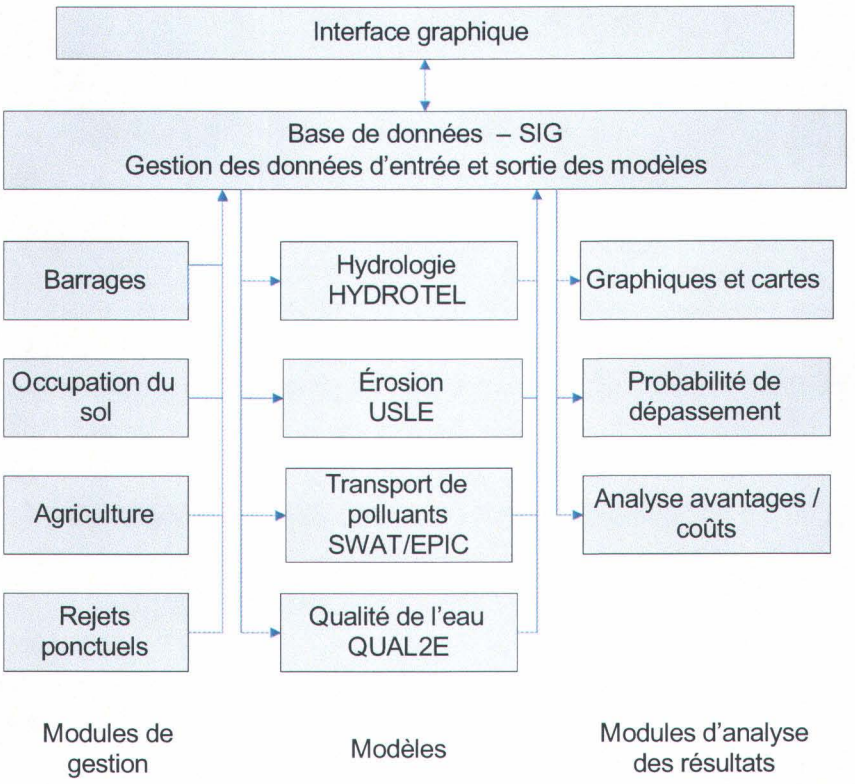


Figure 4.18 : Représentation schématique du fonctionnement général de GIBSI

4.3.2 Données requises spécifiques pour les modèles de GIBSI

Outre les données génériques décrites à la section 2.1.1 (Tableau 2-1), les données suivantes sont également nécessaires pour les modèles hydrologique, d'érosion ou de transport des pesticides. Elles sont toutes disponibles.

- Épaisseur des couches de sol pour chaque USS
- Capacité au champ de chaque couche de sol de l'USS
- Teneur en eau au point de flétrissement de chaque couche de sol de l'USS
- Densité apparente de chaque couche de sol de l'USS
- Porosité efficace de la couche de sol de l'USS
- Pourcentage moyen d'argile dans chaque couche de sol
- Pourcentage moyen de limon dans chaque couche de sol
- Pourcentage moyen de sable dans chaque couche de sol.
- Pourcentage de matière organique de chaque couche de sol

- Facteur C pour les différentes périodes de croissance végétale.
- Facteur d'érodabilité (K) annuelle moyen
- Radiation totale journalière moyenne
- Température humide moyenne
- Température sèche moyenne
- Vitesse moyenne des vents
- Concentration des pesticides dans les rejets ponctuels
- Débit des rejets ponctuels
- Oxygène dissous dans le rejet ponctuel

4.3.3 Constitution de la base de données

4.3.3.1 Intégration des données spatiales et attributs à la base de données de GIBSI

Un protocole d'application est en cours de réalisation afin de faciliter la réalisation des premières étapes d'implantation de GIBSI sur un nouveau bassin versant (contribution majeure en parallèle de l'INRS-ETE dans le cadre d'un projet FQRNT - Rousseau *et al.*, 2005b), c'est-à-dire l'intégration des données spatiales et attributs dans la base de données. Comme pour tout modèle, les données doivent d'abord être mises en forme. La base de données de GIBSI est sous format Microsoft Access.

Les Figures 3.19 à 3.21 montrent la représentation de certaines données dans GIBSI : localisation des stations, occupation du sol, modèle numérique d'altitude.

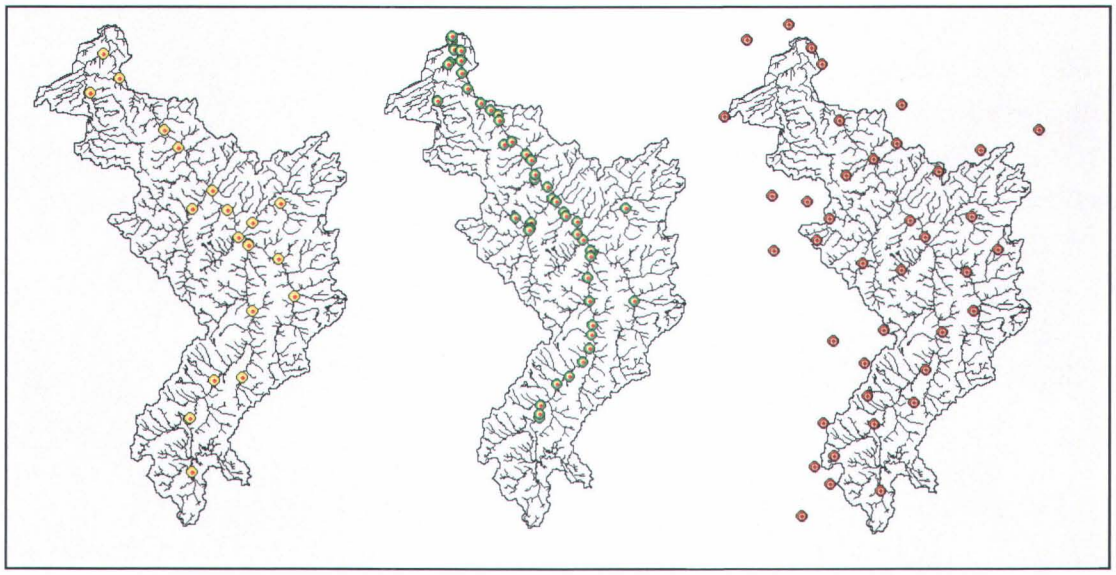


Figure 4.19 : Localisation des stations hydrométriques, des stations qualité et des stations météorologiques

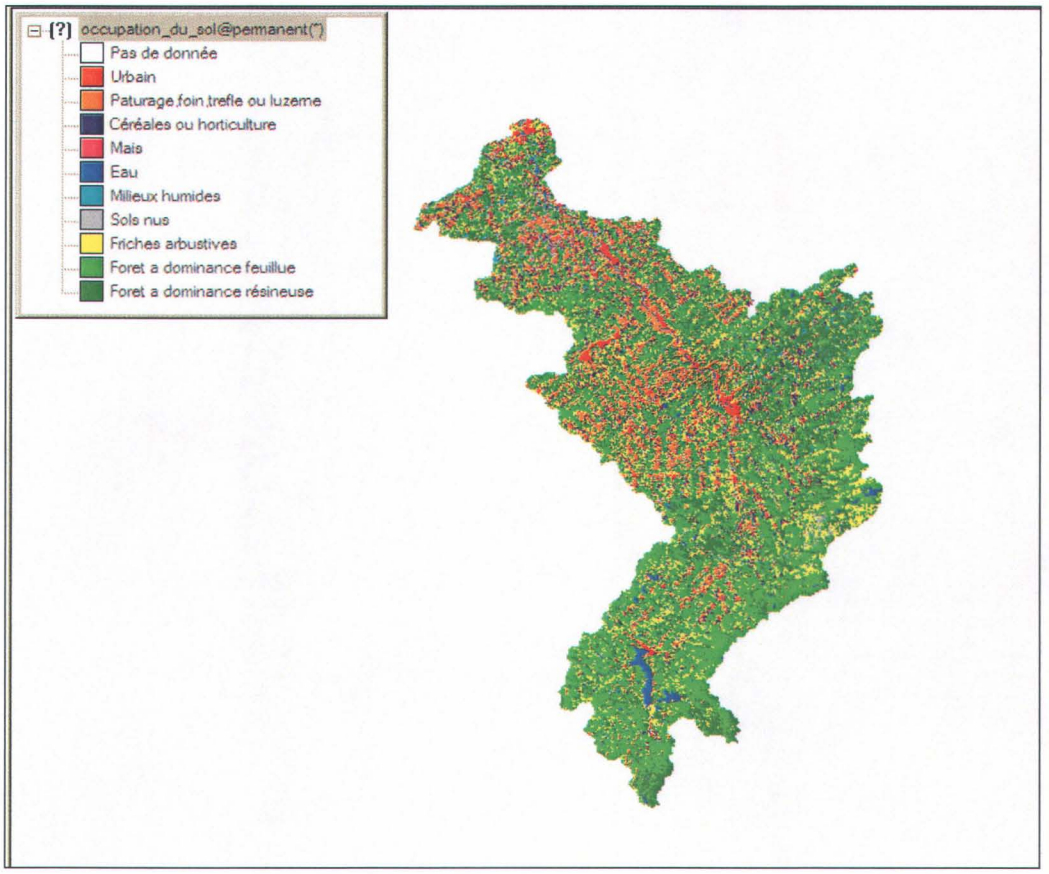


Figure 4.20 : Représentation de l'occupation du sol avec GIBSI

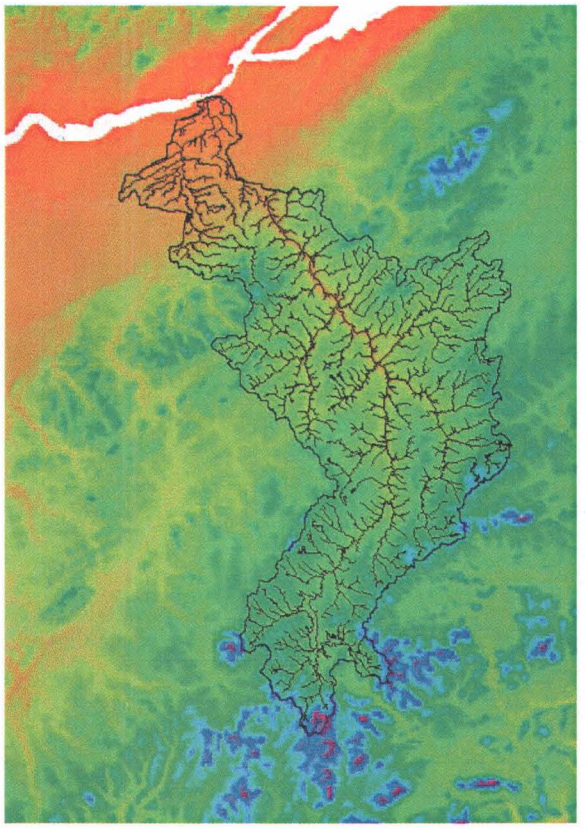


Figure 4.21 : Représentation du modèle numérique d'altitude (MNA) et du réseau hydrographique avec GIBSI

4.3.3.2 Découpage et digitalisation du bassin

La première étape afin d'intégrer les données d'un bassin versant à la base de données de *GIBSI* est l'élaboration de la structure physique compatible avec les modèles de simulation, dont la détermination des USS ainsi que la digitalisation du réseau hydrographique. Les USS sont des unités de calcul considérées homogènes sur le plan hydrologique. Ces unités spatiales sont digitalisées et l'information spatiale disponible à une échelle plus fine (telle que l'occupation du sol par exemple) est moyennée à l'échelle de cette unité (sous forme de valeurs moyennes pour les paramètres ou de proportion de territoire occupée pour les occupations du sol). De la même manière le réseau hydrographique est discrétisé en tronçons homogènes. Les modèles calculent alors à chaque pas de temps (un jour) les processus hydrologique et de devenir des polluants sur chacune de ces unités de calcul, puis l'information est agrégée sur l'ensemble du bassin pour calculer les débits et concentrations en rivière.

Ce travail est réalisé à l'aide du logiciel PHYSITEL. Ce logiciel nécessite les données spatiales suivantes en entrée :

- MNA (matrice ascii)
- Réseau hydrographique (couche au format linéaire)
- Type de sol (matrice ascii)
- Occupation du sol (matrice ascii)

Le logiciel PHYSITEL génère les données d'entrée suivantes pour le modèle HYDROTEL :

- Structure terrestre :
  - UHRH (ou USS)
  - MNA
  - Matrice d'écoulement des eaux (orientations)
  - Pentes
- Réseau hydrographique :
  - Noeuds du réseau
  - Tronçons du réseau
  - Points du réseau
- Distribution spatiale de l'occupation du sol
- Distribution spatiale des types de sol ainsi que leurs propriétés hydrauliques

La Figure 4.22 illustre la procédure de découpage spatial de GIBSI et précise les échelles spatiales de modélisation de chacun des modèles. Les figures a et b présentent le découpage du bassin versant en USS et tronçons. L'interpolation des données météorologiques, l'évapotranspiration potentielle et le bilan vertical d'eau se fait à l'échelle de chacune des USS (figure d). L'écoulement sur la partie terrestre s'effectue de maille à maille sur chacune des USS (figure e). L'érosion hydrique des sols, le transport des éléments nutritifs et l'évolution du couvert nival se font à l'échelle des occupations du sol de chacune des USS (f). La qualité de l'eau en lac et en rivière ainsi que l'écoulement dans le réseau hydrographique sont déterminés pour chaque tronçon du bassin versant.

Le résultat de ce découpage spatial est illustré à la Figure 4.23 pour la partie aval du bassin. Au final, sur l'ensemble du bassin versant de la Chaudière, on obtient 1870 USS (Figure 4.24) d'une superficie moyenne de 3.5 km^2, 1799 segments de rivière d'une longueur moyenne de 1.9 km et 46 segments de lac d'une longueur moyenne de 1.5 km.

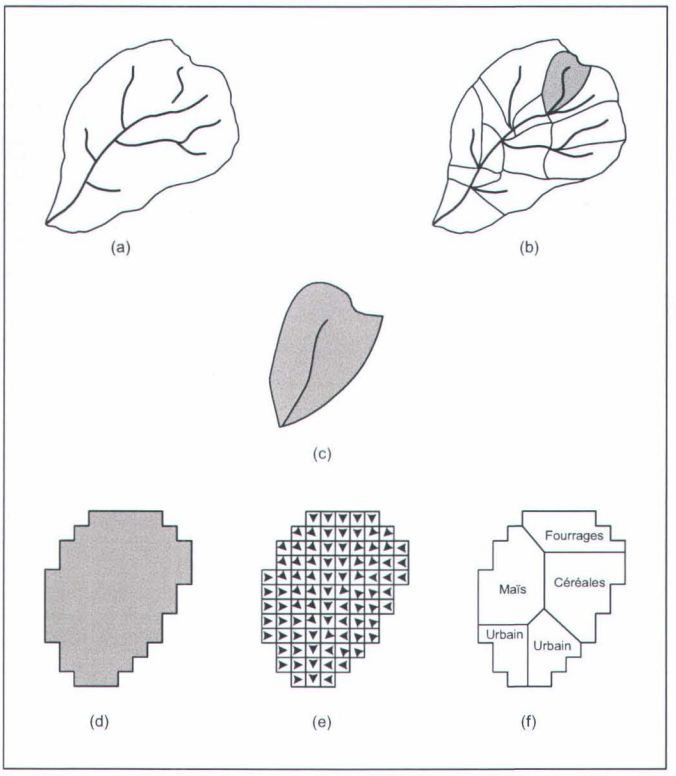


Figure 4.22 : Découpage spatial : (a) bassin versant, (b) bassin versant constitué de plusieurs USS, (c) une USS, (d) représentation d'une USS numérisée, (e) schéma d'écoulement de surface d'une USS et (f) occupations du sol d'une USS

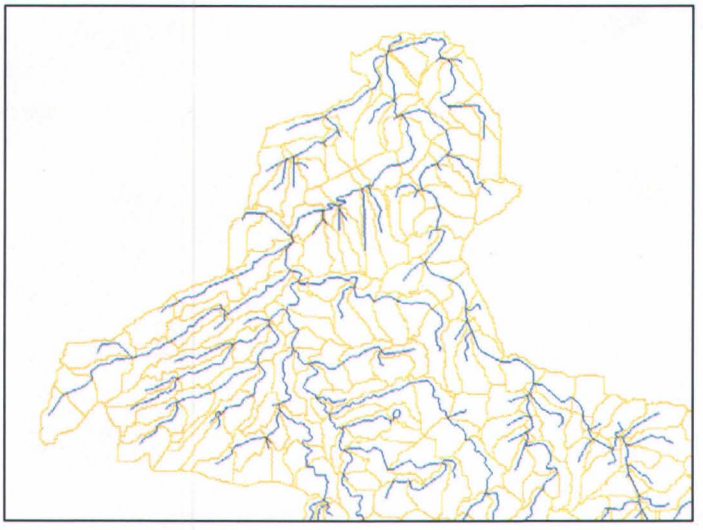


Figure 4.23 : Exemple de discrétisation d'une partie du bassin versant en USS (en jaune) et en tronçons de rivière (en bleu).

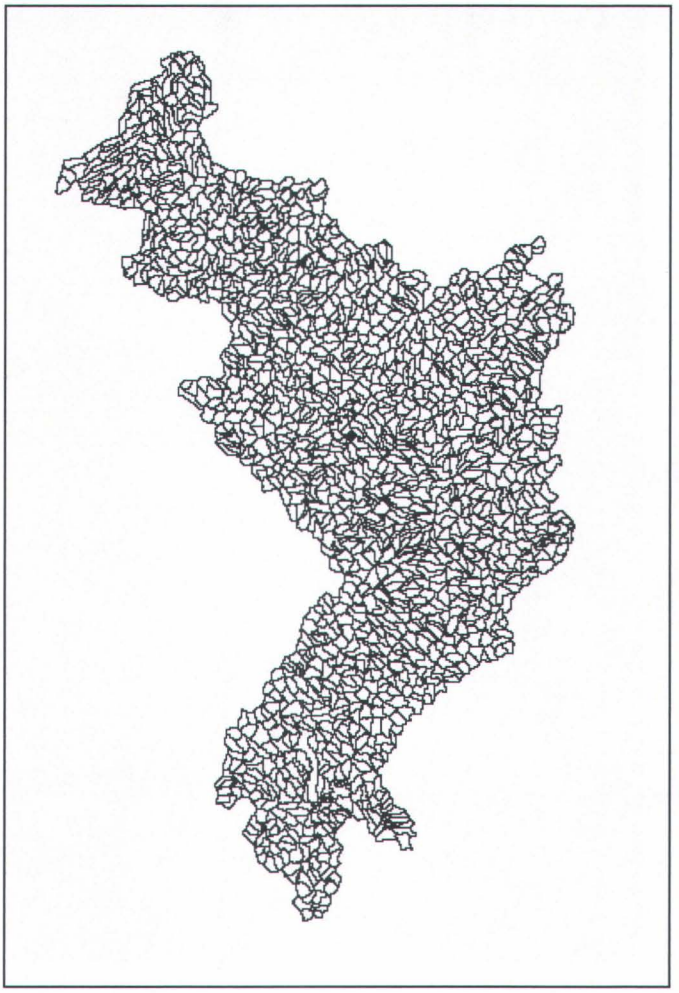


Figure 4.24 : Discrétisation du bassin versant de la rivière Chaudière en USS par PHYSITEL

Une fois cette étape réalisée, il faut ensuite intégrer les données générées dans la base de données de GIBSI. Un utilitaire permettant d'importer les données directement dans les tables est en cours de développement afin de faciliter cette étape (Rousseau *et al.*, 2005b).

À ce stade, GIBSI peut être utilisé en tant que simple système d'information et de visualisation de données (par exemple pour consulter les données mesurées de débit, Figure 4.25)

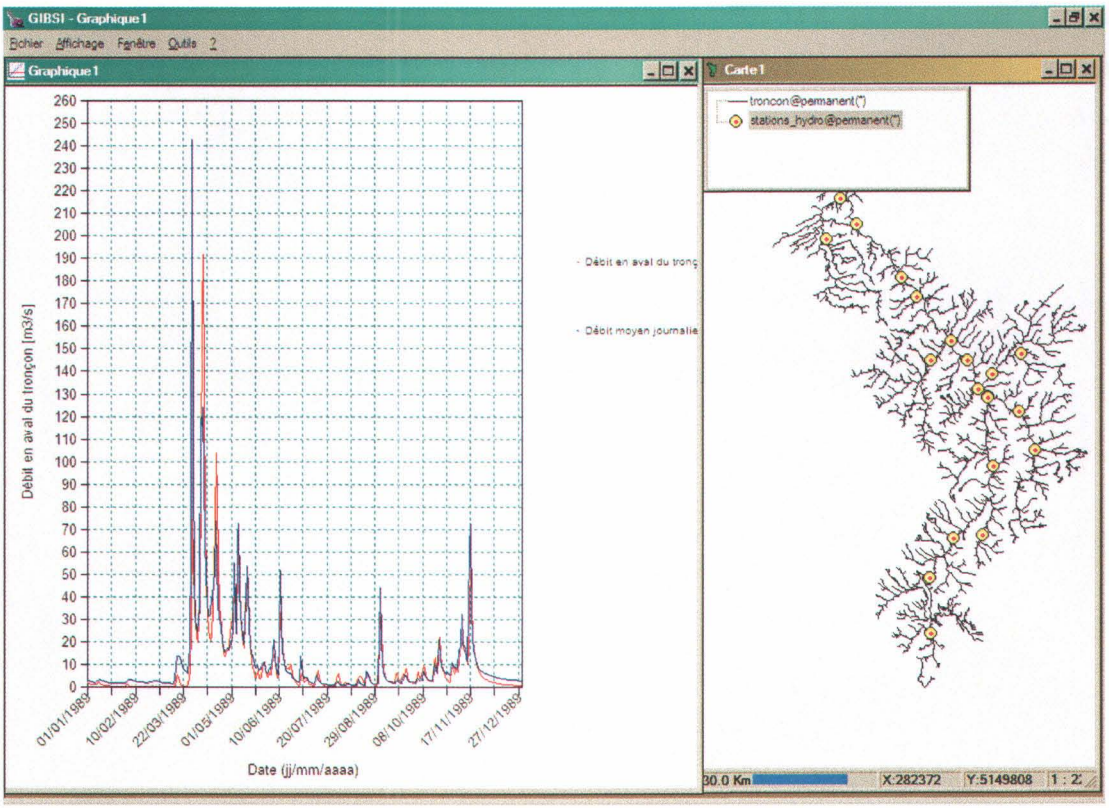


Figure 4.25 : Visualisation des données mesurées (en bleu) et simulées (en rouge) de débit dans GIBSI

4.3.4 Application et calage du modèle hydrologique

Le modèle hydrologique de GIBSI, HYDROTEL (Fortin *et al.*, 2001a; 2001b), simule l'interpolation des données météorologiques, l'évolution du couvert nival, l'évapotranspiration potentielle, le bilan d'eau vertical, l'écoulement sur la partie terrestre du bassin et l'écoulement par le réseau hydrographique. Son application et son calage sur le bassin versant de la rivière Chaudière sont décrits par Fortin *et al.* (2001b). Les mesures des stations hydrométriques situées à St-Lambert sur la rivière Chaudière, et aux confluents des rivières Famine et Beaurivage avec la rivière Chaudière, ont été utilisées pour caler et valider le modèle et contrôler la qualité des simulations. Le bassin hydrographique en amont de St-Lambert couvre 5820 km^2, soit environ 85% du bassin complet de la Chaudière. Les superficies des rivières Beaurivage (vocation plutôt agricole) et Famine (vocation plutôt forestière) couvrent quant à elles respectivement 709 km^2 et 691 km^2, soit environ 10% du bassin complet de la Chaudière.

Les résultats sont présentés à la Figure 4.26. Ils sont excellents aussi bien en période de calage qu'en période de validation, avec des coefficients de Nash-Sutcliffe toujours supérieurs à 0.8.

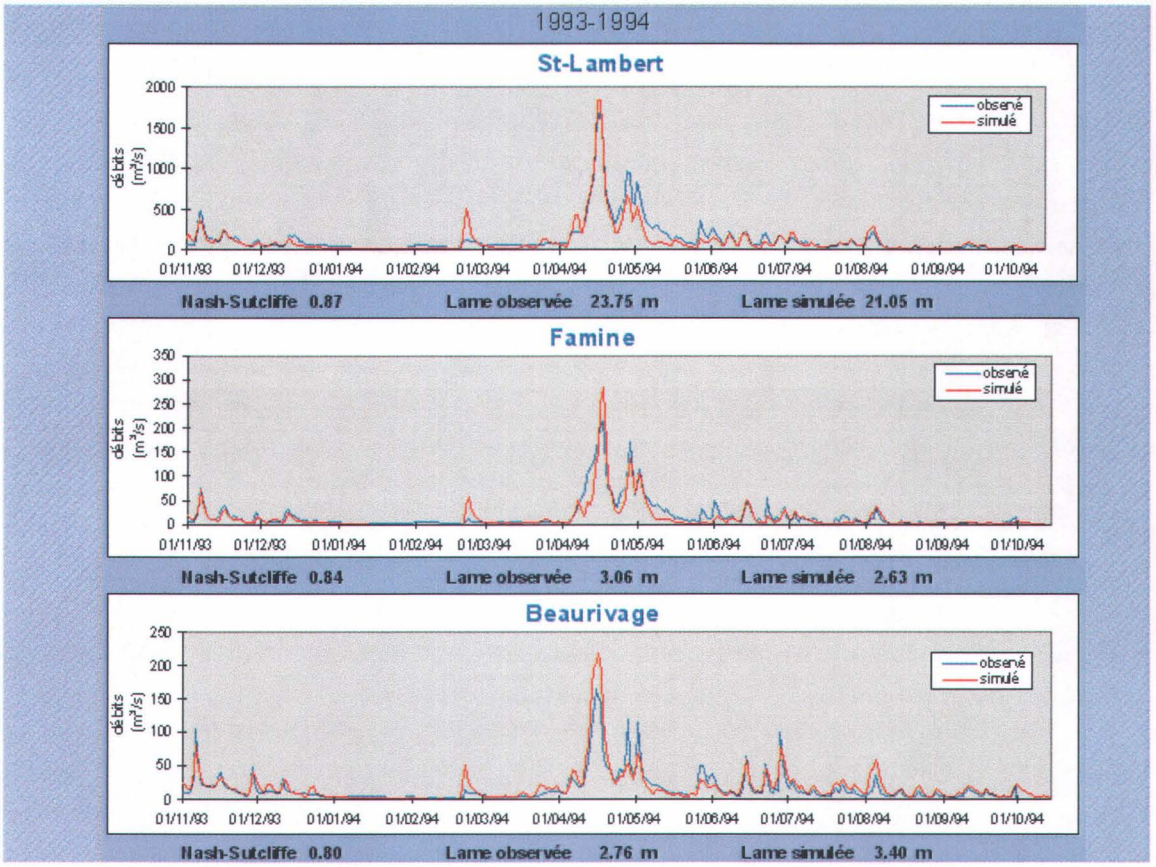


Figure 4.26 : Résultat du calage et de la validation de HYDROTEL sur plusieurs sous bassins du bassin versant de la rivière Chaudière.

4.3.5 Application et calage du modèle d'érosion

Le modèle d'érosion hydrique de GIBSI repose en partie sur l'utilisation du modèle MODÉROSS de Duchemin *et al.* (2001) et comprend deux parties : (i) le modèle d'érosion au sol qui est inspiré de l'équation universelle de perte en sol (USLE (Wischmeier et Smith, 1978) et RUSLE (Renard *et al.*, 1997)) adaptée sur un pas de temps journalier et en y ajoutant certaines particularités issues d'autres modèles (par exemple, la capacité de transport du ruissellement selon l'équation de Yalin) ; et (ii) le modèle d'érosion et de transport des sédiments en rivière qui est basé sur le modèle ROTO adapté de SWAT. Les équations du modèle ne seront pas décrites en détail ici (voir Villeneuve *et al.*, 1998).

Le modèle d'érosion doit être calé en priorité, avant les modèles de transport de polluants, puisqu'il conditionne le transport particulaire des polluants (nutriments, pathogènes et pesticides). Le calage du modèle est actuellement en cours (contribution majeure en parallèle de l'INRS-ETE dans le cadre d'un projet FQRNT - Rousseau *et al.*, 2005b). Nous utilisons pour le moment les données de débit et de concentration en sédiments à l'exutoire du sous-bassin de la Beaurivage pour l'année 1989, ainsi que les charges journalières, saisonnières et annuelle calculées à l'aide d'une méthode statistique d'estimation des charges qui a été développée au sein de notre équipe (Mailhot *et al.*, 2006). Nous cherchons ici à reproduire à la fois la charge annuelle de sédiments (estimée à l'aide de la méthode statistique développée) et la dynamique des charges journalières. Le modèle compte au total 14 paramètres de calage, 10 pour le modèle d'érosion au sol et 4 pour le modèle de transport des sédiments en rivière.

Toutefois, il ne faut pas oublier que le modèle utilisé pour l'érosion annuelle est originalement un modèle sur base annuelle qui a été adapté à un pas de temps journalier. De plus, les résultats dépendent des débits simulés par HYDROTEL qui, s'ils sont la plupart du temps très proches des débits mesurés, les sous-estiment parfois, notamment en période d'étiage. Par conséquent, une bonne reproduction de la dynamique journalière des concentrations et des charges de sédiments sera sans doute plus difficile à obtenir que pour la charge annuelle. Une évaluation graphique des résultats est suffisante pour le moment, en première approximation. Lors de l'optimisation des paramètres, des critères quantitatifs seront utilisés.

Les résultats provisoires pour les charges annuelle et saisonnières sont présentés dans le Tableau 4-2. On constate que la charge annuelle simulée est proche du mode de la distribution estimée par la méthode statistique. En revanche, les charges saisonnières sont sous-estimées par le modèle, en particulier en été.

Tableau 4-2 : Résultats du calage pour les charges annuelles et saisonnières sur l'année 1989 à l'exutoire de la rivière Beaurivage (en t)

Période	**Estimation statistique**				**Simulation**
	Mode	**Moyenne**	**Quantile 10%**	**Quantile 90%**	
Hiver (JFM)	1200	1145	997	1318	653
Printemps (AMJ)	13900	14590	12728	1665	11927
Été (JAS)	2000	1993	1734	2291	245
Automne (OND)	1600	1585	1381	1821	836
Charge annuelle	14300	20619	12220	31892	13660

Si l'on regarde les charges journalières (Figure 4.27), on constate que la dynamique générale tout au long de l'année est relativement bien reproduite par le modèle. En particulier, les fortes charges du printemps sont bien simulées, les résultats de simulations étant toujours à l'intérieur de l'intervalle de confiance et proches des valeurs mesurées. L'analyse des résultats sur une échelle logarithmique (Figure 4.28) montre toutefois une sous-estimation des charges lors des périodes d'étiage (hiver et été). Il semble que les charges simulées chutent trop rapidement après les évènements d'érosion. Étant donné que cela correspond à des périodes sans érosion au sol, cela provient sans doute du processus de sédimentation en rivière qui sous-estime l'entraînement de sédiments dans les conditions de faible débit.

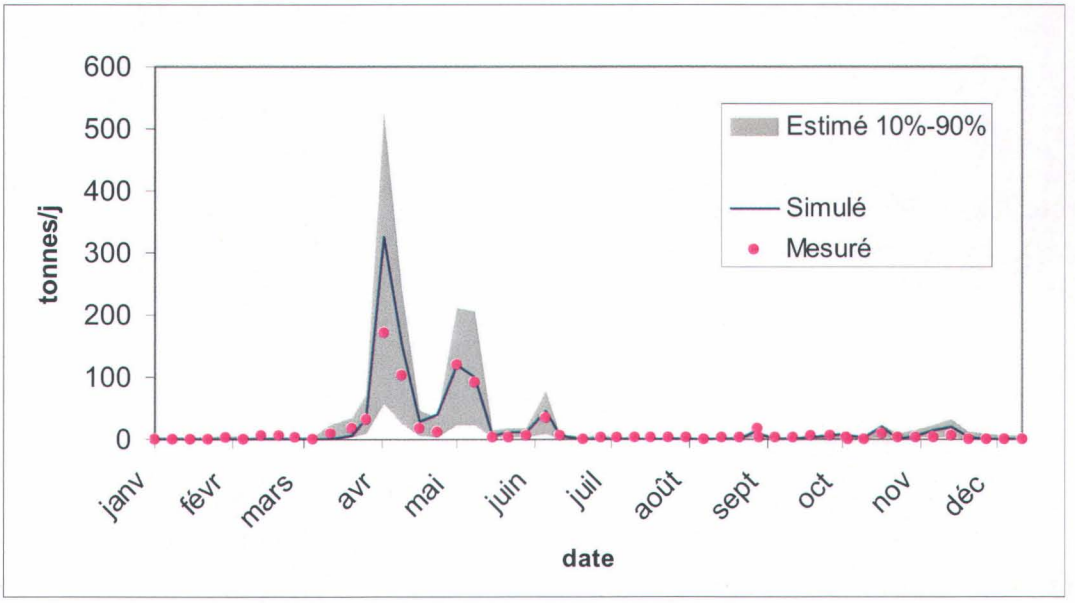


Figure 4.27 : Comparaison des charges journalières simulées et observées pour l'année 1989 à l'exutoire de la Beaurivage (tronçon 1644)

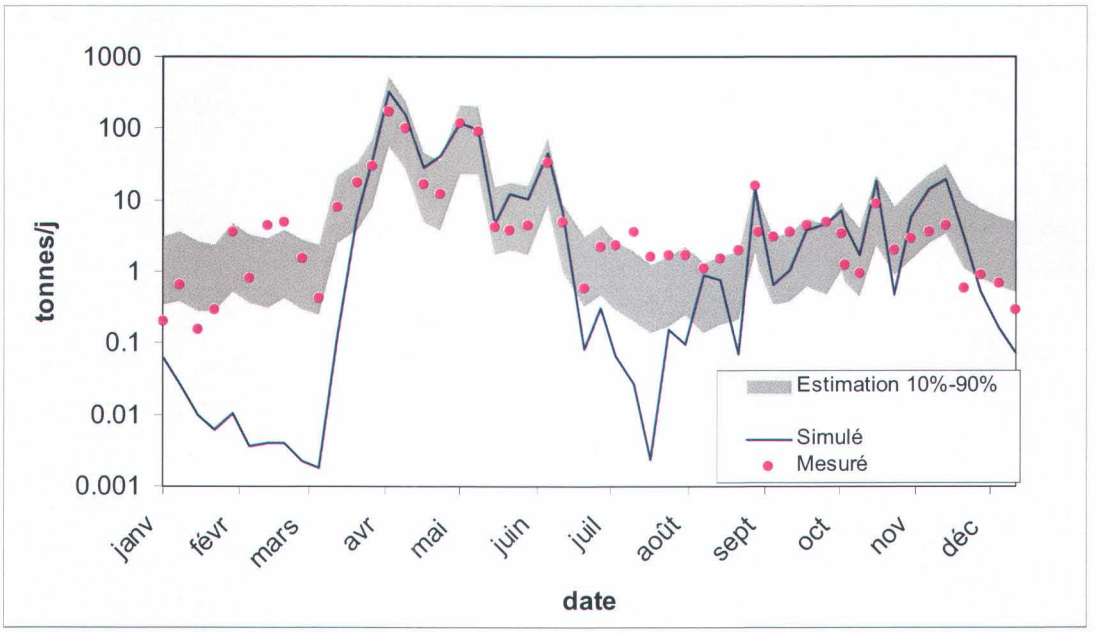


Figure 4.28 : Comparaison des charges journalières simulées et observées avec une échelle logarithmique pour l'année 1989 à l'exutoire de la Beaurivage (tronçon 1644)

Il est important de souligner que ce travail reste préliminaire et que nous cherchons en ce moment à optimiser ces résultats.

4.3.6 Modèle de transport des pesticides

La modélisation du transport et du devenir des pesticides en milieu terrestre est basée sur les algorithmes du modèle de bassin versant SWRRB (Arnold et Williams, 1995), EPIC (Williams, 1995) et SWAT (Neitsch *et al.*, 2000). Le transport dépend des masses de sédiments provenant de l'érosion hydrique des sols et des volumes d'eau en mouvement à la surface et dans les couches de sol des occupations agricoles de sol (*i.e.*, maïs, fourrages, céréales). Les processus de transformation sont simulés à partir d'équations cinétiques du premier ordre. La Figure 4.29 présente simplement les principaux processus pris en compte par le modèle. Pour une description détaillée des équations utilisées, le lecteur est invité à consulter le rapport final de GIBSI (Villeneuve *et al.*, 1998).

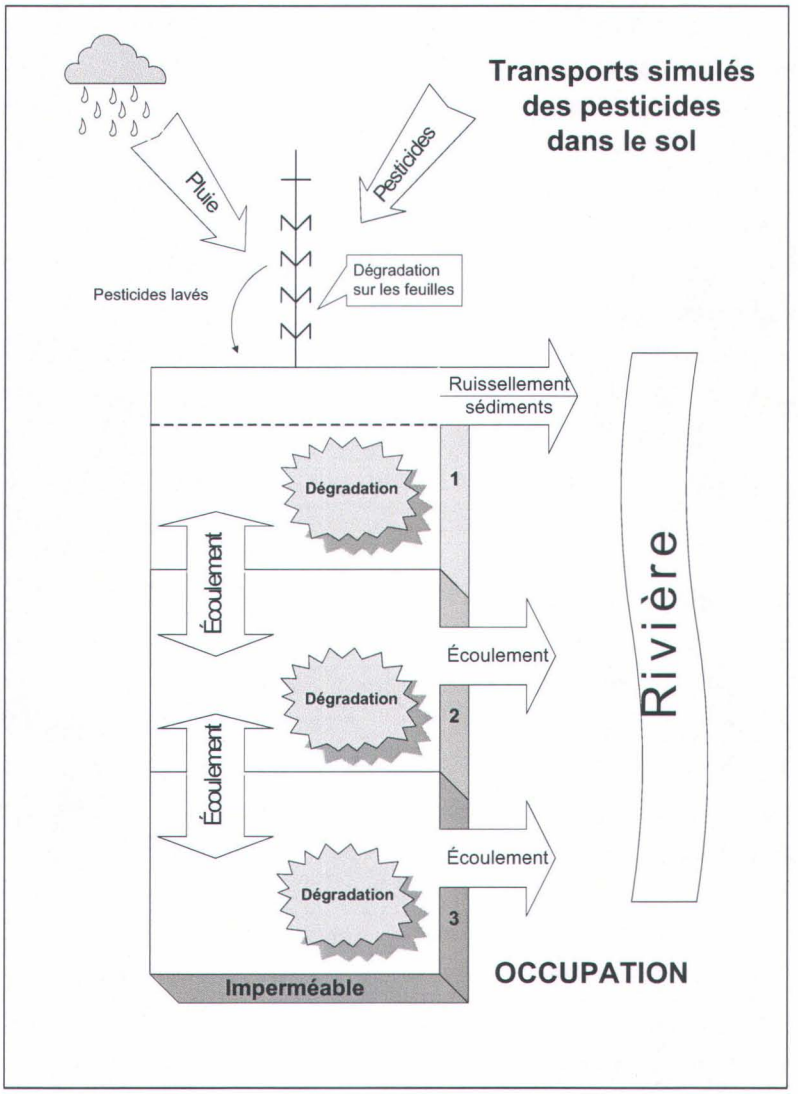


Figure 4.29 : Processus simulés par le modèle pesticide de GIBSI

Le modèle pesticide de GIBSI est d'ores et déjà implanté mais n'a jamais été testé. Les premiers essais de simulation nous ont confrontés aux limites suivantes concernant la définition des scénarios de pratiques phytosanitaires :

- Les simulations avec le modèle pesticide ne peuvent aller au-delà de l'année 1994. Or, compte tenu des données recueillies (1996, 1997 et 2005), il est primordial de pouvoir réaliser des simulations avec les séquences météorologiques de ces années. Les

données nécessaires sont disponibles mais doivent encore être intégrées dans la base de données (en cours).

- GIBSI ne prend en compte qu'un seul pesticide par culture, et trois pesticides au maximum par simulation. (un pesticide pour le maïs, un pesticide pour les céréales et un pesticide pour le canola). Cela est loin de la réalité puisque, comme nous avons pu le voir avec les données recueillies au chapitre 3, les applications de pesticides se font aujourd'hui sous forme de mélange de plusieurs matières actives. Cette limite est liée au modèle de qualité de l'eau en rivière QUAL2E. Il faudra donc explorer la possibilité de modifier QUAL2E afin qu'il puisse prendre en compte plus de trois pesticides. Dans l'immédiat, et si l'adaptation de QUAL2E s'avère trop difficile, la seule solution est de procéder à plusieurs simulations afin de prendre en compte toutes les matières actives appliquées pour une même culture et sur tout le bassin versant.

- Initialement, on considérait dans GIBSI que toutes les occupations de sol étaient dans la même année de rotation. Cela signifie que pour une simulation d'une durée d'un an, on ne prenait en compte que des cultures de céréales, de maïs grain et de maïs fourrage, et qu'il fallait attendre la 2^{e} année de simulation pour considérer des fourrages (pour les occupations du sol 2 et 3). Dans la réalité, les rotations sont indépendantes d'une exploitation à l'autre. Afin de pouvoir prendre en compte des configurations culturales plus réalistes sur le bassin versant, il semble donc important d'introduire une répartition aléatoire des années de rotation parmi les USS. La succession habituelle des cultures est ensuite adoptée pour les années suivantes de la simulation. Par ailleurs, la composition des rotations et les types de culture doivent également être adaptés en fonction des données actualisées (voir chapitre 3). Ce travail est actuellement en cours.

- De même, on considérait initialement dans GIBSI que, lors d'une simulation, toutes les pratiques phytosanitaires se faisaient en même temps sur chaque USS. Dans la réalité, les pratiques sont indépendantes d'une exploitation à l'autre et donc d'un USS à l'autre. Afin de pouvoir prendre en compte des configurations temporelles plus réalistes sur le bassin versant, il semble donc important d'introduire également une répartition aléatoire, parmi les USS, du jour d'application des pesticides (dans la fenêtre de jours possibles déterminés par le scénario de gestion et en fonction des précipitations). Ce travail est actuellement en cours.

- La répartition spatiale des superficies d'application est difficile à respecter compte tenu de la structure de simulation par USS. En effet, pour chaque USS (un USS fait en moyenne 350 ha), on ne peut définir plusieurs pratiques différentes pour une même

culture. Il est donc nécessaire d'appliquer une pratique sur un groupe d'USS puis une autre pratique sur un autre groupe d'USS en essayant de respecter la proportion des superficies. Cette limite est liée à la structure de modélisation et ne peut être évitée.

- Les modèles de GIBSI ne prennent pas en compte l'effet de bandes enherbées sur le ruissellement et l'érosion (et donc le transport de polluants). Afin de pouvoir simuler l'effet de telles PGB sur le transport de pesticides, il pourrait être nécessaire d'intégrer un coefficient d'atténuation empirique en s'inspirant du modèle SWAT.

Une fois ces quelques adaptations réalisées, il sera possible de faire les premières simulations en prenant en compte les données de pratiques phytosanitaires obtenues (chapitre 3). En comparant les résultats obtenus avec les concentrations mesurées, nous procéderons au calage du modèle.

4.3.7 Modules pour la définition de scénarios de gestion (PGB)

Le module de gestion de la pollution diffuse agricole permet la définition des attributs agricoles, non seulement au niveau des municipalités, mais également au niveau des USS, des sous-bassins versants et du bassin versant entier. Il est également possible de sélectionner plusieurs entités (ex.: municipalités, USS) et ainsi être capable de définir le même scénario agricole pour ce groupe d'entités. De plus, un outil permettant de sélectionner les USS ayant pour exutoire un tronçon donné a également été développé pour sélectionner une unité de gestion qui ne correspond pas nécessairement à un sous-bassin versant d'un affluent principal. Ainsi, chaque groupe d'entités possède ses propres attributs agricoles. Concernant spécifiquement les pesticides, ces attributs agricoles sont le système de rotation des cultures, les pesticides à appliquer, les dates et les taux d'application.

La Figure 4.30 présente l'interface usager de GIBSI permettant de construire un scénario de gestion pour l'application des pesticides. L'échelle de gestion sélectionnée pour cet exemple est le sous-bassin versant formé par un groupe d'USS ayant pour exutoire un tronçon donné, en l'occurrence le bras d'Henri du sous-bassin versant de la rivière Beaurivage.

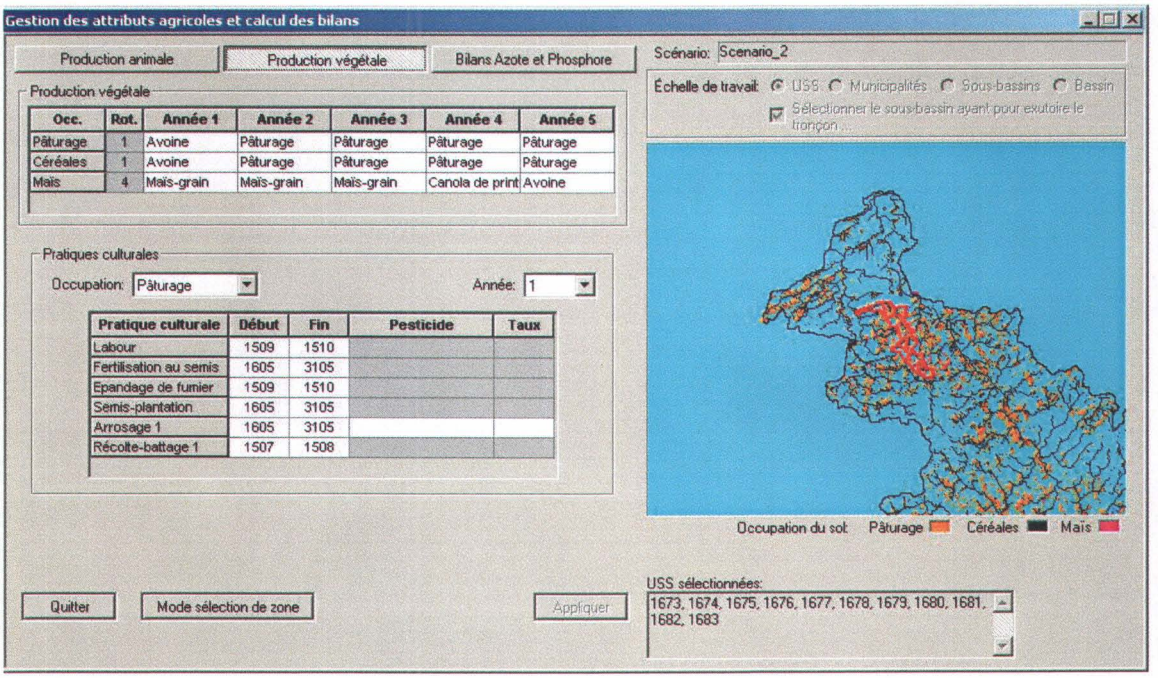


Figure 4.30 : Interface usager pour la spécification des cultures des systèmes de rotation et des dates des pratiques culturales.

4.3.8 Travail en cours et prochaines étapes

Le travail restant à réaliser concernant l'application des modèles de GIBSI consiste à :

(i) Adapter le modèle pour pouvoir réaliser des simulations jusqu'en 2005

(ii) Mettre à jour les types de culture sur le bassin et les rotations culturales

(iii) Adapter le modèle pour introduire une répartition aléatoire des années de rotation parmi les USS

(iv) Adapter le modèle pour introduire une répartition aléatoire du jour d'application des pesticides parmi les USS

(v) Essayer d'adapter le modèle pour pouvoir prendre en compte plus de trois pesticides par simulation et plus d'un pesticide par culture

(vi) Intégrer des coefficients d'atténuation par les bandes enherbées (voir SWAT)

(vii) Caler et valider le modèle à l'aide des données mesurées

4.4 COMPARAISON DES TROIS MODÈLES

À ce stade de l'application des modèles, on peut seulement comparer les procédures d'implantation sur un bassin versant.

Les trois modèles sont basés sur la même approche de modélisation distribuée et présentent donc beaucoup de similarités au niveau de la procédure d'implantation sur un bassin versant et des processus simulés. Les bases de données qu'il faut constituer sont similaires, avec des données spatiales et attributs qui sont couplées à un SIG et qui permettent de caractériser le bassin versant. Toutefois, le format des données est différent d'un modèle à l'autre, ce qui nécessite un travail d'adaptation spécifique à chaque modèle. La digitalisation du bassin versant et du réseau hydrographique est réalisée de manière automatique par les trois modèles. Dans GIBSI et BASINS, les unités spatiales de calcul sont définies sur une base topographique ce qui produit des unités de calcul qui correspondent à des petits bassins versants qui alimentent un tronçon de rivière. La superficie moyenne des cellules de calcul est en moyenne de 3.5 km^2 pour GIBSI et de 1.2 km^2 pour BASINS. En revanche dans SWAT, la définition des unités de calcul est basée sur l'occupation du sol et la classe de sol (une occupation et une classe de sol par unité de calcul). Les unités de calcul sont ainsi homogènes sur le plan hydrologique mais sont indépendantes de la topographie et du réseau hydrographique.

La facilité avec laquelle l'usager peut constituer cette base de données est relativement similaire entre les trois modèles. BASINS présente toutefois l'avantage de fournir des outils qui permettent de faciliter cette étape (*DATA MINING*).

La prochaine phase consistera à comparer les performances des modèles hydrologiques et de transport de pesticides, par rapport aux données mesurées.

5 DÉTERMINATION DES NPA À L'AIDE DES MODÈLES

5.1 CONTEXTE

Les trois modèles décrits précédemment permettent de simuler l'effet de scénarios de pratiques agricoles sur les concentrations en pesticides en rivière. Dès lors, comment déterminer des Normes de Performance Agro-environnementales Atteignables (NPA) à partir de ces résultats de simulation? Rappelons que la notion de NPA est définie comme un niveau de concentration qui peut être atteint en mettant en place des mesures de gestion, des pratiques agricoles et des technologies disponibles.

Nous reprenons et approfondissons ici la réflexion qui avait été initiée lors de la première phase de ce projet (Rousseau *et al.*, 2005a). Cette étape de travail correspond à la justification scientifique de la méthode de détermination des NPA (AT3.2 de l'échéancier présenté à la section 6.2). Nous proposions alors d'utiliser les courbes cumulatives de concentrations obtenues par simulation à partir des différents scénarios de gestion.

5.2 COURBES DE FRÉQUENCE CUMULÉE

Les courbes de fréquence cumulées représentent la distribution des valeurs de concentration calculées par le modèle sur une période et une fenêtre de temps (ex. : sur les étés de 30 ans) et en un tronçon donné du réseau hydrographique. Des exemples de représentation de ces courbes sont donnés sur la Figure 5.1. On y retrouve en abscisse la gamme des concentrations simulées, tandis qu'en ordonnée on y retrouve la probabilité de non-dépassement (Figure 5.1a) et deux représentations de la probabilité de dépassement (Figures 5.2b, c)

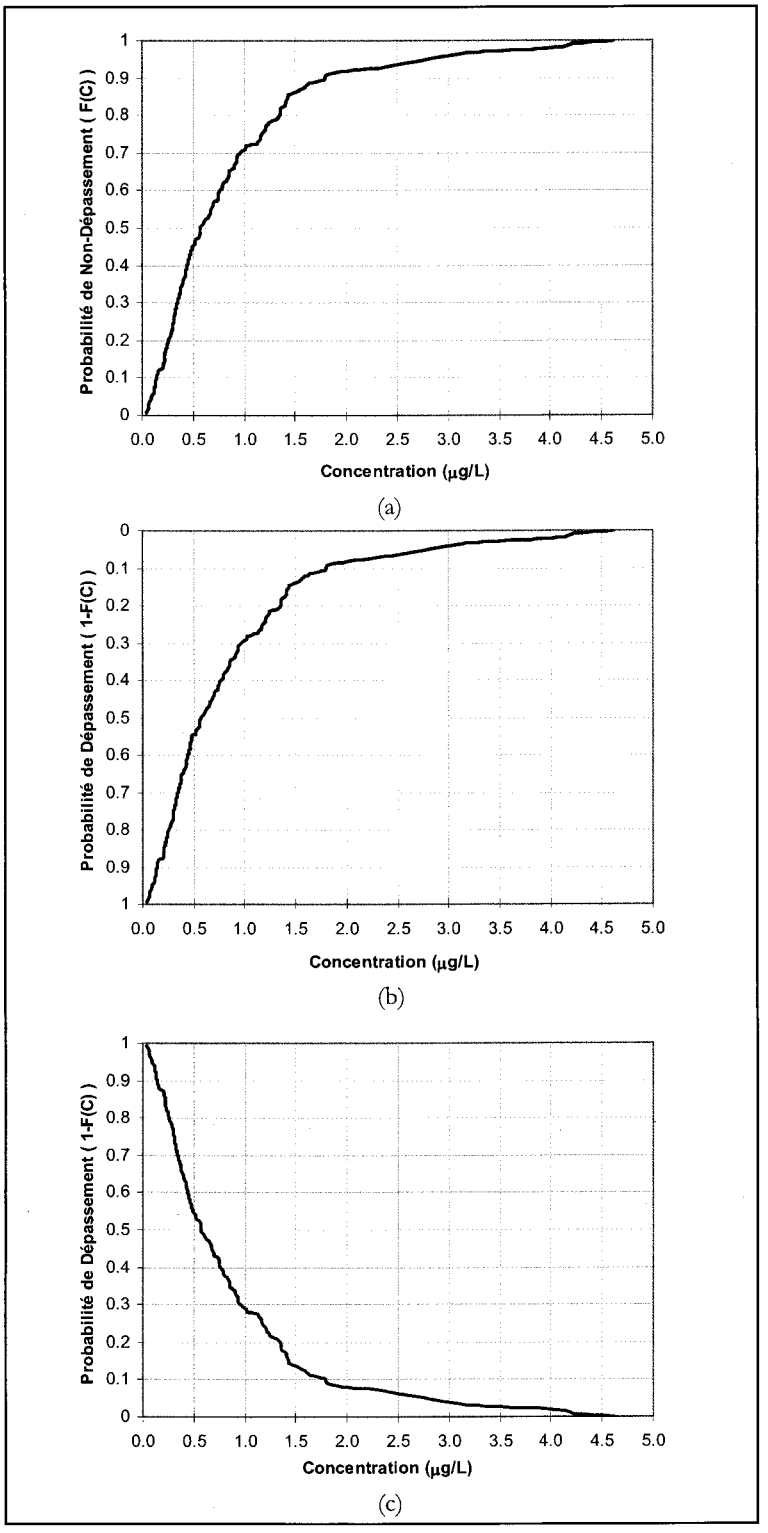


Figure 5.1 : Différentes représentations des courbes de fréquence cumulée

Ces courbes traduisent l'effet de différents scénarios de PGB pour un bassin versant donné. Elles sont spécifiques aux caractéristiques anthropiques (i.e., gestion du territoire, pratiques culturales et autres), physiographiques (i.e., topographie), climatiques (ex. : simulées avec 30 années de données météorologiques), biologiques et chimiques des sols et des milieux aquatiques du bassin. Ainsi, on peut avoir deux courbes très différentes en appliquant les mêmes pratiques agricoles sur deux bassins versants différents (Figure 5.2). De même, pour un bassin versant donné, on peut avoir différentes courbes pour différents scénarios d'implantation des PGB correspondant chacun par exemple à un scénario de référence sans PGB, un scénario des pratiques phytosanitaires actuelles et un scénario de PGB optimal (Figure 5.3).

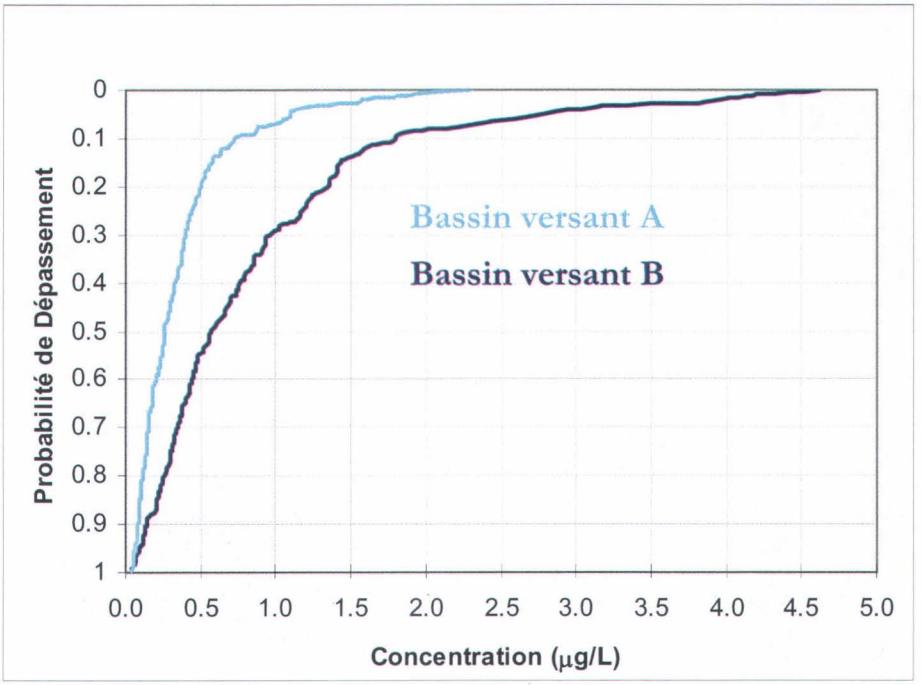


Figure 5.2 : Effet du bassin versant sur les courbes de fréquence cumulée

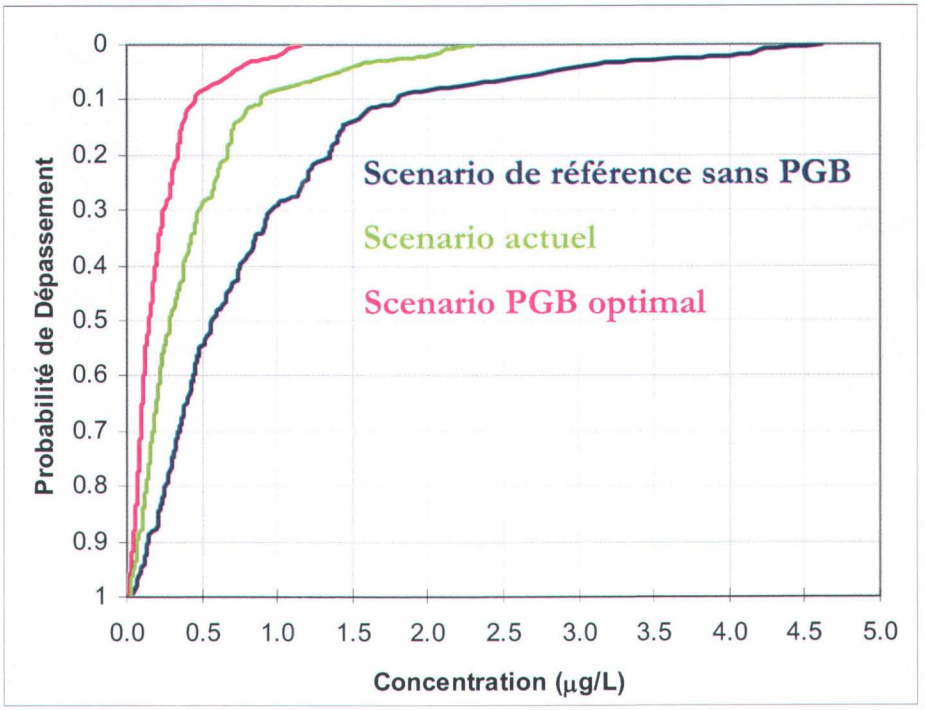


Figure 5.3 : Effet des scénarios de gestion sur les courbes de fréquence cumulée

5.2.1 Notion de probabilité de dépassement

Considérons maintenant une valeur de concentration seuil qui peut être un critère de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique (CVA) ou, dans notre contexte, la norme de performance idéale (NPI) déterminée à partir de considérations écotoxicologiques. Les courbes de fréquence cumulée permettent de déterminer une probabilité de dépassement (ou de non dépassement) de cette valeur seuil à un point donné du réseau hydrographique, par exemple l'exutoire du bassin versant. Dans l'exemple présenté à la Figure 5.4, on considère un CVA de 1 µg/L. Les résultats de la simulation montrent que, dans les conditions de simulation (bassin versant, tronçon sélectionné, intervalle de simulation (ex. : 30 ans), période d'intérêt (ex. : l'été), pratiques culturales définies par le scénario de gestion), la probabilité de dépassement du critère à l'exutoire du bassin versant est d'environ 28%. En d'autres termes, cela signifie que sur la période d'intérêt et un long intervalle de temps le critère sera dépassé 28% du temps.

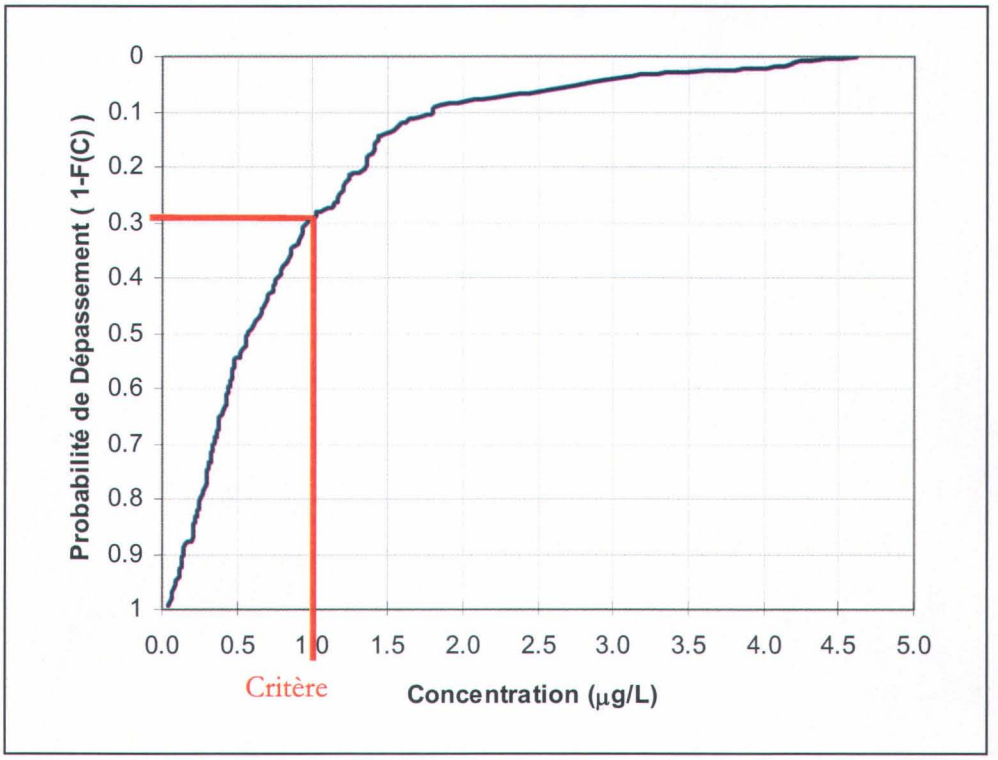


Figure 5.4 : Détermination de la probabilité de dépassement d'une valeur seuil de concentration

La diminution de cette probabilité de dépassement du NPI (déplacement vers le haut de la courbe de fréquence simulée) traduit directement l'effet de l'implantation de PGB sur la qualité de l'eau. C'est donc bien par ce type d'approche que la modélisation peut permettre de définir les NPA. Il reste à définir le moyen de dériver une seule valeur de concentration à partir de cette distribution ou de cette valeur de probabilité de dépassement.

5.3 DÉTERMINATION DU NPA

La première étape consiste à déterminer la gamme de valeurs parmi laquelle on pourra choisir le NPA.

5.3.1 Détermination de la gamme de valeurs possibles pour le NPA

Deux possibilités peuvent être envisagées : (i) déterminer le NPA en fonction du NPI ou (ii) déterminer le NPA indépendamment du NPI.

5.3.1.1 Détermination du NPA en fonction du NPI

Ici on considère le NPA comme une valeur cible intermédiaire pour atteindre le NPI. Cela implique que le NPA sera déterminé à partir des valeurs de concentrations supérieures au NPI (Figure 5.5). Dans l'exemple de la Figure 5.5, où le NPI est pris égal à 1 µg/L, les valeurs possibles pour le NPA vont de 1 à 1.5 µg/L.

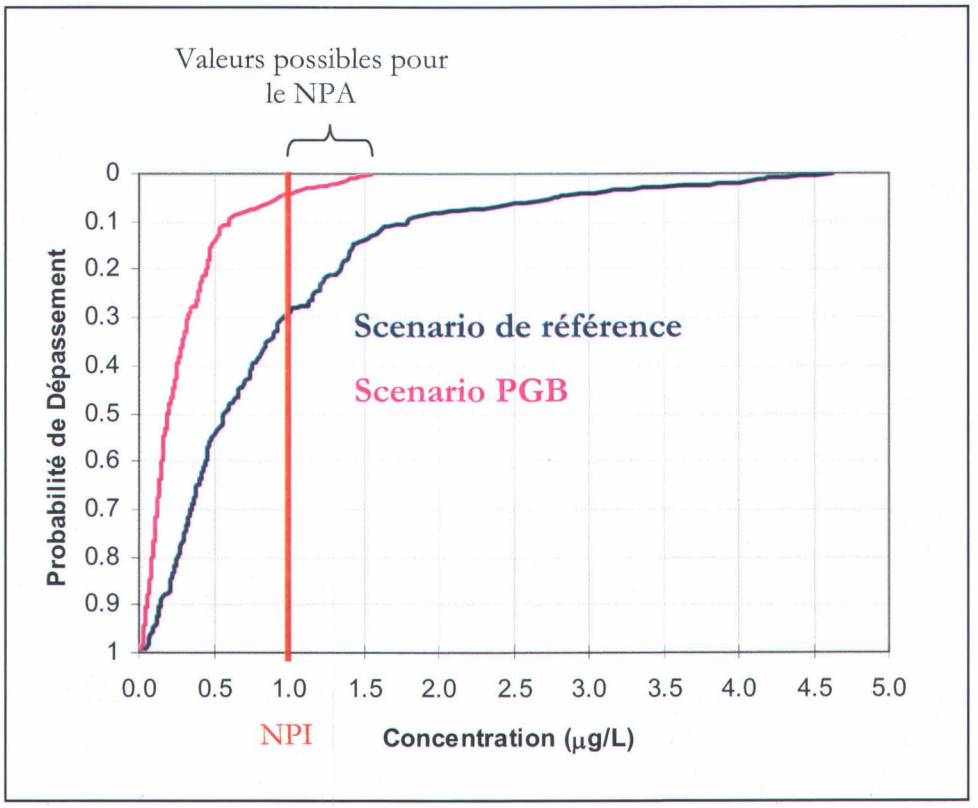


Figure 5.5 : Utilisation des courbes de fréquence cumulée pour déterminer le NPA en fonction du NPI

5.3.1.2 Détermination du NPA indépendamment du NPI

Ici le NPA est déterminé sans tenir compte du NPI, à partir de l'ensemble des valeurs de concentrations obtenues avec le scénario PGB. Dans ce cas, on peut tirer une valeur statistique de la totalité des valeurs simulées à partir du scénario tenant compte des PGB.

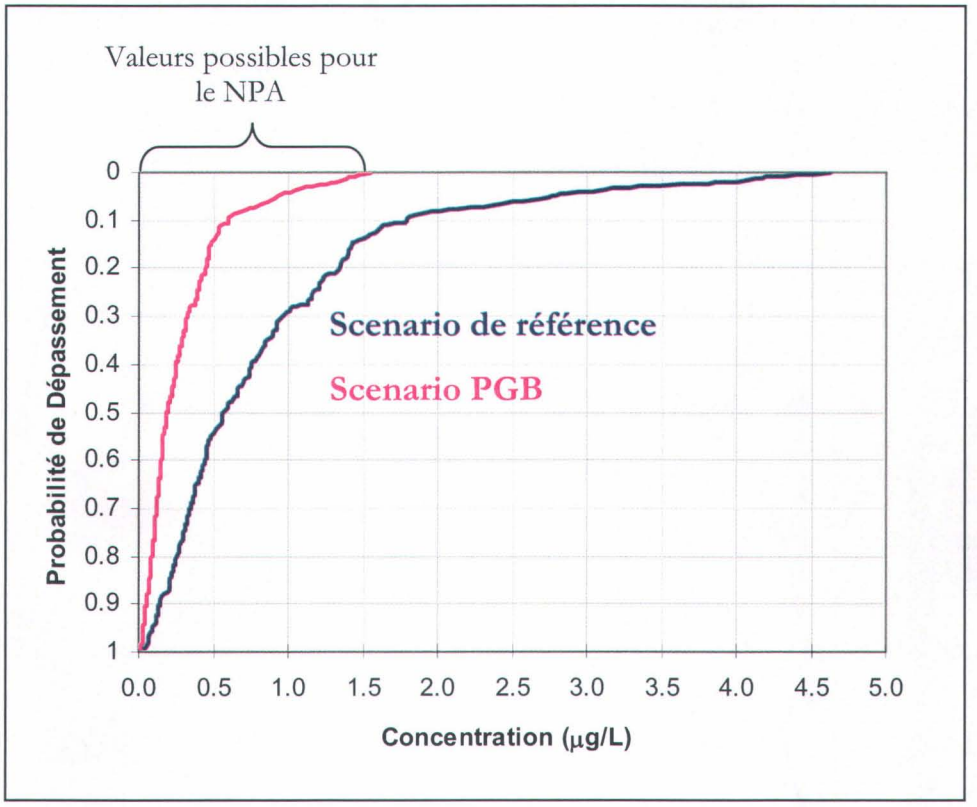


Figure 5.6 : Utilisation des courbes de fréquence cumulée pour déterminer le NPA indépendamment du NPI

Avec cette approche, il peut arriver que le NPA soit inférieur au NPI, si par exemple le NPI est élevé et que la qualité de l'eau initiale est déjà très bonne. Si tel est le cas, on peut aussi choisir de fixer le NPA égal au NPI.Compte tenu de notre compréhension de la définition du NPA, qui ne dépend en théorie que de ce qui est technologiquement faisable, il nous semble préférable d'utiliser la deuxième approche (indépendamment du NPI).

Une fois déterminée la gamme de valeurs possible pour le NPA, il convient de déterminer une valeur. Une première possibilité est de choisir une valeur statistique (médiane, maximum, quantile). Le choix de la valeur statistique reste subjectif et peut dépendre du niveau d'exigence désiré. Il faut aussi prendre en compte la facilité de communiquer ces valeurs aux agriculteurs et privilégier donc la simplicité. La médiane (qui correspond à une probabilité de dépassement de 50%) est une statistique simple à considérer et à communiquer mais qui manque de signification physique et de crédibilité. Comment demander en effet aux agriculteurs d'atteindre un objectif de concentration qui peut être dépassé un jour sur deux ? De plus elle est très difficile à relier à l'impact écotoxicologique (voir section suivante) puisque la gamme

des valeurs qui lui sont supérieures peut être très importante. Il nous semble préférable de prendre le quantile 90% de la distribution (qui correspond à une probabilité de dépassement de 10%). Cette valeur est plus élevée que la médiane.

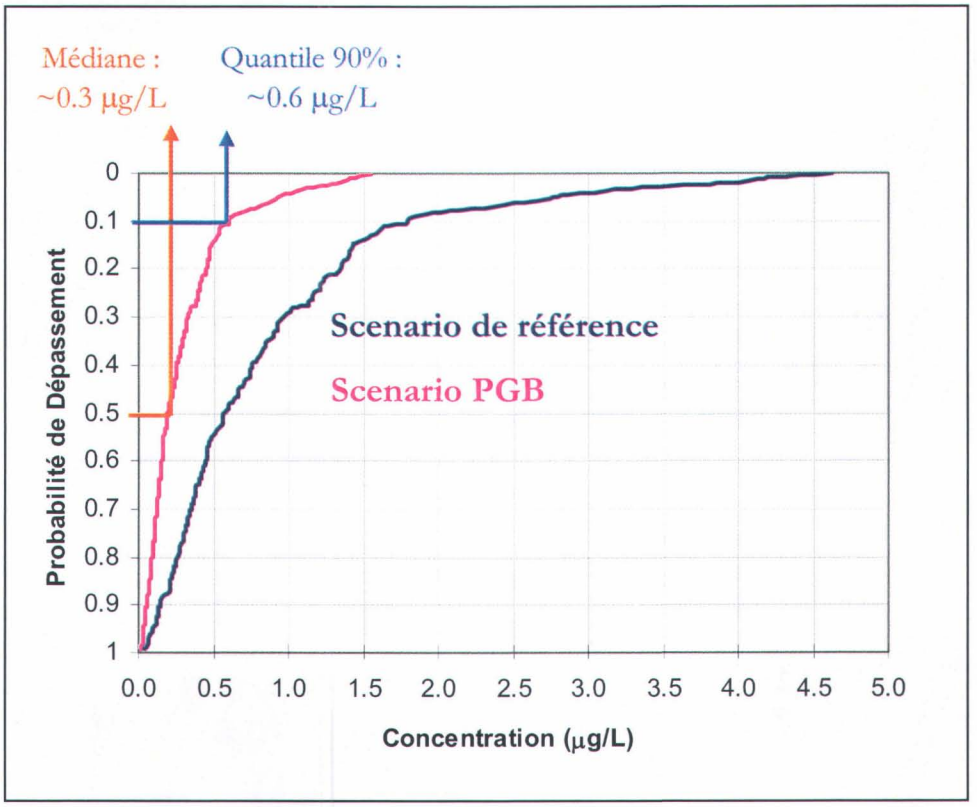


Figure 5.7 : Détermination de différentes valeurs statistiques à partir des courbes de fréquence cumulée

5.3.2 Lien avec l'impact écotoxicologique

Les résultats de simulation peuvent être reliés à l'impact écotoxicologique à l'aide des courbes dose-réponse utilisées pour déterminer le NPI (Figure 5.8, CANTOX Environmental, 2005). À chaque valeur de concentration simulée par le modèle correspond donc un pourcentage d'espèces affectées.

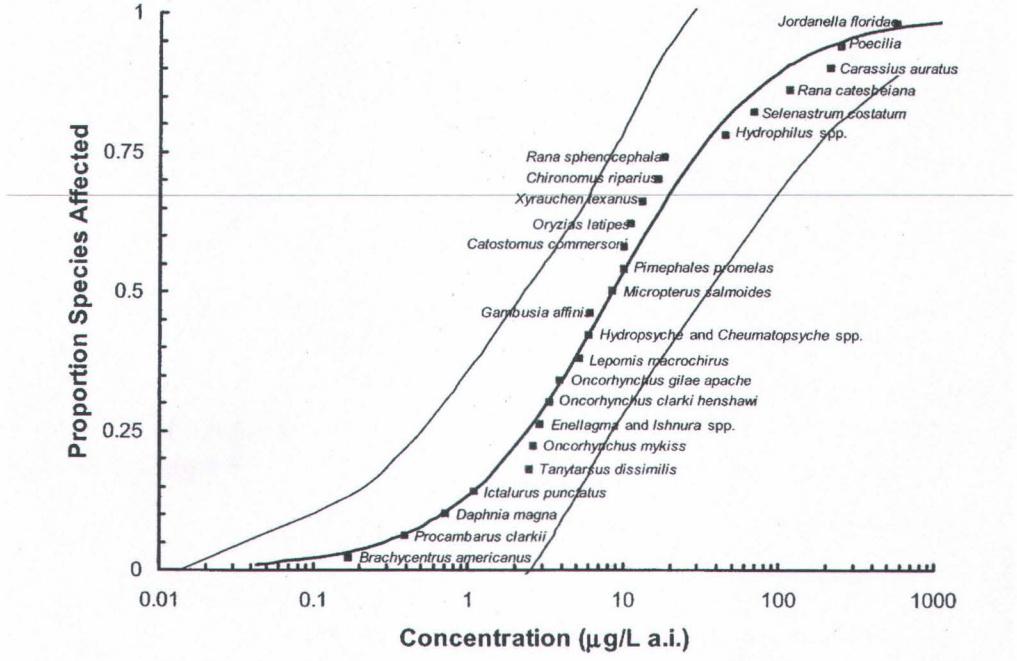


Figure 5.8 : Distribution de sensibilité des espèces pour le permethrin (source : CANTOX Environmental, 2005)

Toutefois il est important de considérer le fait que la relation dose-réponse est le plus souvent déterminée à partir de tests en laboratoires avec exposition aiguë au contaminant (des données sur la toxicité chronique sont rarement disponibles). Ce sont généralement des données de CL_{50}. Si l'on considère une valeur de concentration qui a une forte probabilité de dépassement (donc qui est fréquemment dépassée), il convient de considérer plutôt des données de toxicité chronique, ou si celles-ci ne sont pas disponibles, utiliser un rapport ACR (« acute-to-chronic ratio ») qui transforme le CL_{50} aigu en métriques de faible effet chronique (CE_{10}, LOEC, NOEC).

Le fait de relier le NPA (*i.e.*, concentration communiquée par EC à AAC puis aux agriculteurs) à un impact sur les espèces présentes (*i.e.*, sensibilité des espèces au contaminant c'est-à-dire « *How clean is clean water* ? » selon la perspective d'EC) permet d'aborder la notion de risque écotoxicologique dans la définition des NPA. Quel est le niveau de risque acceptable ? Vaut-il mieux choisir une valeur qui est fréquemment dépassée mais avec un impact faible, ou bien une valeur plus rare mais qui a un impact important ? La détermination du NPA pourrait alors se faire sur la base d'une minimisation du risque. Ainsi, si l'on quantifie le risque par le produit

entre la probabilité de dépassement de la concentration et le pourcentage d'espèces affectées, il s'agirait alors de choisir comme valeur de NPA la concentration qui minimise ce produit.

Risque = (probabilité de dépassement) x (% d'espèces affectées)

D'autres approches peuvent être envisagées pour quantifier ce risque écotoxicologique.

5.3.3 Extension à la détermination de valeurs de NPA intermédiaires

Dans le cas où la mise en place des PGB représente un processus à long terme, avec plusieurs étapes étalées sur plusieurs années et que les étapes peuvent être définies en terme de scénario de gestion dans les modèles, l'approche proposée peut permettre de définir une valeur cible pour chacune de ces étapes (Figure 5.9).

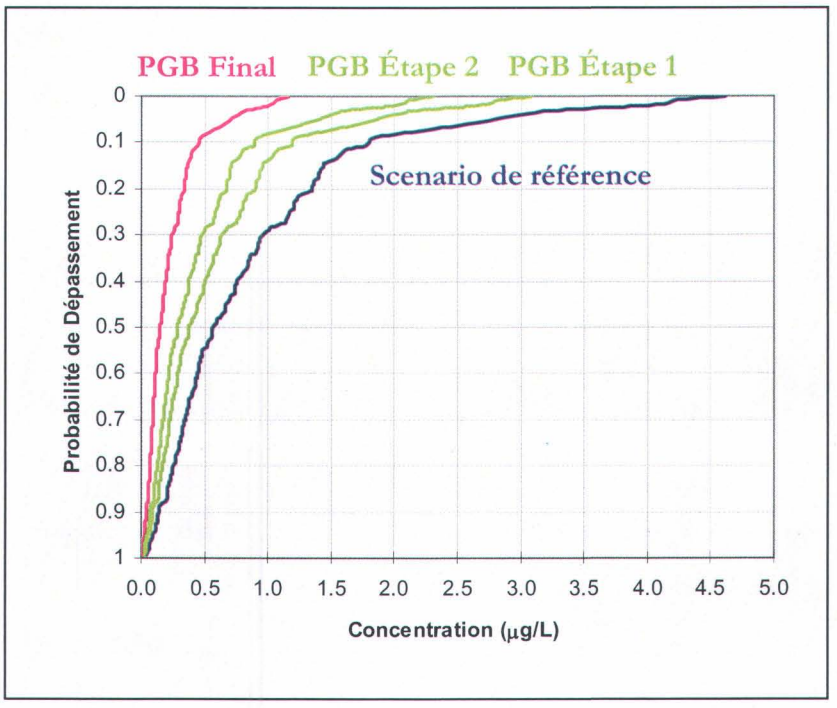


Figure 5.9 : Courbes de fréquence cumulée pour chaque étape de la mise en place des PGB

5.4 CONCLUSION ET PROCHAINES ÉTAPES

Ainsi, l'approche proposée permet de déterminer des NPA spécifiques à un groupe de pesticides (ex : regroupés selon leurs propriétés bio-physico-chimiques) qui:

- dépendent des propriétés du bassin versant;
- peuvent être modulées dans le temps (ex : 5, 10 et 15 ans selon des scénarios d'implantation des PGB);
- peuvent être intrinsèquement associés à la sensibilité des espèces exposées selon les courbes dose-réponse utilisées pour définir les NPI.

L'utilisation des modèles permet d'obtenir une gamme de valeurs possibles, avec une probabilité de dépassement plus ou moins élevée. À ces valeurs de concentration correspond également un impact écotoxicologique caractérisé par le pourcentage d'espèces présentes qu'EC tient à protéger (1 – pourcentage d'espèces affectées). La Figure 5.10 schématise l'approche générale proposée et la Figure 5-11 un exemple d'une carte de NPA pour les tronçons de rivière d'un bassin versant. Rappelons que ces NPA sont déterminées à partir de la courbe de fréquence cumulée des concentrations en pesticides simulées sur la période d'intérêt (ex. : été) et un long intervalle de temps (ex. : 30 ans).

Pour le choix de la valeur de NPA parmi les valeurs possibles déterminées par le modèle, nous proposons en première approximation de prendre comme valeur de NPA le quantile 90% de la distribution des valeurs de concentrations simulées par le modèle sur la période d'intérêt et l'intervalle de temps considéré et en prenant en compte les PGB technologiquement faisables. Cela correspond à une probabilité de dépassement de 10%. Cette valeur de concentration peut ensuite être modulée (diminuée) en fonction de l'impact écotoxicologique correspondant, c'est-à-dire si le pourcentage d'espèces affectées correspondant est jugé trop important. D'autres approches peuvent être envisagées, notamment en considérant la notion de risque écotoxicologique.

À cette étape du projet, ces éléments ne sont que des pistes de réflexion et des suggestions qu'il convient de discuter et préciser.

Enfin, il reste à déterminer sur quelle période d'intérêt devront se faire les simulations (*i.e.*, l'intervalle de temps) pour la détermination des NPA : une année entière ou bien la période à risque pour le transport des pesticides (printemps – été) ? Cela aura des conséquences importantes sur les courbes de fréquence cumulée et donc les probabilités de dépassement.

La prochaine étape consistera à mettre en pratique cette approche en utilisant l'un des trois modèles appliqués dans le cadre de cette étude pour définir des valeurs de NPA sur le bassin versant de la rivière Chaudière.

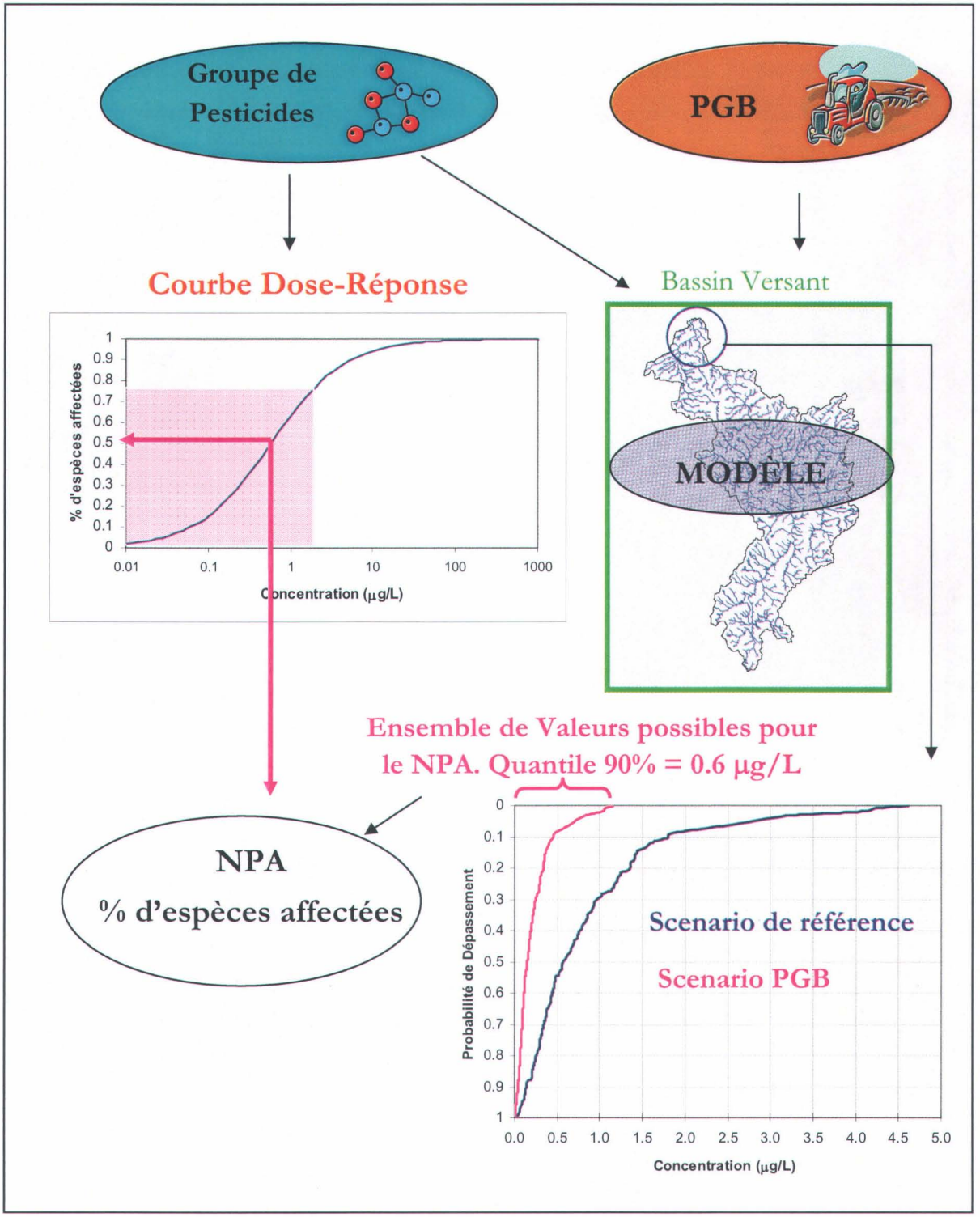


Figure 5.10 : Schématisation de l'approche proposée pour la détermination des NPA (dans le cas, le NPA est déterminé indépendamment du NPI)

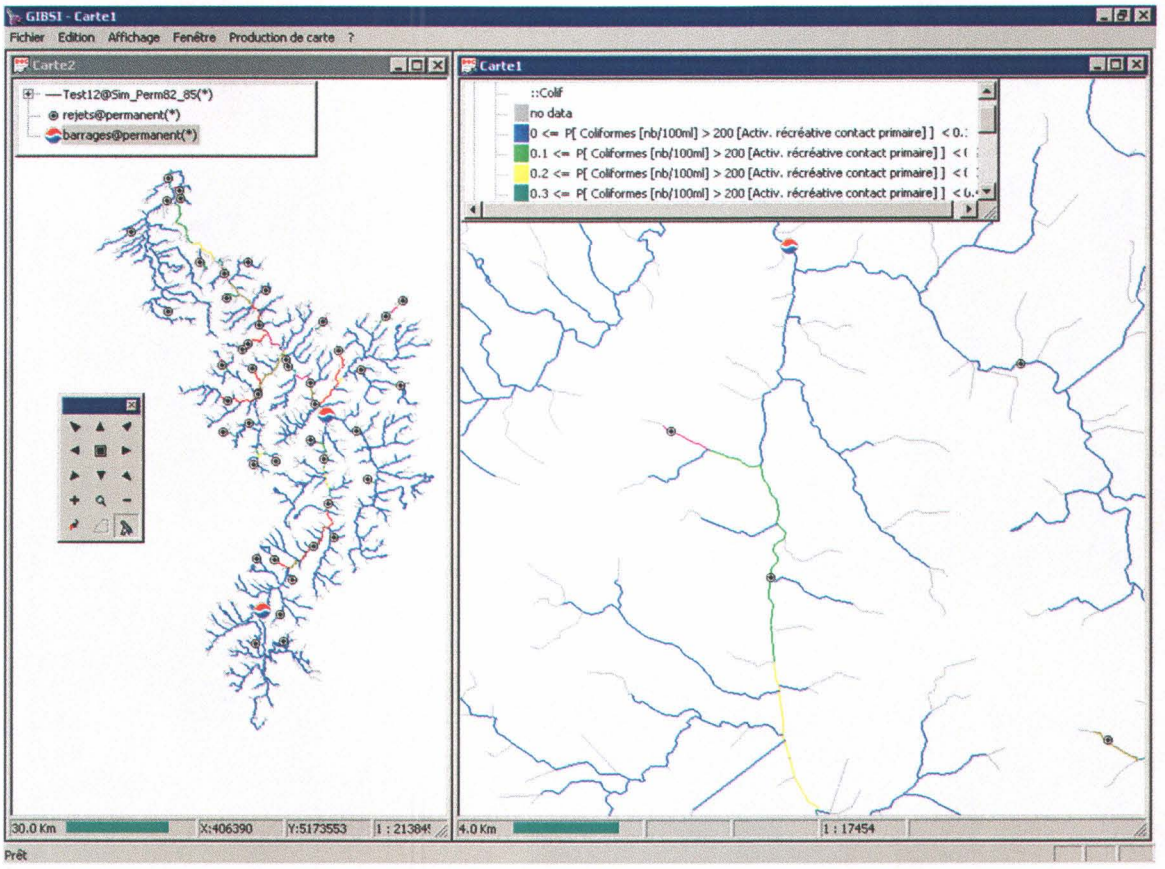


Figure 5.11 : Exemple de carte qui pourrait représenter les NPA selon un code de couleur pour les tronçons de rivière d'un bassin versant.

6 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Faisant suite à l'inventaire et à l'analyse comparative des modèles de transport des pesticides à l'échelle des bassins versants, ce projet consiste à appliquer trois modèles sur le bassin versant de la rivière Chaudière afin de les comparer de manière pratique, de sélectionner un modèle, et de définir une méthode pour la détermination des normes de performance agro-environnementale atteignables. Les trois modèles sélectionnés sont GIBSI, BASINS (avec HSPF) et SWAT.

L'application des modèles sur le bassin versant nécessite des données qui sont pour la plupart déjà disponibles étant donné que GIBSI a été développé sur ce bassin. Seules les données de concentrations en pesticides en rivière nécessaires au calage des modèles ainsi que les données concernant les pratiques phytosanitaires étaient manquantes ou incomplètes.

Nous avons donc réalisé un inventaire des suivis environnementaux ayant documenté les concentrations en pesticides mesurées dans les rivières Chaudière et Beaurivage. Les données de concentrations obtenues doivent être bonifiées par les données météorologiques et hydrométriques pour les périodes en question (1996-1997 et 2005). Parallèlement, un inventaire des pratiques phytosanitaires utilisées dans les bassins versants des rivières Chaudière et Beaurivage est en cours de réalisation. Les résultats doivent être analysés et serviront à définir les scénarios de gestion agricole pris en compte pour les simulations avec les modèles.

Par ailleurs, nous avons obtenu auprès d'Environnement Canada (EC) la liste des dix pesticides prioritaires pour EC. Lors du développement futur des NPA, un intérêt particulier sera porté à la liste des « top ten » pesticides pour lesquels des NPI seront développés par EC. La liste des pesticides prioritaires pour l'ARLA reste à être définie, notamment en regard des objectifs visés à l'intérieur de l'actuel projet. Un mode de classification des pesticides basé sur leurs propriétés bio-physico-chimiques clés a également été proposé pour l'élaboration des NPA. Les classes restent à préciser.

Concernant l'application des modèles, GIBSI est bien sûr en avance sur les deux autres modèles (Tableau 6-1) : les modèles hydrologiques et d'érosion sont d'ores et déjà calés, et les travaux en cours et futurs consistent à adapter le modèle de transport des pesticides puis à le caler à l'aide des données mesurées. Pour BASINS et SWAT, le travail réalisé a consisté à mettre en forme les données, à construire les bases de données et à digitaliser le bassin versant. La prochaine étape consistera donc à appliquer et caler les modèles hydrologique, d'érosion et de transport des pesticides.

Tableau 6-1: État d'avancement de la procédure d'application des trois modèles (en gris foncé : étapes complétées; en gris clair : étapes en cours)

7. Détermination des NPA			
6. Comparaison			
5. Adaptation des modèles			
4. Modèle de transport de pesticides			
3. Modèle d'érosion			
2. Modèle hydrologique			
1. Constitution de la base de données			
Modèle	**GIBSI**	**BASINS (HSPF)**	**SWAT**

Enfin, la réflexion concernant la méthode de détermination des NPA à l'aide des résultats de simulation a été approfondie. Nous proposons d'utiliser les courbes de fréquence cumulée sur la période d'intérêt (ex. : l'été) et l'intervalle de simulation (ex. : 30 ans) et de prendre le quantile 90% (soit une probabilité de dépassement de 10%) comme valeur de NPA. Cette valeur peut ensuite être reliée à l'impact écotoxicologique à l'aide des courbes dose-réponse utilisées pour la détermination des NPI. Cet impact est ainsi relié au pourcentage d'espèces présentes qu'EC tient à protéger (1 – pourcentage d'espèces affectées). Le fait de relier le NPA (*i.e.*, concentration communiquée à AAC puis aux agriculteurs) à un impact sur les espèces présentes (*i.e.*, sensibilité des espèces au contaminant c'est-à-dire « *How clean is clean water* ? » selon la perspective d'EC) et permet d'aborder la notion de risque écotoxicologique (produit de la probabilité de dépassement de la concentration et du pourcentage d'espèces affectées) dans la définition des NPA. Cette approche reste à discuter et à préciser avant d'être appliquée à l'aide d'un des trois modèles testés afin de définir des valeurs de NPA pour le bassin versant de la rivière Chaudière.

7 COORDINATION DES ACTIVITÉS ET PROMOTION DU PROJET

7.1 ÉQUIPE DE TRAVAIL

- *Alain N. Rousseau*, professeur
  - Coordination du projet, supervision des travaux, encadrement des étudiants
- *Pierre Lafrance*, professeur
  - Encadrement
  - Collecte des données, classification des pesticides
- *Renaud Quilbé*, stagiaire post-doctoral
  - Développement de GIBSI
  - Application de GIBSI et SWAT
- *Mauro Sulis*, étudiant Ph.D.
  - Application de SWAT
- *Stéphane Savary,* Assistant de recherche
  - Application de BASINS
- *Emmanuelle Caron,* étudiante M.Sc.
  - Collecte des données et simulations avec GIBSI
- *Sébastien Tremblay,* programmeur
  - Programmation pour l'application de GIBSI
- *Alain Royer,* programmeur
  - Programmation pour l'application de SWAT et BASINS

À noter que le stagiaire post-doctoral, les étudiants, l'assistant de recherche et les programmeurs sont rémunérés en partie sur les fonds du présent projet.

7.2 ÉCHÉANCIER

L'échéancier de travail en date du 16 décembre 2005 (mise à jour de l'échéancier suite aux commentaires émis lors de la réunion de démarrage du 13 décembre 2005). Il est présenté sur la page suivante (Figure 7.1).

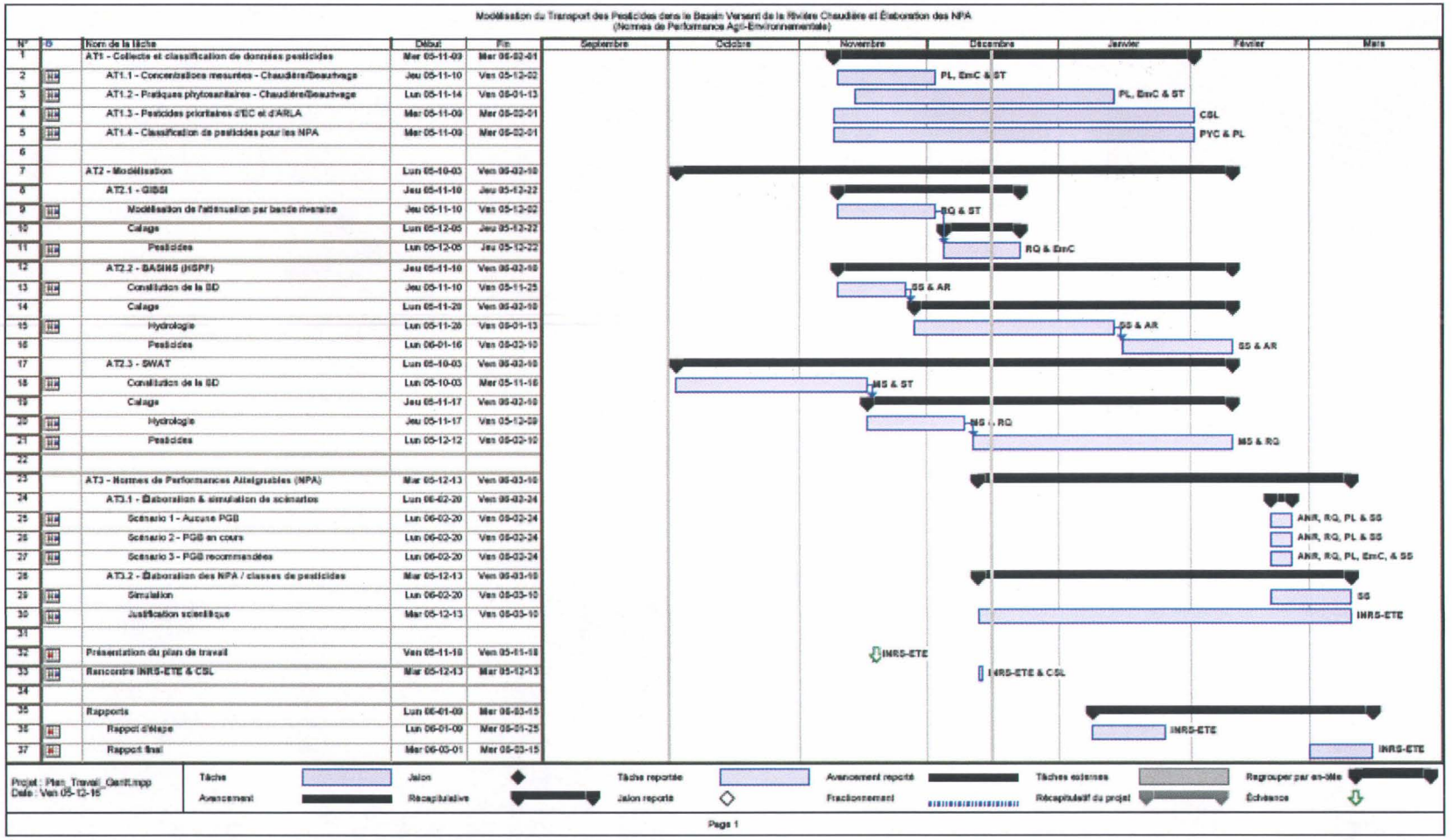


Figure 7.1 : Échéancier du projet

7.3 COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

La première phase du projet a fait l'objet de communications écrites et orales.

7.3.1 Rapports

- Rousseau A.N., Lafrance P., Quilbé R. et Villeneuve J.-P. 2005. *Analyse comparative de modèles de devenir des pesticides à l'échelle des bassins versants.* Rapport n° R-791. INRS-ETE, Québec, Canada

7.3.2 Articles

- Quilbé R., Rousseau A.N., Lafrance P, Amrani A. et Leclerc J. 2006. *Selecting a pesticide fate model at the watershed scale using a multi-criteria analysis.* soumis à Water Quality Research Journal of Canada.

7.3.3 Présentations orales

- Quilbé R., Rousseau A.N., Lafrance P, Amrani A. et Leclerc J. *Analyse comparative multicritère de modèles de transport des pesticides à l'échelle des bassins versants.* 21^{e} Congrès Régional de l'Est du Canada de l'Association Canadienne pour la Qualité de l'Eau, 4 novembre 2005.

7.4 COMPTES RENDUS DE RÉUNIONS

Une réunion de démarrage a été tenue le 13 décembre 2005 à l'INRS-ETE avec les principaux collaborateurs du projet. Un compte rendu a été réalisé et a été distribué à tous le 15 décembre 2005. Il est présenté à l'ANNEXE E.

8 RÉFÉRENCES

Arnold J.G. et Fohrer N. 2005. SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. *Hydrol. Process.*, 19(3): 563:572.

Arnold J.G. et Williams J.R.. 1995. SWRRB - A watershed scale model for soil and water resources management. Dans: V.P. Singh (Ed.) Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publication, Highlands ranch, pp. 847-908.

Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S. et Williams J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *J. Am. Water Resour. Ass.*, 34(1):73:89.

Arnold J.G., Williams J.R., Srinivasan R. et King K.W. 1996. SWAT. Manual. USDA, Agricultural Research Service and Blackland Research Center, Texas.

BASINS Version 3.1. 2004. Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources User's manual, United States Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA-823-C-04-004 (August 2004).

Bédard, Y., Gariépy S. et Delisle F. 1997. Bassin versant de la rivière Chaudière : L'activité agricole et ses effets sur la qualité de l'eau. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des politiques des secteurs agricole et naturel. Rapport rédigé dans le contexte de Saint-Laurent –Vision 2000 - volet Assainissement agricole, 89 p.

BPR inc. 2005. Suivi 2003 du Portrait agroenvironnemental des fermes du Québec. Rapport final présenté au Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), à l'Union des producteurs agricoles (UPA) et à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), Québec, 7 février 2005.

Brimble S., Bacchus P. et Caux P.-Y. 2005. Pesticide utilization in Canada : A compilation of current sales and use data. Environment Canada Pesticide Program Coordinating Committee, Environment Canada, 144 p.

CANTOX Environmental, 2005. Scoping Assessments of Environmental Performance Standards for In-Use Pesticides from Agricultural Sources. Draft Report.

Coulombe A.-M. 2002. Le mécanique dans les céréales et le maïs, Pour une stratégie de désherbage gagnante. Phyto Contrôle, Stratégie phytosanitaire - SLV 2000, 2002, Saint-Joseph-de-Beauce, 6 p.

Definiens Imaging. 2001. eCognition online user guide, guide d'utilisateur en ligne eCognition, http://www.definiens-imaging.com

Di Luzio M., Srinivasan R. et Arnold J.G. 2004. A GIS-hydrological model system for the watershed assessment of agricultural nonpoint and point sources of pollution. *Trans. in GIS*, 8(1):113:136.

Dolbec J.-F., Rousseau A.N. et Quilbé R. 2005. Développement d'un processus de classification d'images satellitaires afin de détecter les changements d'occupation du sol sur le bassin versant de la rivière Chaudière pour la période 1970 à 2000 : Exemple de l'image Landsat-5 du 6 août 1987. Rapport #802 pour le projet FACC A9446. Québec, Québec, INRS-ETE, Université du Québec, 73 pages.

Duchemin M., Lachance M., Morin G. et Lagacé R. 2001. Approche géomatique pour simuler l'érosion hydrique et le transport de sédiments à l'échelle des petits bassins versants. Water Quality Research Journal of Canada, 36(3): 435-473.

Fortin J., Turcotte R., Massicotte S., Moussa R., Fitzback J. et Villeneuve J.P. 2001a. A distributed watershed model compatible with remote sensing and GIS data. Part I: Description of the model. Journal of Hydraulic Engineering, 6(2): 91-99.

Fortin J.P., Turcotte R., Massicotte S., Moussa R. et Fitzback J. 2001b. A distributed watershed model compatible with remote sensing and GIS data, part 2: Application to the Chaudière watershed. Journal of Hydraulic Engineering, 6(2): 100-108.

Gauthier Y. 1996. Rapport technique présenté dans le cadre de GIBSI. (Rapport de technique No RT-462a). Sainte-Foy, Québec, INRS-Eau, Université du Québec. 16 pages.

Giroux I. 1998. Impact de l'utilisation des pesticides sur la qualité de l'eau des bassins versants des rivières Yamaska, L'Assomption, Chaudière et Boyer. Document rédigé par le ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, dans le contexte de Saint-Laurent-Vision 2000, 48 p.

Gorse I. 2005. Bilan des ventes des pesticides au Québec pour l'année 2001. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), Envirodoq No ENV/2005/0140, 70 p.

Green W.H. et Ampt G.A. 1911. Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils. *J. Agr. Sci.*, 4:11:24.

Hargreaves, G.L., Hargreaves G.H. et Riley J.P. 1985. Agricultural benefits for Senegal River Basin. *J. Irrig. and Drain. Engr.* 111(2):113-124.

Lafrance P. et Caron E. 2005. Résultats INRS-ETE non publiés.

Mailhot A., Rousseau A.N., Talbot G. et Quilbé R., 2006. Sediment load estimation using statistical distributions with streamflow dependent parameters. en préparation.

Monteith, J.L. 1965. Evaporation and the environment. p. 205-234. In The state and movement of water in living organisms, XIXth Symposium. Soc. For Exp. Biol., Swansea, Cambridge University Press.

Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R. et Williams J.R. 2001. *Soil and Water Assessment Tool (SWAT) - Theoretical Documentation (version 2000).* USDA Agricultural Research Service, Temple, Texas.

Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Srinivasan R. et Williams J.R., 2000. Soil and Water Assessment Tool. User's Manual. Version 2000. US EPA, Temple, Texas.

Priestley C.H.B. et Taylor R.J. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Mon. Weather. Rev. 100:81-92.

Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., D.K. M. et D.C. Y., 1997. Predicting Soil Erosion by Water : A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Department of Agriculture, Washington.

Rousseau A.N., Lafrance P., Quilbé R. et Villeneuve J.-P., 2005a. Analyse comparative de modèles de devenir des pesticides à l'échelle des bassins versants. Rapport n° R-791. INRS-ETE, Québec, Canada.

Rousseau, A.N., Quilbé R., Rogel G., Grenier M. et Tremblay S. 2005b. Amélioration d'un système de modélisation intégrée et développement du protocole d'application pour l'analyse de scénarios d'assainissement agricoles à l'échelle du bassin versant. Rapport d'état d'avancement No R-825-e1. Centre Eau, Terre et Environnement, Institut national de la recherche scientifique, INRS-ETE. Québec, PQ.

Rousseau A.N., Mailhot A. et Villeneuve J.P., 2000b. Problématique, éléments de solution et exemples d'application du système informatisé GIBSI. Vecteur Environnement, 33(5): 27-54.

Rousseau A.N., Mailhot A., Turcotte R., Duchemin M., Blanchette C., Roux M., Etong N., Dupont J. et Villeneuve J.P., 2000a. GIBSI - An integrated modelling system prototype for river basin management. Hydrobiologia, 422/423: 465-475.

Saxton K.E., Rawls W.J., Romberger J.S. et Papendick R.I. 1986. Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50(1):1031:1036.

Sharpley A.N. et Williams J.R. 1990. EPIC - Erosion Productivity Impact Calculator 1. Model documentation. Technical Report 1768, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Research Service.

Soil Conservation Service. 1972. *National Engineering Handbook*, chapter 4: Hydrology.

Villeneuve J.P., Blanchette C., Duchemin M., Gagnon J.F., Mailhot A., Rousseau A.N., Roux M., Tremblay J.F. et Turcotte R., 1998. Rapport Final du Projet GIBSI : Gestion de l'Eau des Bassins Versants à l'Aide d'un Système Informatisé. Mars 1998 : Tome 1. R-462. INRS - Eau, Sainte-Foy.

Williams J.R., 1995. The EPIC Model. Dans: V.P. Singh (Ed.) Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Highlands ranch, pp. 909-1000.

Wischmeier W.H. et Smith D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. Agricultural Handbook No. 537. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

ANNEXE A. SUIVIS DES CONCENTRATIONS EN PESTICIDES

A.1 SUIVIS DE 1996 ET 1997 (MEF)

Les suivis de 1996 et de 1997 ont été réalisés par le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF) dans le cadre du volet *Assainissement agricole* du programme Saint-Laurent-Vision 2000 (Giroux, 1998). Plusieurs rivières ont fait l'objet d'activités de suivi des pesticides dans le cadre de ce programme : les rivières Yamaska, L'Assomption, Chaudière et Boyer. Le but de ces travaux était de mieux documenter l'impact de l'utilisation des pesticides dans des régions soumises à divers types d'activités agricoles et productrices de diverses cultures intensives : maïs, pommes de terre et vergers. À l'époque, l'accent avait plutôt été placé sur les rivières Yamaska et l'Assomption. Dans le bassin de la rivière Chaudière, c'est le sous-bassin de la Rivière Beaurivage qui a été étudié. Il a été choisi car c'est dans ce dernier que les cultures de maïs et de céréales sont les plus présentes (Giroux, 1998).

A.1.1. Cultures sur le sous-bassin versant de la Beaurivage en 1996-1997

En 1996-1997, le territoire cultivé sur le sous-bassin versant de la rivière Beaurivage était de 23 304 ha (Bédard *et al.*, 1997 selon Giroux, 1998). Les proportions des différentes cultures réparties sur ce territoire en 1996 sont présentées à la Figure A.1.

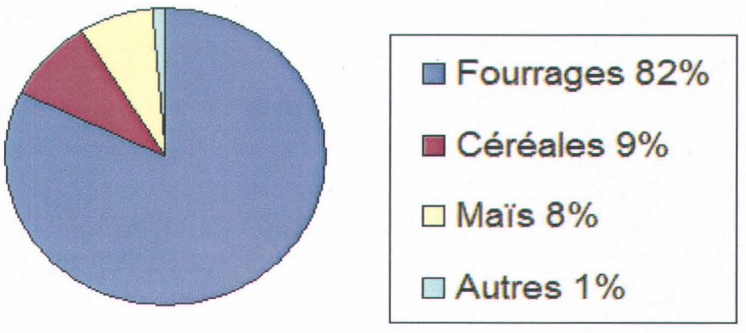


Figure A.1 : Répartition du territoire cultivé sur le sous-bassin versant de la rivière Beaurivage en 1996 (d'après Bédard *et al.*, 1997 selon Giroux, 1998)

L'étude du MEF (Giroux, 1998) ne fait pas état des pratiques liées aux pesticides (identité et nombre des composés, modes et taux d'application) durant ces saisons 1996 et 1997.

A.1.2. Méthode

L'échantillonnage s'est déroulé en un seul point situé à St-Étienne-de-Lauzon (Figure A.2).

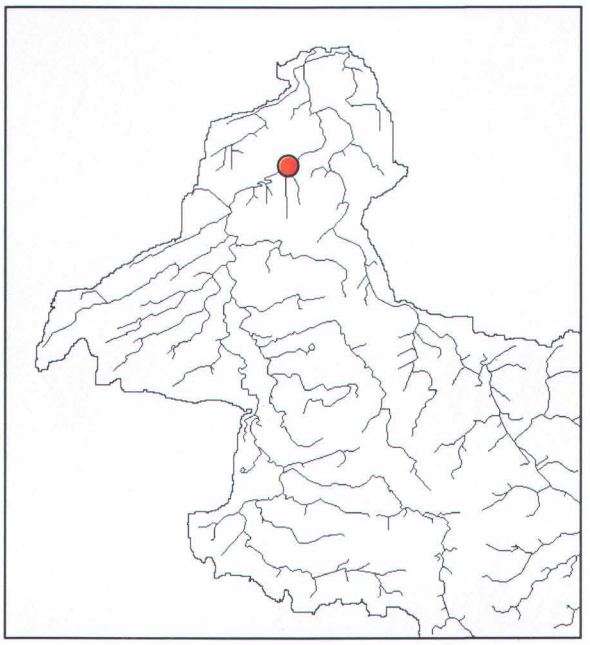


Figure A.2 : Localisation de la station d'échantillonnage de St-Étienne-de-Lauzon (en rouge).

En 1996, des échantillons ont été prélevés entre le 27 mai et le 11 juillet. En 1997, l'échantillonnage s'est effectué sur la période comprise entre le 2 juin et le 30 juillet. La fréquence d'échantillonnage est de trois fois par semaine (Giroux, 1998). Une telle fréquence est élevée dans le cadre d'un programme gouvernemental de suivi environnemental à l'échelle d'un sous-bassin versant.

Les pesticides suivis en 1996 sont des herbicides, soit les triazines (incluant l'atrazine et la dééthylatrazine ou DEA), le glyphosate et les composés phénoxyacides. En 1997, les triazines et les phénoxyacides ont été ciblés. Cependant et lors des deux années d'étude, d'autres herbicides ont également été dosés, comme par exemple le métolachlore.

Les techniques de laboratoire utilisées pour l'extraction et le dosage diffèrent selon le type de composé étudié.

- **Organophosphorés et triazines**

  1) Extraction au dichlorométhane
  2) Extraction sur cartouche octadécyl (C18)
  3) Élution à l'acétate d'éthyle saturé en eau
  4) Concentration sous atmosphère d'argon
  5) Dosage sur GC/MS
  6) Contrôle de qualité : étalon extraction = propoxur et atrazine D5 ; étalon d'injection = iprodion et terbutryn

- **Phénoxyacides**

  1) Acidification (pH = 2)
  2) Extraction sur cartouche octadécyl (C18)
  3) Élution acide acétique/acétonitrile
  4) Concentration sous atmosphère d'argon
  5) Estérification avec BF3/méthanol acidifié
  6) Extraction à l'hexane
  7) Dosage au GC avec détecteur masse spécifique (MSD)
  8) Contrôle de qualité : marqueurs isotopiques pour étalons d'extraction = dicamba-D_3 et 2,4-D - C_{16} ; étalon d'injection = 1,3,5 tribromobenzène

- **Triazines totales : Immuno-essais (technique ELISA)**

A.1.3. Résultats et conclusion

L'atrazine, le métolachlore et le dicamba sont les composés les plus souvent détectés et/ou présentant les concentrations les plus élevées, ceci pour les deux années. La Figure A.3 (résultats de 1996) montre que l'atrazine et le métolachlore atteignent des concentrations respectivement de près de 3 µg/L et de 2,5 µg/L - ce qui est, dans le cas de l'atrazine, supérieur au critère pour la protection de la vie aquatique qui est de 2 µg/L. Les pics de concentration pour ces deux composés surviennent en juin (les 7 et 14) et en juillet (le 4). Du MCPA et du MCPB (utilisés surtout en culture céréalière) ont également été détectés en 1996 et 1997, ainsi que du 2,4-D en 1997 (Giroux, 1998). Seules les données de 1996 sont illustrées

ici. Les résultats détaillés (totalité des concentrations mesurées) pour les années 1996 et 1997 sont présentés dans le Tableau A-1 et le Tableau A-2.

Ces suivis de 1996 et de 1997 ont permis de confirmer que les superficies utilisées en culture de maïs sont une source importante d'herbicides qui peuvent éventuellement être exportés vers les cours d'eau (Giroux, 1998).

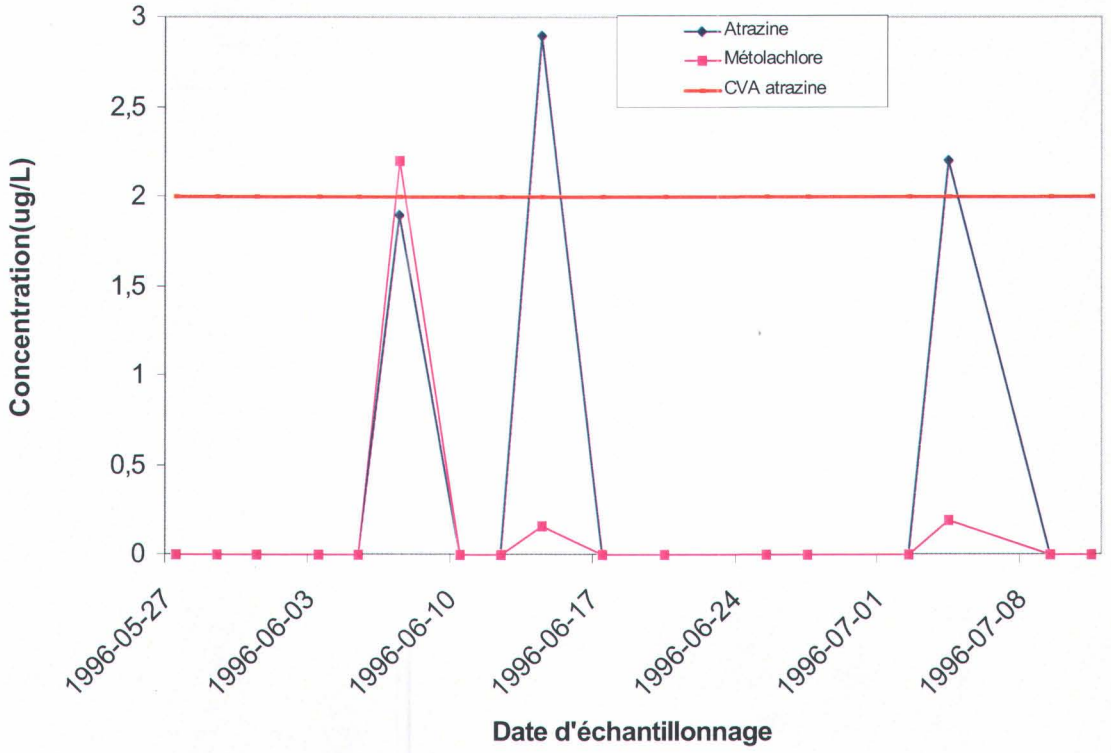


Figure A.3 : Concentrations d'atrazine (en bleu) et de métolachlore (en rose) à St-Étienne-de-Lauzon en 1996 (selon les données de Giroux, 1998). CVA (en rouge) : critère pour la protection de la vie aquatique pour l'atrazine.

Cette étude ne précise cependant pas la plage de dates d'application au sol des herbicides par les producteurs dans le sous-bassin de la Beaurivage en 1996 et en 1997. Également, les conditions pluviométriques (intensité-durée des précipitations) ne sont pas consignées dans cette étude de deux années. Pour les fins de la modélisation du transport, il sera notamment nécessaire d'acquérir les données météorologiques, hydrométriques, de pratiques agricoles et phytosanitaires ayant prévalues en 1996 et 1997.

A.2 SUIVI DE 2005 (INRS-ETE, 2005)

À l'été 2005, un échantillonnage sur le ruisseau du Bras d'Henri (sous-bassin de la rivière Beaurivage) a été réalisé. Suite à l'application des pesticides aux champs, l'échantillonnage a eu lieu en deux points du Bras d'Henri, soit au niveau de la municipalité de Saint-Gilles (bassin drainé d'environ 120 km^2) et de Saint-Narcisse (bassin drainé de 45 km^2), (voir Figure A.4). Ces sites ont été sélectionnés pour plusieurs raisons, dont notamment :

- Ils sont localisés dans une section du sous-bassin de la rivière Beaurivage qui présente une activité agricole importante, nécessitant l'emploi à la fois d'herbicides et d'insecticides;
- Ils sont localisés près de la source des contaminations diffuses potentielles par les pesticides susceptibles d'affecter la qualité de l'eau de la rivière Beaurivage (et donc de la rivière Chaudière);
- Ils représentent deux tailles différentes de superficies agricoles drainées. Le prélèvement en aval du Bras d'Henri peut ainsi éventuellement refléter des effets potentiels de dilution ou d'enrichissement en pesticides mesurés en amont;
- Ils sont localisés près des micro-bassins du projet WEBs (Watershed Evaluation of Best Management Practices) du Bras d'Henri, réalisé par l'équipe du chercheur Éric van Bochove d'Agriculture Agroalimentaire Canada de Ste-Foy (Québec), ainsi que de stations hydrométriques.

A.2.1. Méthode

Les deux points d'échantillonnage utilisés lors de la campagne de l'été 2005 sont situés dans le sous-bassin du Bras d'Henri (Figure A.4). Le premier est situé dans la municipalité de Saint-Gilles, sur le pont à l'embranchement du Rang Sainte-Marie et de Place Bellevue. Le deuxième est situé dans la municipalité de Saint-Narcisse de Neubois, sur le premier pont du premier embranchement du Chemin Iberville.

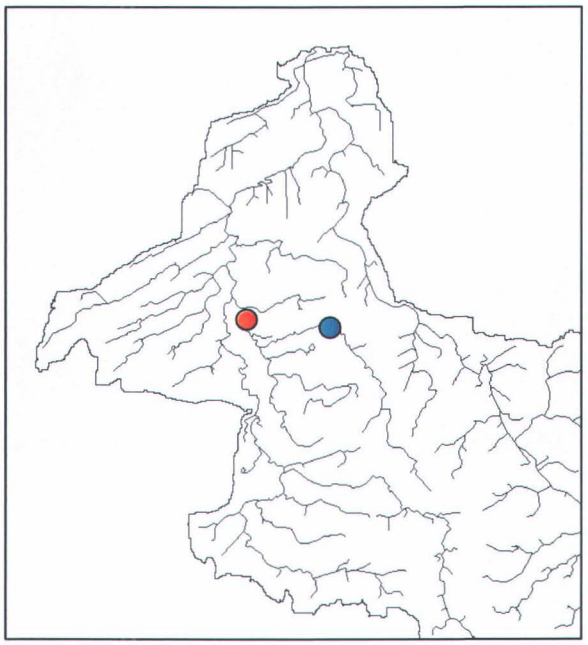


Figure A.4 : Localisation de la station d'échantillonnage à St-Gilles (en rouge) et St-Narcisse de Neubois (en bleu, position approximative à préciser)

L'échantillonnage a eu lieu trois fois par semaine, ce qui représente une fréquence élevée de prélèvement. Il s'est déroulé du 20 juin au 29 août 2005. Les échantillons ont été placés dans une glacière et ils ont été acheminés aux laboratoires de l'INRS-ETE pour y être traités. Les herbicides atrazine, métolachlore ainsi qu'un sous-produit de dégradation de l'atrazine, le dééthylatrazine (DEA), ont été dosés selon la méthode suivante :

- **Atrazine, DEA et Métolachlore**

1) Filtration sur 0,45 µm
2) Extraction sur cartouche octadécyl (C18)
3) Élution à l'acétate d'éthyle saturé en eau
4) Concentration sous atmosphère d'azote
5) Dosage sur GC/MS
6) Contrôle de qualité : étalon d'extraction = terbutryn; étalon d'injection = amétryn

A.2.2. Résultats et conclusion

Les résultats ont permis de démontrer la présence d'atrazine, de métolachlore et de DEA. Leurs concentrations semblent être plus élevées en début de saison (jusqu'à la mi-juillet environ) et décroissent par la suite. À St-Gilles, les concentrations de métolachlore diminuent alors en passant de 1,6 µg /L à 0,3 µg /L, tandis qu'à St-Narcisse, elles passent de 2,0 µg /L à 0,3 µg /L. Pour l'atrazine, à St-Gilles, les concentrations diminuent en passant de 0,3 µg/L à des valeurs inférieures à la limite de détection instrumentale, alors qu'à St-Narcisse, elles passent de 0,4 µg /L à des valeurs inférieures à la limite de détection instrumentale (Figure A.5 et Figure A.6).

Les pics de concentrations en composés herbicides n'excèdent pas 2 µg/L et sont donc inférieures aux critères pour la protection de la vie aquatique. À l'opposé des résultats obtenus par le MEF en 1996-1997 sur la rivière Beaurivage (*e.g.* Figure A.3, 1996), les concentrations en métolachlore dans le ruisseau du Bras d'Henri sont supérieures à celles en atrazine. Ce résultat devra être interprété en regard notamment des pratiques phytosanitaires utilisées sur ces superficies drainées.

Tout comme pour le suivi du MEF en 1996-1997, ce suivi INRS-ETE en 2005 aura généré des données pesticides pouvant être utilisées pour la modélisation du transport des pesticides. Pour les fins de cette modélisation, il sera notamment nécessaire d'acquérir les données météorologiques, hydrométriques, de pratiques agricoles et phytosanitaires ayant prévalues en 2005 dans cette région.

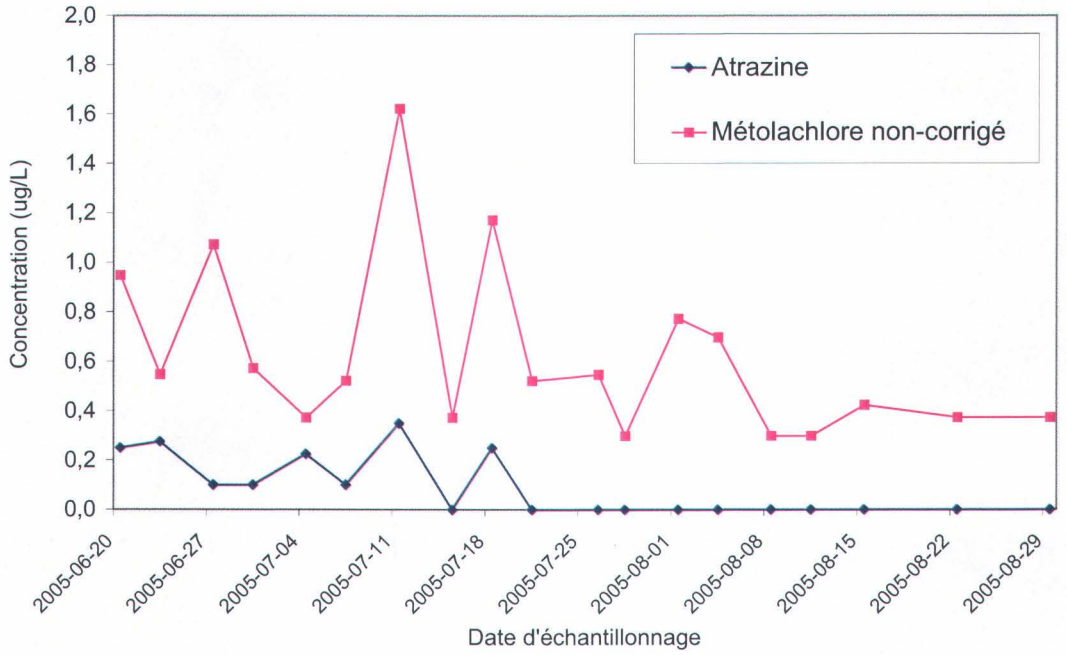


Figure A.5 : Concentrations d'atrazine et de métolachlore à St-Gilles en 2005 (Lafrance et Caron, 2005)

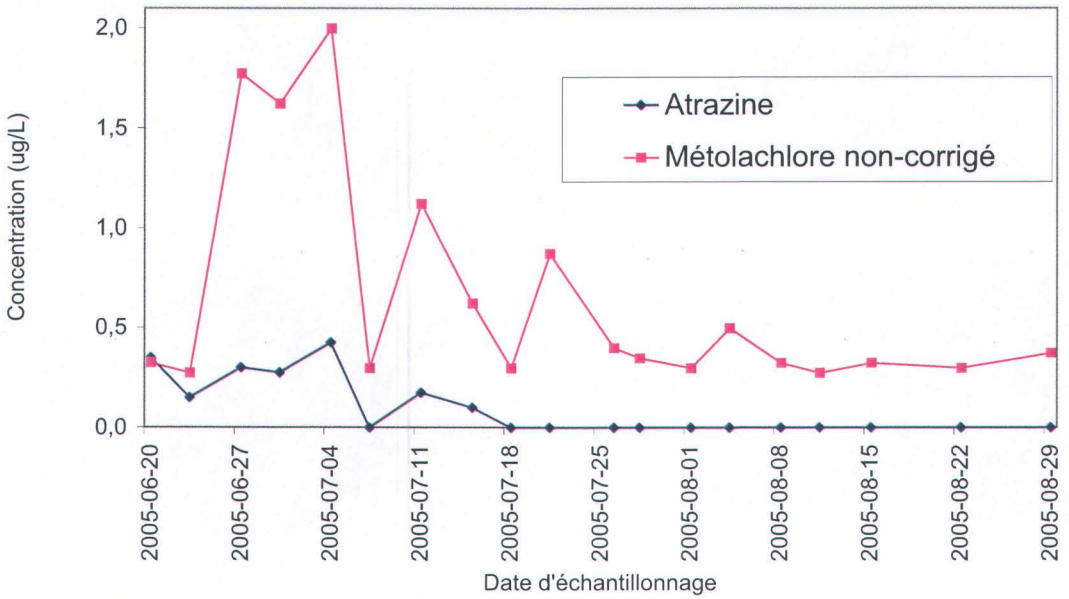


Figure A.6 : Concentrations d'atrazine et de métolachlore à St-Narcisse en 2005 (Lafrance et Caron, 2005)

Les résultats détaillés sont présentés aux Tableaux A-1 à A-3. Ces résultats semblent démontrer une présence d'herbicides provenant principalement de la culture du maïs dans le sous-bassin versant étudié. Les résultats acquis permettent également une bonne caractérisation de la variation temporelle des concentrations d'herbicides au cours de la saison de croissance des cultures.

A.3 SIMILITUDES ENTRE LES DEUX ÉTUDES DE SUIVI (MEF 1996-1997 ET INRS-ETE 2005)

Dans un premier temps, il est facile de constater la proximité des trois points d'échantillonnage. Dans un deuxième temps, bien que les périodes d'échantillonnage soient légèrement décalées, les stratégies d'échantillonnage (systématique – 3 fois par semaine) sont les mêmes. Finalement, les techniques utilisées en laboratoire pour le dosage de l'atrazine, le métolachlore et le DEA sont les mêmes dans les deux études. Ainsi les différences techniques entre les deux études sont très faibles.

Tableau A-1 : Résultats du suivi du MEF de 1996 sur la Rivière Beaurivage (Giroux, 1998). Concentrations mesurées en pesticides (µg/L)

DATE	27-mai	29-mai	31-mai	03-juin	05-juin	07-juin	10-juin	12-juin	14-juin
Triazines	0,05	0,05	0,43	traces	traces	2,1	0,46	0,54	3,4
Atrazine	–	–	–	–	–	1,9	–	–	2,9
DEA	–	–	–	–	–	0,09	–	–	0,19
Cyanazine	–	–	–	–	–	0,12	–	–	
Simazine	–	–	–	–	–	–	–	–	0,16
DES	–	–	–	–	–	0,04	–	–	0,07
Métolachlore	–	–	–	–	–	2,2	–	–	0,16
Glyphosate	–	–	–	–	–	–	–	–	–
AMPA	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Dicamba	–	–	–	–	–	0,29	0,06	–	0,84
2,4-D	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Mécocrop	–	–	–	–	–	traces	–	–	0,07
MCPA	–	–	–	–	–	–	–	–	0,59
MCPB	–	–	–	–	–	–	–	–	0,37

DATE	17-juin	20-juin	25-juin	27-juin	02-juil	04-juil	09-juil	11-juil
Triazines	0,49	0,27	1	0,74	0,2	3,9	0,95	0,2
Atrazine	–	–	–	–	–	2,2	–	–
DEA	–	–	–	–	–	0,42	–	–
Cyanazine	–	–	–	–	–	–	–	–
Simazine	–	–	–	–	–	0,03	–	–
DES	–	–	–	–	–	0,15	–	–
Métolachlore	–	–	–	–	–	0,19	–	–
Glyphosate	–	–	–	–	–	–	–	–
AMPA	–	–	–	–	–	–	–	–
Dicamba	0,06	–	traces	–	–	traces	–	–
2,4-D	–	–	0,07	–	–	–	–	–
Mécocrop	–	–	–	–	–	–	–	–
MCPA	–	–	–	traces	–	0,19	–	–
MCPB	–	–	–	–	–	0,32	–	–

Tableau A-2 : Résultats du suivi du MEF de 1997 sur la Rivière Beaurivage (Giroux, 1998). Concentrations mesurées en pesticides (µg/L)

DATE	02-juin	04-juin	06-juin	09-juin	11-juin	13-juin	16-juin	18-juin	20-juin	23-juin	25-juin	27-juin	30-juin
Triazines	traces	ND	ND	0,05	traces	traces	0,05	0,16	0,29	2,6	0,98	1,6	0,5
Atrazine										2,5			
DEA										0,29			
Cyanazine										0,28			
Simazine													
DES										0,11			
Métolachlore										2,5			
Linuron										0,08			
Dicamba									0,05	0,77	0,09	0,11	0,02
2,4-D									traces	0,17	0,05	0,07	_
Mécocrop									traces	0,01	_	_	_
MCPA									0,03	0,56	0,09	0,59	0,05
2,4-DB									_	0,11	_	_	_
MCPB									_	0,1	_	_	_
Bentazone									_	0,11	_	_	_
Bromoxynil									0,02	0,16	traces	0,03	_

DATE	02-juil	04-juil	07-juil	09-juil	11-juil	14-juil	16-juil	18-juil	21-juil	23-juil	25-juil	28-juil	30-juil
Triazines	0,31	0,56	0,14	0,1	0,07	0,06	0,08	0,12	0,06	0,04	traces	0,04	0,05
Atrazine													
DEA													
Cyanazine													
Simazine													
DES													
Métolachlore													
Linuron													
Dicamba	_	0,06	_	_	_								
2,4-D	_	0,03	_	_	_								
Mécocrop	_	_	_	_	_								
MCPA	_	0,13	_	_	_								
2,4-DB	_	_	_	_	_								
MCPB	_	_	_	_	_								
Bentazone	_	_	_	_	_								
Bromoxynil	_	_	_	_	_								

ND=non-détecté

Tableau A-3 : Résultats du suivi de l'INRS-ETE de 2005 sur le ruisseau du Bras d'Henri (Lafrance et Caron, 2005). Concentrations des herbicides Atrazine, Métolachlore et DEA aux deux sites d'échantillonnage (µg/L)

DATE	St-Gilles				St-Narcisse			
	Atrazine	DEA	MET	MET corr.	Atrazine	DEA	MET	MET corr.
2005-06-20	0,250	0,042	0,95	LID	0,350	LID	0,33	LID
2005-06-23	0,275	LID	0,55	LID	0,150	LID	0,28	LID
2005-06-27	0,100	LID	1,08	LID	0,300	LID	1,78	0,70
2005-06-30	0,100	LID	0,58	LID	0,275	0,067	1,63	0,55
2005-07-04	0,225	LID	0,38	LID	0,425	LID	2,00	0,92
2005-07-07	0,100	0,067	0,53	LID	LID	0,042	0,30	LID
2005-07-11	0,350	0,042	1,63	0,55	0,175	LID	1,13	LID
2005-07-15	LID	0,117	0,38	LID	0,100	0,117	0,63	LID
2005-07-18	0,250	LID	1,18	0,10	LID	LID	0,30	LID
2005-07-21	LID	LID	0,53	LID	LID	0,042	0,88	LID
2005-07-26	LID	LID	0,55	LID	LID	LID	0,40	LID
2005-07-28	LID	LID	0,30	LID	LID	LID	0,35	LID
2005-08-01	LID	LID	0,78	LID	LID	LID	0,30	LID
2005-08-04	LID	LID	0,70	LID	LID	LID	0,50	LID
2005-08-08	LID	LID	0,30	LID	LID	LID	0,33	LID
2005-08-11	LID	LID	0,30	LID	LID	LID	0,28	LID
2005-08-15	LID	LID	0,43	LID	LID	LID	0,33	LID
2005-08-22	LID	LID	0,38	LID	LID	LID	0,30	LID
2005-08-29	LID	LID	0,38	LID	LID	LID	0,38	LID

MET = métolachlore

MET corr. = métolachlore corrigé pour les blancs de méthode du contrôle de qualité

LID = sous la limite instrumentale de détection

ANNEXE B. ENQUÊTE SUR LES PRATIQUES AGRICOLES

B.1 PRATIQUES PHYTOSANITAIRES

La première étape de cette enquête a été d'identifier les organismes oeuvrant dans le bassin de la rivière Beaurivage. Cette information a été obtenue auprès du MAPAQ. Les organismes qui ont été identifiés sont trois clubs de fertilisation : Le Club de Fertilisation de la Beauce, Fertior et le Club Ferti-Conseil Rive-Sud.

Les trois clubs ont été contactés et visités (Club de Fertilisation de la Beauce : 8 décembre 2005, le Club Ferti-Conseil Rive-Sud : 19 décembre 2005 et Fertior : 6 janvier 2006). Après leur avoir expliqué le présent projet, il leur a été demandé de fournir des données pour les pratiques phytosanitaires (produits appliqués par type de culture, taux d'application, date d'application).

Tous les clubs contactés ont accepté de collaborer avec nous. Le rapport de la rencontre du Club de Fertilisation de la Beauce est présenté à l'ANNEXE C. Les autres Clubs travaillent actuellement à colliger les données. De plus, il est important de mentionner que les gens de Fertior ont accepté de faire circuler parmi certains de leurs membres (ciblés par les agronomes) un questionnaire que nous leur avons fourni afin de répondre à des questions plus ciblées concernant principalement les pratiques phytosanitaires et les PGB appliqués aux champs. Cet inventaire des pratiques et des PGB vise les années pour lesquelles les données de concentration en pesticides sont disponibles pour le sous-bassin de la Rivière Beaurivage (étude du MEF 1996-1997 et étude INRS-ETE 2005). Une copie de ce questionnaire ainsi que le résumé du projet l'accompagnant sont présentés à l'ANNEXE D.

Les principaux résultats sur les pratiques phytosanitaires à tirer de la rencontre avec le Club de Fertilisation de la Beauce sont présentés au Tableau B-1. Les taux et les compositions proviennent des étiquettes des fabricants. Il est à noter que le Club de Fertilisation de la Beauce recommande généralement d'appliquer le plus faible taux d'application retrouvé sur les étiquettes produites par le fabricant. Ce tableau présente, pour les années des suivis environnementaux ayant eu lieu dans le sous-bassin de la Rivière Beaurivage (MEF 1996-1997 et INRS-ETE 2005), les composés pesticides, leur formulation et leur taux d'application sur les cultures (susceptibles d'être applicables pour le sous-bassin de la rivière Beaurivage). Il est à noter que seule une future enquête, davantage approfondie et qui est présentement en cours

auprès de Clubs de fertilisation oeuvrant au niveau du sous-bassin de la Beaurivage, permettra de mieux connaître les pratiques réellement appliquées dans ce sous-bassin.

De plus, en 2005, le Marksman est encore utilisé dans le maïs, mais seulement lors de la première année de rotation. On constate que très peu de produits utilisés en 1996-1997 le sont encore en 2005, à l'exception de Refine, Prowl et Marksman. On note également une grande diversité dans les matières actives ainsi que dans les taux d'application (de 83 mL/ha à 4,25 L/ha).

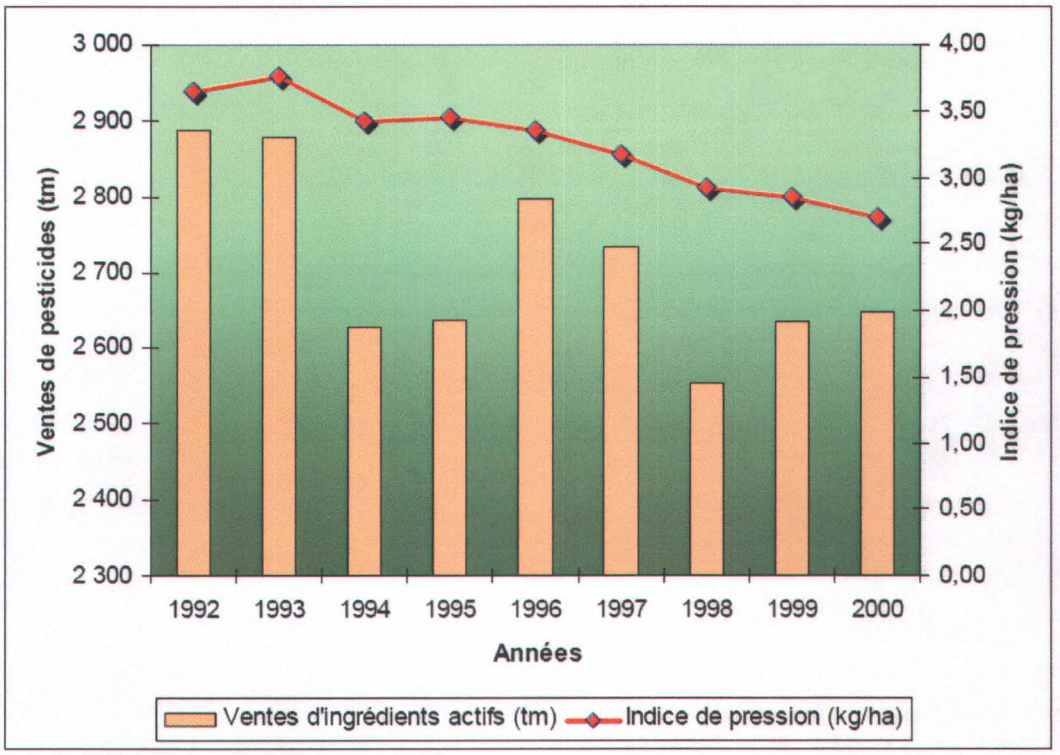
B.2 ENQUÊTE SUR LES PGB

Comme le présent projet a pour objectif d'établir des NPA, soit la concentration d'une substance pouvant être atteinte en adoptant des PGB selon les technologies disponibles, il est donc nécessaire de répertorier les PGB appliquées dans le (sous)bassin versant d'étude (rivières Chaudière et Beaurivage). Dans ce paragraphe, les PGB prises en compte visent autant la réduction des taux d'application (gestion des intrants) que les dispositifs de protection des eaux de surface.

En 2005 et dans le cas des bandes enherbées de protection des cours d'eau, selon notre enquête réalisée auprès du Club de Fertilisation de la Beauce, la plupart des agriculteurs respectent la distance de 1 m en haut du talus (65,1 % des membres). Les bandes sont généralement entretenues par fauchage plutôt que laissées à l'état naturel. Les dommages causés aux bandes sont généralement occasionnés par les animaux qui ont accès aux cours d'eau.

En 2003, une enquête a été réalisée auprès des producteurs et autres intervenants du milieu par le groupe de BPR (2003). Dans la partie de ce rapport concernant les herbicides, la première partie traite des variations de l'indice de pression exercé par les pesticides et la deuxième partie étudie l'adoption de certaines PGB par les producteurs.

Tout d'abord, selon les résultats de la Figure B.1, on constate que les ventes de matières actives au Québec ont été réduites de 8,3% entre 1992 et 2000, tandis que l'indice de pression lui, a chuté de 26% sur la même période. Cet indice correspond à la quantité de matières actives vendue divisée par la superficie traitée (BPR, 2003)



Source : MENV, 2004

Figure B.1 : Évolution des ventes de matières actives de pesticides et de l'indice de pression sur les superficies en cultures annuelles au Québec de 1992 à 2000 (tirée de BPR, 2003).

En ce qui a trait aux PGB, selon les résultats régionaux de 2003 fournis par l'UPA, on peut estimer qu'en Beauce 6 ± 6 % des producteurs avaient une bande riveraine de 1 m et 7 ± 7 % des producteurs avaient une bande de 3 m. Dans Lotbinière-Mégantic, c'est 13 ± 6 % des producteurs qui ont déclaré avoir une bande de 1 m, comparativement à 16 ± 8 % qui disent avoir une bande de 3 m (BPR, 2003).

De plus, selon l'UPA, en 2003, dans la Beauce, c'est 28 ± 20 % des producteurs qui n'ont pas utilisé la charrue à versoir l'automne suivant la fin de la culture ou au printemps. Cette proportion était de 50 ± 14 % dans Lotbinière-Mégantic (BPR, 2003).

Pour ce qui est du type d'application des pesticides, en Beauce et pour l'année 2003, 77 ± 15 % des superficies traitées l'ont été en surface totale, 1,5 % en bandes, 9% avec des doses réduites et 12 % en interventions combinées (plusieurs types). Dans Lotbinière-Mégantic, 85 ± 8 % des applications étaient en surface totale, comparativement à 2 % en bandes. Le désherbage mécanique a été pratiqué dans 2,8 % des cas et une application à dose réduite dans 8 %, tandis

que 2 % des superficies étaient en intervention combinées. Les pratiques telles que l'utilisation d'agents biologiques étaient effectuées dans moins de 1 % des cas dans les deux régions (BPR, 2003).

En 2003, dans la région de la Beauce, 46 ± 11 % des entreprises tenaient un registre à jour des applications de produits phytosanitaires, tandis qu'en Lotbinière-Mégantic, c'était 40 ± 12 %. Dans le même ordre d'idée, 37 ± 14 % des pulvérisateurs utilisés en Beauce étaient réglés une fois ou plus par an, comparativement à 68 ± 18 % dans Lotbinière-Mégantic (BPR, 2003).

Les travaux primaires du sol (type de labour) sont connus pour influer sur le volume d'eau ruisselé susceptible d'atteindre, ainsi que les pesticides associés sous forme dissoute ou particulaire (adsorption sur les sédiments érodés), les eaux de surface. L'élaboration d'un formulaire d'enquête (voir ANNEXE D), et sa distribution future auprès de producteurs représentatifs du sous-bassin de la rivière Beaurivage, prend en compte non seulement les pratiques phytosanitaires appliquées, les bandes enherbées, mais également ce travail primaire du sol. Ce questionnaire permettra d'estimer les superficies cultivées qui sont soumises au travail réduit du sol (*e.g.* charrue scarificatrice ou chisel, semis direct ou non-travail du sol), et qui permettent de réduire les volumes d'eau ruisselée quittant les champs agricoles.

Tableau B-1 : Principaux produits recommandés par le Club de Fertilisation de la Beauce pour les années 1996, 1997 et 2005.

Années 1996-1997			
Culture	**Produit**	**Composition**	**Taux**
Céréale	Dyvel	84 g/L de dicamba et 336 g/L de MCPA	1,25 L/ha
	Embutox-E	625 g/L de 2,4-DB (esther)	1,75 L/ha à 2,25 L/ha
	Tropotox-plus	MCPB 375g/L et MCPA 25 g/L	2,75 L/ha à 4,25 L/ha
	Refine	Pour 8 g : 4 g de thifensulfuron et 2 g de tribnuron méthyle	8 g/ac
Maïs	Marksman	132 g/L de dicamba et 252 g/L d'atrazine	3,5 à 2 pints/ac
	Prowl	35,7% de pendiméthaline	2 à 4 pints/ac
	Atrazine	451 g/L d'atrazine	2,1 à 3,1 L/ha
	Pardner	Bromoxynil 280 g/L	1 à 1,2 L/ha
Canola	Select	240 g/L de cléthodim	0,125 à 0,38 L/ha
	Edge	5% de éthalfluralin	17 à 22 kg de produit /ha

Année 2005			
Culture	**Produit**	**Composition**	**Taux**
Céréale	Refine	Pour 8 g : 4 g de thifensulfuron et 2 g de tribnuron méthyle	8 g/ac
	Pardner	Bromoxynil 280 g/L	1 à 1,2 L/ha
Maïs	Accent	75% de Nicosulfuron	2 à 3 once /ac
	Option	35 % de foramsulfuron	100 g /ha
	Basagran	44% de bentazone	1 à 2 pints/ac
	RoundUp	Original contient 356 g/L de glyphosate	24 ou 32 once/ac
Canola	Matador	120 g/L de lambda-cyhalothrin (pyréthroid)	83 mL/ha
	Cygon	480 g/L de diméthoate	340-360 mL/ac

ANNEXE C. COMPTE RENDU DE LA RENCONTRE AVEC LE CLUB DE FERTILISATION DE LA BEAUCE

Rapport sur l'entrevue de M. Mathieu Brisebois

Réalisée au Club de Fertilisation de la Beauce

111 rue Principale, St-Hénédine

le 8 décembre 2005

Par Emmanuelle Caron

Présenté à M. Alain Rousseau

Professeur INRS-ETE

INRS-ETE

Décembre 2005

C.1 INFORMATIONS SUR LE CLUB DE FERTILISATION DE LA BEAUCE

M. Brisebois me remet les rapports des années 1996-97 et 2005.

- **Nombre de membres du CLFB sur tout leur territoire** :

En 2005 = 292

En 1996-97 = 27

- **Nombre de conseillers** : 8

- **Territoire du sous BV de la Beaurivage couvert par le CLFB** : Aller voir Annie Coudreau du MAPAQ à Ste-Marie.

- **Nombre de membres du CLFB sur le territoire de la Beaurivage** : Aller voir Annie Coudreau du MAPAQ à Ste-Marie.

Le Club Ferti- Conseil Rive-Sud œuvre également sur le bassin de la Beaurivage. M. Brisebois suggère de rencontrer M. Martin Breton.

C.2 DONNÉES SUR LES HERBICIDES

En 2005, le total des superficies traitées avec herbicides sur tout le territoire du CLFB est de 8130,7 ha.

Les recommandations effectuées par le CLFB sont effectuées sur la base du document : « Traitements herbicides » de CPVQ, 2000 (18,69$ sur le site du CRAAQ) et du guide pour l'Ontario, 2004-2005 (10$ au ministère de l'Ontario et reconstitué sur Internet), car il est mis à jour plus fréquemment. Ces recommandations sont effectuées à la suite d'un dépistage. Elles sont généralement faites oralement aux producteurs.

En ce qui a trait à la fertilisation, les agronomes, en 1996-1997, utilisaient les grilles du CPVQ 1996-1997 et le guide de l'AFEQ. En 2005, ils utilisent les grilles de 2003.

La plupart des compagnies productrices de pesticides ont leur propre représentant qui va sur le terrain et effectue les recommandations. Certaines compagnies offrent également un service de dépistage. Les recommandations sont généralement manuscrites sur la facture elle- même.

Le CLFB tient parfois un registre manuscrit de certaines applications pour certains agriculteurs, mais celui -ci est très fragmentaire et ne remonte pas loin dans le temps. Il est porté au dossier de l'agriculteur et est, de ce fait, peu ou pas accessible.

En 2005, sur les membres du CLFB, 36 tiennent un registre à jour des interventions phytosanitaires, tandis que ce registre est partiellement à jour pour 24 membres. 147 membres ne tiennent aucun registre.

C.2.1. Mode d'application des herbicides

L'application se fait principalement par arrosage avec une ampe à pulvérisation

En 2005, les rampes ne font objet d'aucun réglage pour 145 membres du CLFB. Tandis que 80 les règlent aux deux ans ou moins, 32 une fois par année et 7 plus d'une fois par an. Selon M. Brisebois, la moitié des agriculteurs n'effectuent aucun réglage à moins d'un nouveau produit ou d'une nouvelle pièce.

Les agriculteurs effectuent plutôt une évaluation visuelle de l'application et ajuste la vitesse du tracteur en conséquence. Si des problèmes majeurs surviennent, ils peuvent alors contacter le CLFB, qui peut à ce moment effectuer des recommandations comme de vider le réservoir ou de faire un deuxième passage.

De plus, un nombre croissant d'agriculteurs confient maintenant les travaux d'application à forfait suite à la nouvelle réglementation (Code de gestion des pesticides).

C.2.2. Date d'application

Les applications se font principalement en post-levée (très peu d'agriculteurs appliquent en pré-levée)

Les applications ont lieu principalement du début juin à la mi-juin (avant les foins). Mais elles peuvent s'étendre de la mi-mai à la St-Jean.

C.2.3. Taux d'application

Le taux d'application recommandé par les agronomes est généralement le taux le plus faible recommandé par le fabricant sur l'étiquette du produit.

En 2005, sur les 292 membres du CLFB, 76 pratiquent une culture sans herbicides (3 054,5 ha sur tout le territoire du CLFB). De plus, 73 pratiquent une application à dose réduite sur toute leur entreprise (2 254,5 ha sur tout le territoire du CLFB), tandis que 15 pratiquent le

désherbage mécanique (314,4 ha). M. Brisebois me mentionne que les agriculteurs mélangent parfois taux réduit et taux minimal recommandé.

Le CLFB ne possède pas d'informations pour la comparaison des coûts entre application d'herbicides et désherbage mécanique autre que celle du MAPAQ.

L'application a lieu à la pleine largeur du champ (165 entreprises pour 6 134,2 ha sur tout le territoire du CLFB). Aucun agriculteur ne pratique une application localisée ou en bandes.

C.2.4. Produits appliqués par type de culture

En Beauce, les traitements phytosanitaires ne sont appliqués que dans les cultures annuelles : maïs et céréales. Dans les pâturages, on utilise plutôt le désherbage mécanique et le brûlage dans les cultures permanentes.

Sur le territoire du CLFB :

En 1996-97 : dans les céréales :

- **Dyvel**
  - A été appliqué sur 101 ha , soit 132 L
  - 84 g/L de dicamba et 336 g/L de MCPA
  - Taux recommandé : 1,25 L/ha
  - On applique 105 g/ha de dicamba et 420 g/ha de MCPA
- **Embutox-E**
  - A été appliqué sur 91 ha, soit 227 L
  - Contient 625 g/L de 2,4-DB (esther)
  - Taux recommandé : 1,75 L/ha à 2,25 L/ha
  - Si on applique à 1,75 L/ha, on applique 1093, 8 g/ha de 2,4-DB
- **Tropotox plus**
  - A été appliqué sur 44 ha, soit 131 L
  - Contient MCPB 375 g/L et MCPA 25 g/L
  - Taux recommandé :2,75 L/ha à 4,25 L/ha
  - Si on applique à 2,75 L/ha, on applique 1031,3 g/ha de MCPB et 68,8 g/ha de MCPA

- **Refine**
  - A été appliqué sur 23 ha, soit 458 g
  - Pour 8 g : 4 g de thifensulfuron et 2 g de tribnuron méthyle
  - Taux recommendé : 8g/acre
  - Si on applique 19,8 g/ha, on applique 9,9 g de thifensulfuron et 4,95 g de tribnuron méthyle

En 2005 : dans les céréales :

- **Refine**
  - Pour 8 g : 4 g de thifensulfuron et 2 g de tribnuron méthyle
  - Taux recommendé : 8 g/acre
  - Si on applique 19,8 g/ha, on applique 9,9 g de thifensulfuron et 4,95 g de tribnuron méthyle
- **Pardner**
  - Taux d'application : 1 à 1,2 L/ha
  - Contient :Bromoxynil 280 g/L
  - Si on applique 1 L/ha , on applique 280 g/ha de Bromoxynil

En 1996-97 : dans le maïs :

- **Marksman**
  - A été appliqué sur 47 ha, soit 189 L
  - Contient : 132 g/L de dicamba et 252 g/L d'atrazine
  - Taux recommandé : 3,5 pints/acre (1,65 L/ac) sur sol médium à fin, 2 pints/acre (0,946 L/ac) sur sol grossier
  - Si on applique à 2,34 L/ha (0,946 L/ac) = 309 g/ha de dicamba et 590 g/ha d'atrazine
- **Prowl**
  - A été appliqué sur 72 ha, soit 253 L
  - Contient 35,7% de pendiméthaline

- Taux recommandé : 2 à 4 pints /acre selon la texture et le % de matière organique
- Si on applique à 3 pints par acre (1,4195 L/ac ou 3,5 L/ha) , on applique 1249,5g de pendiméthaline

- **Atrazine**
  - A été appliqué sur 72 ha, soit 181 L
  - Contient 451 g/L d'atrazine
  - Taux recommandé : 2,1 à 3,1 L/ha
  - donc pour 3,1 L/ha on applique 1398,1 g/ha d'atrazine
  - Ne pas dépasser 1500 g/ha/an d'atrazine

- **Pardner**:
  - A été appliqué sur 67 ha, soit 67 L
  - Taux d'application : 1 à 1,2 L/ha
  - Contient :Bromoxynil 280 g/L
  - Si on applique 1 L/ha , on applique 280 g/ha de Bromoxynil

En 2005 : dans le maïs :

- **Accent**
  - Contient 75% de Nicosulfuron
  - Taux 2 à 3 onces /acre (pour 2 once/ac = 0,059 L/acre ou 146 mL/ha)
  - Pour 146 mL/ha, on applique 109,5 g/ha de nicosulfuron

- **Option**
  - Contient 35 % de foramsulfuron
  - Taux recommandé : 100g de produit/ha = 35g de foramsulfuron/ha

Accent et Option sont utilisés en association avec le Marksman qui est toujours celui utilisé lors de la première année de rotation en maïs (efficace pour les feuilles larges)

- **Bazagran**
  - Contient 44% de bentazone
  - Taux recommandé :1 à 2 pints/acre(pour 1 pint/ac = 0,473 l/ac ou 1,17 l/ha)

- Si on applique à 1,17 l/ha, on applique 514,8g de bentazone/ha

- **RoundUp** dans les cultures Roundup Ready (surtout utilisé depuis 2 ou 3 ans)
  - Original contient 356 g/L de glyphosate et Ultra contient 540 g/L
  - Taux recommandé : 16 à 48 once/acre, le plus souvent 24 ou 32 once/acre pour la formulation originale (24 once/acre = 710 mL/ac ou 1757 mL/ha)
  - Pour 1757 mL/ha, on applique 625,6 g/ha de glyphosate

Les herbicides de 1996-1997 (Atrazine, Prowl et Pardner) sont encore utilisés également.

En 1996-1997 : dans le canola et autres protéagineux :

- **Select**
  - A été appliqué sur 23 ha, soit 5 L
  - Contient 240 g/L de cléthodim
  - Taux recommandé : de 0,125 à 0,38 L/ha, le plus souvent 0,19 L/ha
  - Si on applique à 0,19 L/ha = 45,6 g/ha de cléthodium

- **Edge**
  - A été appliqué sur 37 ha, soit 49 kg
  - Contient 5% de éthalfluralin
  - Taux recommandé = 17 à 22 kg de produit /ha
  - Si on applique à 17 kg/ha = 850 g/ha d'éthalfluralin

Selon M.Brisebois, les agriculteurs travaillent en général avec deux produits (généralement RoundUp + un autre).

En 2005, pour la première fois, environ 30-40 ha ont été traités contre le puceron du soya avec du Matador ou du Cygon.

- **Matador**
  - Contient 120 g/L de lambda-cyhalothrin (pyréthroid)
  - Taux recommandé : 83 mL/ha dans le canola
  - On applique alors 9,96 g/ha de lambda-cyhalothrin

- **Cygon**
  - Contient 480 g de diméthoate/L
  - Taux recommandé : 340-360 mL/acre (pour 340 mL/acre = 841,6 mL/ha)
  - Pour 841 mL/ha, on applique 403 g/ha de diméthoate
  - Également, on rencontre de plus en plus de cas de fusariose dans le blé d'alimentation humaine (environ 50% des cultures selon M. Brisebois). On traite alors avec du Folicur.

- **Folicur**
  - Contient 200g de tébuconazole/L
  - Taux recommandé :4 once/acre (0,118 L/ac ou 0,292 L/ha)
  - On applique 58 g/ha de tébuconazole

C.3 LES ROTATIONS PRATIQUÉES

En 2005, selon M. Brisebois, les rotations les plus communes sont :

- 2 ans de maïs-grain suivi de 1 an de soya
- 5 à 7 ans de foin – 2 ans d'orge
- 1 an de blé – 2 ans d'orge – 1 an de canola
- 3 ans de maïs-ensilage- 1 an d'orge – 4 ans de foin
- 1 an de blé – 1 an d'orge ou d'avoine – 4 ans de foin

La présence du soya est beaucoup plus forte depuis les cinq dernières années. Le canola du Québec a été déclassé en 2004 et 2005 (à cause d'un acide qui s'est créé dans la plante à cause de la sécheresse) et il a donc perdu beaucoup de valeur. De plus, la valeur pour la consommation à la ferme est plus élevée pour le soya que le canola.

En 2005, le soya est la seconde culture en ce qui a trait à la surface cultivée sur le territoire du CLFB : 1 291,0 ha. Le maïs grain est premier avec 3 371,4 ha.

Le type de céréale planté est déterminé selon les caractéristiques du sol. L'orge est généralement celle qui est la plus utilisée, car elle constitue un bon compromis entre l'avoine (facile à cultiver, mais faible valeur nutritive et le blé (riche mais capricieux).

C.4 PRATIQUES DE GESTION BÉNÉFIQUE

- Travail du sol

En 2005, le travail réduit du sol est pratiqué sur 290,8 ha au printemps (soit 11 exploitations). De plus, 433,7 ha (sur 20 exploitations) sont semés en semi-direct au printemps.

- Bandes riveraines

En 2005, M. Brisebois constate que la plupart des agriculteurs respectent la distance de 1m en haut du talus (65,1 % des membres). Les bandes sont généralement entretenues par fauchage plutôt que laissées à l'état naturel. M. Brisebois remarque également que les dommages causés aux bandes sont généralement causés par les animaux qui ont accès aux cours d'eau. Les animaux ont accès aux cours d'eau chez 77 membres du CLFB.

- Respect des zones d'approvisionnement en eau potable

En 2005, selon les observations de M. Brisebois, les distances d'arrosage par rapport aux puits sont respectées (179 exploitations agricoles sur le territoire du CLFB). Par contre, la situation serait à améliorer en ce qui a trait aux distances d'arrosage par rapport aux cours d'eau.

ANNEXE D. QUESTIONNAIRE SUR LES PRATIQUES AGRICOLES ET PHYTOSANITAIRES

Informations générales

1) Votre municipalité _____

2) Vous êtes un producteur

Porcin ☐ Laitier ☐

Bovin ☐ Autre ☐

3) Quelles sont les rotations culturales que vous utilisez ?

En 2005

4) En 1996-97 quelles étaient vos cultures principales ? (en ordre de superficie cultivée S.V.P.)
1) 2) 3)

5) Pour chacune de ces cultures, quelle superficie avez-vous cultivé ? (S.V.P. conservez le même ordre)
1) 2) 3)

6) Pour chacune de ces cultures, quelle superficie avez-vous traité avec des pesticides (herbicides, insecticides…) ?
1) 2) 3)

7) Quels produits avez-vous utilisé ?
1) 2) 3)

8) À quel taux (formulation commerciale) avez-vous appliqué ?
1) 2) 3)

9) À quelle date avez-vous appliqué ?
1) 2) 3)

10) Quel type de pulvérisation effectuiez-vous? Superficie totale ☐ En bande sur les rangs ☐

11) Effectuiez-vous du travail réduit du sol ? OUI ☐ NON ☐
Si oui, veuillez mentionner sur quelle superficie et quel type (chisel, semis-direct…)

12) Vos champs avaient-ils des bandes riveraines ? OUI ☐ NON ☐
Si oui, ont-elles 3m ou plus ☐ 3m ou moins ☐
Les bandes riveraines couvraient approximativement quelle longueur des cours d'eau ? (ex. : le quart, la moitié)

13) À quelle fréquence régliez-vous votre pulvérisateur ?
Moins de 1 fois au 2 ans ☐
1 fois au 2 ans ☐
1 fois par an ☐
Plus de 1 fois par an ☐

14) Si vos animaux allaient à l'extérieur, avaient-ils libre accès à un cours d'eau ? OUI ☐ NON ☐
Ne s'applique pas ☐

15) Si vous avez du maïs-grain ou maïs-fourrager, à quelle date l'avez-vous récolté ?
Maïs-grain ☐ Maïs fourrager ☐

En 1996-1997

16) En 1996-97 quelles étaient vos cultures principales ? (en ordre de superficie cultivée S.V.P.)
1) 2) 3)

17) Pour chacune de ces cultures, quelle superficie avez-vous cultivé ? (S.V.P. conservez le même ordre)
1) 2) 3)

18) Pour chacune de ces cultures, quelle superficie avez-vous traité avec des pesticides (herbicides, insecticides…) ?
1) 2) 3)

19) Quels produits avez-vous utilisé ?
1) 2) 3)

20) À quel taux (formulation commerciale) avez-vous appliqué ?
1) 2) 3)

21) À quelle date avez-vous appliqué ?
1) 2) 3)

22) Quel type de pulvérisation effectuiez-vous? Superficie totale ☐ En bande sur les rangs ☐

23) Effectuiez-vous du travail réduit du sol ? OUI ☐ NON ☐
Si oui, veuillez mentionner sur quelle superficie et quel type (chisel, semis-direct…)

24) Vos champs avaient-ils des bandes riveraines ? OUI ☐ NON ☐
Si oui, ont-elles 3m ou plus ☐ 3m ou moins ☐
Les bandes riveraines couvraient approximativement quelle longueur des cours d'eau ? (ex. : le quart, la moitié)

25) À quelle fréquence régliez-vous votre pulvérisateur ?
Moins de 1 fois au 2 ans ☐
1 fois au 2 ans ☐
1 fois par an ☐
Plus de 1 fois par an ☐

26) Si vos animaux allaient à l'extérieur, avaient-ils libre accès à un cours d'eau ? OUI ☐ NON ☐
Ne s'applique pas ☐

Résumé du projet

Dans cette étude, les modèles hydrologiques informatisés qui simulent le transport et le devenir des pesticides, GIBSI (développé par l'INRS-ETE-Institut National de la Recherche Scientifique, situé à Québec), BASINS et SWAT (développés aux USA) sont testés en comparant leurs pouvoirs de prédiction des concentrations des pesticides en rivière. Le bassin-pilote dans le cadre de ce projet est celui de la Rivière Chaudière. Le(s) modèle(s) le(s) plus performants(s) seront utilisés pour développer des Normes de Performance agro-environnementale Atteignables (NPA), c'est-à-dire,le niveau de concentration de pesticides en rivière qui peut être atteint en mettant en place des mesures de gestion, des pratiques agricoles bénéfiques et des technologies disponibles pour réduire l'impact de l'application de pesticides sur ces eaux. Les données recueillies serviront de données d'entrée utilisées par les modèles informatiques afin de déterminer lequel est le plus efficace.

ANNEXE E. COMPTE RENDU DE LA RÉUNION DU 13 DÉCEMBRE 2005

Cette rencontre a eu lieu le 13 décembre 2005 à l'INRS-ETE

Début de la réunion : 10h30

Présents :

Alain N. Rousseau, Pierre Lafrance, Renaud Quilbé, Mauro Sulis, Stéphane Savary, Emmanuelle Caron, Sébastien Tremblay, Alain Royer - INRS-ETE

Mohamed Amrani - Environnement Canada, Centre Saint-Laurent, Montréal

Paul Jiapizian - Environnement Canada, Ottawa

Serge Villeneuve - Environnement Canada, Québec

Par téléconférence : Pierre-Yves Caux - Environnement Canada, Ottawa

Ordre du Jour :

1. Démarche et Plan de travail
2. Données sur les pesticides appliqués
3. Description et application des 3 modèles
4. Détermination des NPA

1. Démarche et Plan de travail (Alain)

Alain présente le contexte et les objectifs de la réunion : faire un état d'avancement des travaux sur l'acquisition de données, l'application des trois modèles et le développement des NPA. Cet état d'avancement est présenté conjointement avec l'échéancier de réalisation du projet. Il est à noter à ce sujet, qu'en regard de la date de signature de l'Entente de collaboration INRS-EC, les travaux de démarrage du projet n'ont pu être effectifs que depuis un mois

Mohamed demande à rallonger et avancer l'étape portant sur la détermination des NPA. Il faudrait assez rapidement faire un exercice d'application et de détermination des NPA même si les modèles ne sont pas encore calés. Alain approuve. Mohamed désire que cette activité donne lieu à la rédaction d'un « *white paper* ». Alain suggère que celui-ci soit tout simplement insérer dans le rapport d'étape.

⇒ Alain: Corriger le diagramme de Gantt en prévoyant un essai de détermination des NPA

Il y aura un atelier INÉNA le 5 ou le 6 mars sur les scénarios communs aux Groupes Pesticides, Eau, Air et Biodiversité. Mohamed et Paul mentionnent que NAHARP réalise des activités d'évaluation de risques liés aux PGB (efficacité des PGB en regard de l'atténuation ou de l'augmentation des risques).

Alain accepte l'invitation de Mohamed de participer à cette rencontre avec les acteurs du projet NAHARP. Pierre-Yves va organiser une réunion avec Alan Cessna et son groupe.

⇒ Pierre-Yves: Organiser une réunion avec Alan Cessna et son groupe

Pierre-Yves pense qu'il serait pertinent de décrire l'incertitude, l'intégration et la représentation liées liée aux PGB dans les modèles

Mohamed : Le rôle d'EC est de déterminer les NPA. La détermination des PGB effectives à appliquer aux champs est du ressort d'AAC.

Serge : Pour l'occupation du sol, le MAPAQ possède dans sa base de données GIRMA des données au 1/20 000 basées sur les fiches individuelles des agriculteurs pour les années 1994, 1998 et 2003.

Pierre-Yves : Il y a aussi le *Census of Canada* avec des informations à l'échelle des municipalités. EC a ces données et pourrait nous les transmettre.

⇒ Serge: Voir du côté du MAPAQ s'ils peuvent fournir les données GIRMA à l'équipe de l'INRS. Voir les données ou informations relatives aux PGB, aux rotations des cultures et aux interventions phytiosanitaires, qui seraient disponibles au niveau du Bassin de la Chaudière.

⇒ Pierre-Yves : Transmettre à l'équipe de l'INRS les données du *Census of Canada* (voir Elizabeth ou Patricia Chambers)

2. Données sur les pesticides appliqués (Pierre)

Pierre présente l'état d'avancement des travaux sur les données concernant les pesticides et les interventions phytosanitaires dans le Bassin de la Chaudière : cet avancement résulte en grande partie des travaux réalisés par Emmanuelle.

Les données de pesticides en rivières proviennent essentiellement de travaux du MENVIQ (années 1996 et 1997) sur la Beaurivage et de l'INRS (contribution à l'actuel projet) sur le Bras d'Henri (travaux d'Emmanuelle).

Bernard Rondeau a échantillonné durant l'été 2005 à l'exutoire des rivières Chaudière et Beaurivage, de juillet à septembre. Il a coordonné son échantillonnage avec Claudel Lemieux. Pierre-Yves envoie par courriel de l'information supplémentaire sur le sujet (reçue sur l'heure du midi).

Pierre-Yves confirme que ces échantillons seront analysés par Alan Cessna et que les résultats seront disponibles pour l'INRS aux fins de la modélisation.

⇒ Pierre-Yves : voir à ce que les données d'EC obtenues sur ce bassin versant en 2005 soient disponibles pour l'INRS.

Pierre-Yves demande à ce que les sources des données nécessaires aux modèles soient identifiées. Alain propose de lui envoyer un tableau avec ces informations pour les données géographiques.

⇒ Alain : Envoyer à Pierre-Yves le tableau avec les sources des données géographiques (fait sur l'heure du midi de la réunion)

Pierre-Yves parle aussi d'une banque de données sur les étiquettes des pesticides qu'il pourrait nous transmettre. Ces étiquettes, conçues par les fabricants indiquent, notamment les taux d'application qu'ils recommandent

⇒ Pierre-Yves : transmettre à l'équipe de l'INRS la banque de données sur les étiquettes des pesticides.

La question de la forme des pesticides (dissous vs. particulaire) est soulevée. Les données mesurées concernent les formes dissoutes. La forme particulaire peut être estimée à l'aide des coefficients d'adsorption. À titre d'exemple, Pierre rappelle que les organochlorés sont fortement adsorbés et qu'ils peuvent être consommés par les organismes benthiques. Pierre soulève également les points suivants : dans le cas des formes particulaires il faut tenir compte des deux cas suivants : demi-vie élevé avec une faible solubilité et demi-vie faible et haute

solubilité. Paul pense qu'il faudrait prendre en compte les deux formes dans la détermination des NPA puisque les recommandations pour la vie aquatique prend en compte les deux.

⇒ Paul et Mohamed doivent en rediscuter

L'INRS doit appliquer la modélisation sur six classes de pesticides. Pierre présente plusieurs manières de classer les pesticides. Mohamed s'interroge sur la pertinence de classer les pesticides. Pierre-Yves, Pierre et Alain trouve pertinent de regrouper les pesticides selon leurs propriétés bio-physico-chimiques.

Paul : le système APPLES a servi pour définir les pesticides prioritaires pour lesquels il y aura un NPI. Pierre-Yves envoie la liste par courriel (liste reçue sur l'heure du midi). Il envoie également par courriel un inventaire des ventes et de données d'utilisation des pesticides au Canada (Brimble *et al.*, 2005). Il transmet finalement une liste d'une dizaine de pesticides qui ont été classés de grand intérêt au niveau environnemental.

Concernant les pratiques phytosanitaires, les pratiques possibles sont : (i) pas d'application, (ii) taux d'application recommandé par l'agronome, (iii) le plus bas taux d'application recommandé par le fabricant ou (iv) application à taux réduit. Dans ce bassin versant, il n'y a pour ainsi dire pas d'applications localisées ni d'applications en bandes

3. Description et application des modèles (Alain, Renaud, Stéphane et Mauro)

Les intervenants de l'INRS (voir ci-haut) présentent respectivement l'avancement des travaux concernant les modèles hydrologiques sélectionnés (GIBSI, BASINS et SWAT).

Pierre-Yves indique que Allan Cessna aurait déjà utilisé PRZM (*e.g.* une troisième version). Il se demande s'il y aurait un éventuel intérêt à comparer plus tard les résultats de la modélisation hydrologique obtenus par l'INRS avec certains résultats pouvant découler de l'utilisation de PRZM.

Pierre-Yves demande quel est l'intérêt de tels modèles par rapport aux modèles CREAMS, GLEAMS et PRZM. CREAMS et GLEAMS sont les modèles qui ont servi de base à SWAT puis à GIBSI. PRZM est un modèle 1D à l'échelle de la parcelle conçu surtout pour estimer la contamination des nappes.

Pour les PGB, il faudrait savoir si les PGB doivent prendre en compte à la fois la gestion des intrants (taux et modes d'application), les pratiques culturales (travail réduit et non-travail) et

les aménagements de protection (e.g. bandes riveraines). Mohamed dit que le Cadre Stratégique a déterminé une liste de 30 PGB préconisés. Il va envoyer cette liste à l'équipe de l'INRS.

⇒ Mohamed : Envoyer la liste des PGB préconisés à l'équipe de l'INRS.

4. Détermination des NPA

Pour une meilleure compréhension des courbes cumulatives, il faudrait changer le titre des figures (diapos) et rajouter la période simulée.

Quelle valeur de concentration prendre à partir des courbes ? Le résultat attendu et qui devra être communiqué à AAC devrait être une et une seule valeur de concentration plutôt qu'une probabilité. Mohamed pense qu'il faut que ce soit une valeur moyenne. La valeur médiane semblerait la plus pertinente.

Le principe de choisir un quantile est le même que pour les NPI où on détermine une valeur de concentration pour laquelle un certain pourcentage des espèces aquatiques est épargné.

Pour Paul, le but est que le NPA soit plus contraignant que le NPI à un moment donné. Il serait donc préférable de déterminer le NPA indépendamment du NPI.

Mohamed et Paul discutent de l'intérêt (scientifique et de communication avec le milieu agricole) de lier de la façon la plus concrète possible les NPA évalués avec les NPI.

Les notions ou méthodes liés à la détermination des NPA ne sont pas encore très claires en termes de compréhension visuelle lors de la présentation des diapos. Il serait avantageux de rendre la démarche plus aisément compréhensible et plus facilement communicable par exemple auprès des producteurs agricoles. Il faudrait illustrer la démarche par un exemple dès que possible tout en éclaircissant la signification mathématique des NPA qui seront évalués.

⇒ Équipe INRS : Modifier et développer les acétates sur la détermination des NPA et transmettre la présentation à Mohamed, Paul et Pierre-Yves

Fin de la réunion : 16h00

Prochaine rencontre : À fixer en février 2006.

Actions

INRS

⇒ Corriger le diagramme de Gantt en prévoyant un essai de détermination des NPA

⇒ Modifier et développer les acétates sur la détermination des NPA et transmettre la présentation à Mohamed, Paul et Pierre-Yves

Pierre-Yves

⇒ Organiser une réunion avec Alan Cessna et son groupe

⇒ Transmettre à l'équipe de l'INRS les données du *Census of Canada* (voir Elizabeth ou Patricia Chambers)

⇒ Voir à ce que les données d'EC obtenues sur ce bassin versant en 2005 soient disponibles pour l'INRS.

⇒ Transmettre à l'équipe de l'INRS la banque de données sur les étiquettes des pesticides

Serge

⇒ Voir du côté du MAPAQ s'ils peuvent fournir les données GIRMA à l'équipe de l'INRS

⇒ Voir les données ou informations relatives aux PGB, aux rotations des cultures et aux interventions phytosanitaires qui seraient disponibles au niveau du Bassin de la Chaudière.

Mohamed

⇒ Envoyer la liste des PGB à l'équipe de l'INRS

⇒ Paul et Mohamed doivent rediscuter du besoin d'inclure les concentrations particulaires aux concentrations dissoutes pour la détermination des NPA