

VULNÉRABILITÉ DE L'AGRICULTURE EN
RÉPONSE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES :
ÉTUDE DE L'INFLUENCE PASSÉE ET FUTURE
DE L'OCCUPATION AGRICOLE DU TERRITOIRE
SUR LE RÉGIME HYDROLOGIQUE ET LA
QUALITÉ DE L'EAU D'UN BASSIN VERSANT, À
L'AIDE D'UN SYSTÈME DE MODÉLISATION
INTÉGRÉE

Rapport de recherche No R-796

Mars 2005



**Vulnérabilité de l'agriculture en réponse aux
changements climatiques : étude de l'influence passée et
future de l'occupation agricole du territoire sur le régime
hydrologique et la qualité de l'eau d'un bassin versant, à
l'aide d'un système de modélisation intégrée.**

**FACC A946
Programme Impacts et Adaptation**

Direction des impacts et de l'adaptation liés au changement climatique
Secteur des sciences de la terre
Ressources naturelles Canada/Gouvernement du Canada

Rapport d'état d'avancement

Préparé par¹ :

Alain N. Rousseau, Ph.D., ing.
Renaud Quilbé, D.Sc.
Jean-François Dolbec, M.Sc.
Florence Guillot, ing.
Jean-Pierre Villeneuve, D.Sc.

Centre Eau, Terre et Environnement
Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-ETE)
490, rue de la Couronne, Québec (QC), G1K 9A9

et

Marc Duchemin, Ph.D.
Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement, Inc.
2700 rue Einstein, Sainte-Foy, (Québec), G1P 3W8

Rapport N° R-796

15 mars 2005

¹ Sont indiqués comme auteurs les collaborateurs ayant participé à l'écriture du document.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX.....	7
LISTE DES PHOTOS.....	9
1 INTRODUCTION.....	1
2 ÉTAT D'AVANCEMENT	3
2.1 APPROCHE RÉTROSPECTIVE.....	3
2.1.1 Mise à jour de la base de données hydrométéorologiques de GIBSI	3
2.1.2 Inventaire et acquisition des images satellites permettant de reconstituer l'évolution de l'occupation du sol.....	3
2.1.3 Prochaines étapes	5
2.2 ÉTAPE PRÉDICTIVE.....	5
2.2.1 Méthode incrémentale sans mise à l'échelle	6
2.2.2 Méthode incrémentale avec mise à l'échelle	8
2.2.3 Simulation de pluie sur parcelles expérimentales.....	12
2.2.4 Étapes ultérieures	14
3 COORDINATION DES ACTIVITÉS ET PROMOTION DU PROJET	15
3.1 ÉQUIPE DE TRAVAIL	15
3.1.1 Équipe de l'INRS-ETE	15
3.1.2 Collaborateurs	15
3.2 ÉCHÉANCIER.....	15

3.3	COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES	17
3.3.1	Rapports	17
3.3.2	Textes de conférence.....	17
3.3.3	Affiche	17
3.4	COMPTES RENDUS DE RÉUNIONS	17
4	RÉFÉRENCES	19

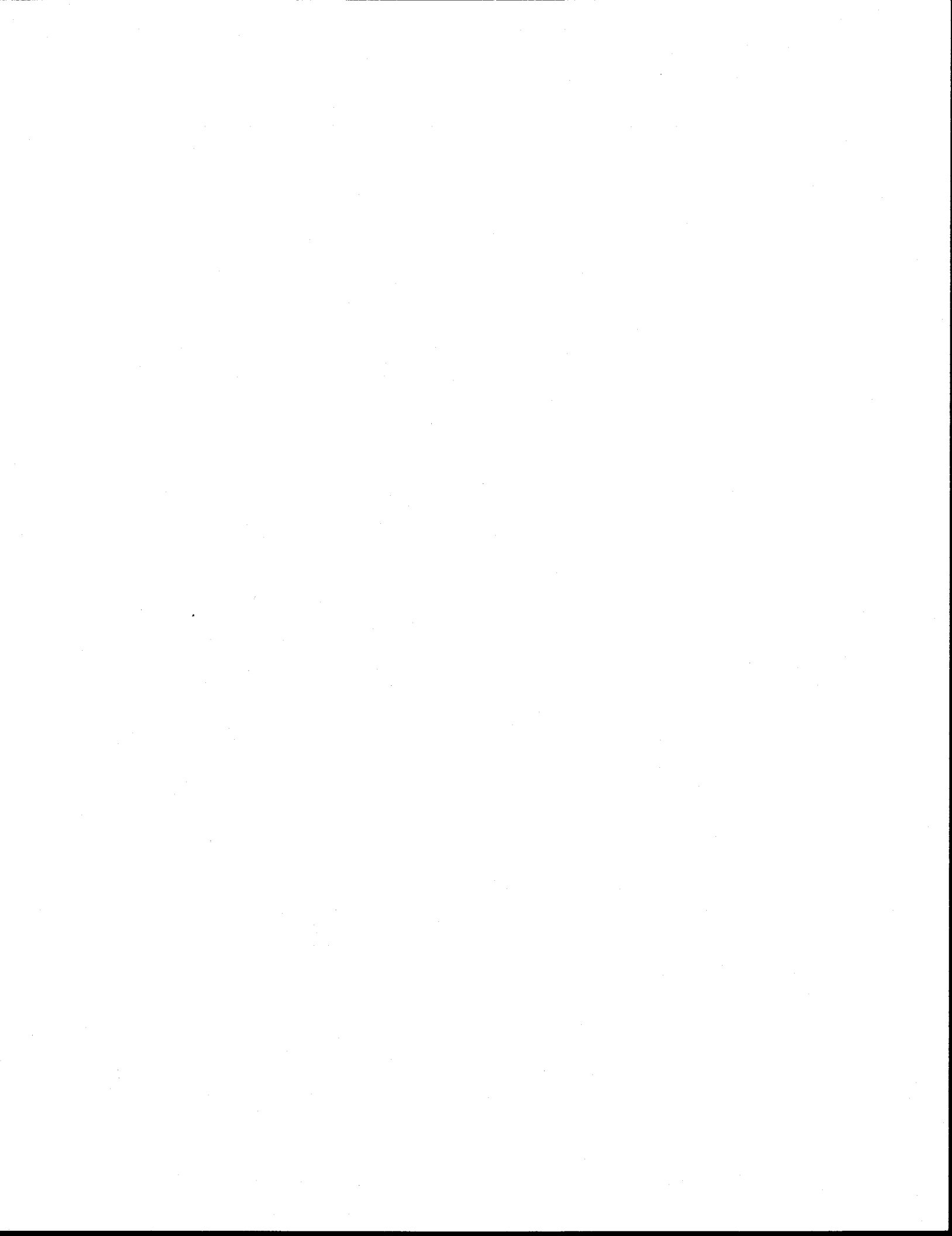
LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Schéma récapitulatif des simulations réalisées à l'étape 1.....	1
Figure 1.2 : Schéma récapitulatif des simulations réalisées à l'étape 2.....	2
Figure 2.1 : Schéma de l'approche incrémentale sans downscaling.....	7
Figure 2.2 : Schéma de l'approche incrémentale avec downscaling.....	9
Figure 2.3 : Schéma de l'approche « journalière » avec downscaling.....	11
Figure 2.4 : Plan des parcelles.....	13



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Images disponibles dans le cadre du projet	4
Tableau 3.1 : Échéancier du projet	16



LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Relevé topographique 12

Photo 2 : Délimitation des parcelles..... 12



1 INTRODUCTION

Ce projet de recherche a pour but d'évaluer les rôles passé et futur de l'occupation du sol dans l'évolution de la réponse hydrologique d'un bassin versant (rivière Chaudière), à l'aide d'un système de modélisation intégrée (GIBSI). Il a démarré officiellement le 3 août 2004 et arrivera à échéance le 31 mars 2006. Ce rapport présente un rapide état d'avancement des travaux selon l'échéancier du projet présenté au Tableau 2 (voir p. 16).

Ce projet se divise donc en deux étapes : une étape rétrospective et une étape prédictive, avec les objectifs suivants :

- (i) Identifier, à l'échelle d'un bassin versant et sur la base des 30 dernières années, la vulnérabilité de l'agriculture aux CC et aux événements extrêmes, et déterminer l'influence des changements d'occupation du sol.
- (ii) Évaluer et comparer l'influence de scénarios d'occupation du sol sur le régime hydrologique, l'érosion et la qualité de l'eau à l'échelle d'un bassin versant, et estimer leur intérêt en fonction de leur ratio avantage-coût.

L'approche méthodologique pour chacune de ces étapes est schématisée à la Figure 1.1 et la Figure 1.2.

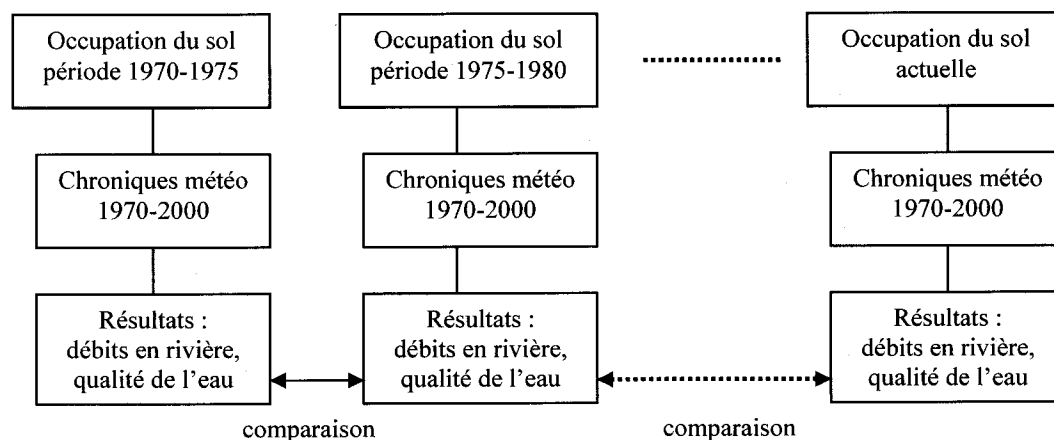


Figure 1.1 : Schéma récapitulatif des simulations réalisées à l'étape 1

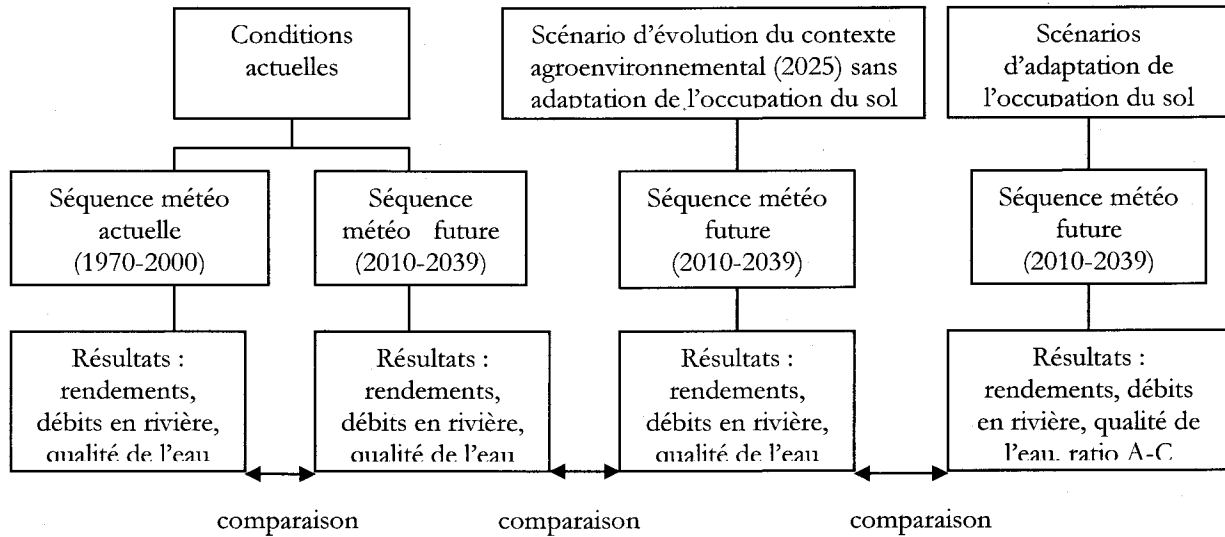


Figure 1.2 : Schéma récapitulatif des simulations réalisées à l'étape 2

Nous ne présenterons pas ici en détail le contexte de l'étude, ni l'approche méthodologique pour chaque étape, ces éléments ayant déjà été présentés dans la proposition de recherche.

2 ÉTAT D'AVANCEMENT

2.1 APPROCHE RÉTROSPECTIVE

2.1.1 Mise à jour de la base de données hydrométéorologiques de GIBSI

Jusqu'à présent, les données hydrologiques disponibles dans la base de données de GIBSI s'arrêtaient en 1995. Afin de réaliser l'étude comparative de la vulnérabilité des sols agricoles aux événements climatiques durant la période 1970-2000, il a donc été nécessaire de mettre à jour les données hydrométriques. Cette modification des données a ensuite nécessité une nouvelle analyse fréquentielle à l'aide du logiciel HYFRAN pour déterminer les débits d'étiage proposés lors de l'élaboration d'une nouvelle simulation. Pour plus de détails, voir Guillot, [2004].

Prochaines étapes :

Il reste à modifier la base de données de GIBSI afin de pouvoir intégrer ces modifications. Pour cela, il faudra préalablement faire le prétraitement de ces données afin de bien alimenter le modèle hydrologique de GIBSI, HYDROTEL, afin que les données météorologiques postérieures à l'année 1994 soient prises en compte.

2.1.2 Inventaire et acquisition des images satellites permettant de reconstituer l'évolution de l'occupation du sol

Un premier travail a consisté à traiter la banque de données satellitaires du Québec, obtenue auprès du Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs (MRNFP). Cette base de données comprend toutes les images satellitaires existantes qui recouvrent le territoire québécois. Le travail a ensuite consisté à sélectionner les différentes images des différents satellites qui recouvrent en totalité ou partiellement le bassin et à les identifier à l'aide des tables de caractéristiques des différentes couches.

Les images ont été obtenues auprès de la compagnie Radarsat International (3 images) et du Ministère des Ressources Naturelles du Québec (1 image). Ces images s'ajoutent à celles que l'INRS possédaient déjà pour les années 1995 et 1999. Les quatre images sélectionnées répondent à des critères établis : elles proviennent de capteurs de la famille Landsat, offrent une couverture optimale du bassin versant de la rivière Chaudière, présentent une couverture

nuageuse minimale et inférieure à 10 % de la superficie de l'image et les scènes ont été acquises durant la période de la fin de juillet au début d'août.

Tableau 2.1 : Images disponibles dans le cadre du projet

Date d'acquisition	Capteur
4 août 1976	Landsat-2 MSS
14 août 1981	Landsat-2 MSS
6 août 1987	Landsat-5 TM
29 juillet 1990	Landsat-5 TM
28 août 1995*	Landsat-5 TM
14 juillet 1999*	Landsat-7 ETM+

* images acquises antérieurement au projet FACC

En second lieu, les images de 1976, 1981, 1987 et 1990 ont fait l'objet de prétraitements. Ces prétraitements ont permis de restaurer la radiométrie des images, de géoréférencer les scènes dans un système de référence connu et de modifier les images pour ne garder que l'information utile pour les classifications.

Enfin, des tests de classifications ont été entrepris sur l'image de 1976 et celle de 1987. Ces essais n'ont toutefois pas encore permis à ce jour la création complète d'une carte d'occupation du sol pour ces années.

Difficultés rencontrées

Le contexte du projet et l'emploi de la télédétection soulèvent des problèmes bien particuliers. Tout d'abord, l'étude n'a pas exclusivement pour but de détecter les changements qui ont eu lieu sur le bassin. Il s'agit aussi d'obtenir des cartes de l'occupation du sol relativement fiables pour les années dont l'on possède les images.

Ensuite, on cherche à définir la nature du changement de l'occupation (ex : champs de maïs devenus zones urbaines). Contrairement à d'autres travaux [Zhao et al., 2004; Yuan et Elvidge, 1998; Rogan et al., 2002; Miller et al., 2002; Hoster et al., 2003], l'étude n'a pas simplement pour objectif d'identifier le changement ou l'absence de changement ou encore l'augmentation ou la diminution de fréquence d'une classe d'occupation du sol particulière. Il faut en effet classifier les images en employant les mêmes classes d'utilisation du sol pour chacune d'entre elles pour ensuite être en mesure de les comparer, d'identifier de quelle façon les changements

d'occupation se sont produits et finalement quelles classes ont augmentés et au profit de quelles autres.

Un autre facteur à considérer est le fait que les images proviennent de différents capteurs. Malgré le fait que ces capteurs font partie du même programme (Landsat), certains problèmes au niveau des comparaisons peuvent prendre leur origine dans les différences de caractéristiques entre les capteurs.

2.1.3 Prochaines étapes

Il s'agit maintenant de terminer les classifications des 4 images pour obtenir un paysage de l'occupation du sol pour ces périodes. Une fois cette étape achevée, les résultats des classifications seront comparés entre eux afin d'identifier les changements d'utilisation du sol qui sont survenus sur le bassin de la Chaudière à travers les ans. Par la suite, les cartes d'occupation seront incorporées de manière indépendante (i.e., création de bases de données spécifiques à chaque image voir chaque époque) dans le modèle de simulation intégrée GIBSI. Enfin, des simulations avec ces données pourront être lancées dans GIBSI et les résultats de celles-ci seront interprétés.

2.2 ÉTAPE PRÉDICTIVE

Le travail réalisé a porté sur la détermination des chroniques météorologiques (température minimale, maximale et précipitation journalières) dans un contexte de CC (2025) afin de pouvoir simuler l'effet des CC avec GIBSI.

Un travail exploratoire a été réalisé afin de nous familiariser avec les techniques existantes, et mettre en place l'approche méthodologique ainsi qu'une première application. Pour une explication détaillée de ces méthodes voir Guillot [2004]. Parmi les approches possibles pour prendre en compte l'effet des CC, nous avons privilégié celles basées sur les modèles de circulation générale (MCG). Le modèle canadien (versions MCCG1 et MCCG2) a été utilisé en priorité, mais d'autres modèles sont envisagés par la suite pour comparaison (HadCM3). Il existe plusieurs manières de prendre en compte les sorties de ces modèles et de les intégrer dans un modèle hydrologique comme GIBSI : (i) la méthode incrémentale sans mise à l'échelle ; (ii) la méthode incrémentale avec mise à l'échelle ; et (iii) la méthode directe. À ce jour, seules les deux premières approches ont été testées.

2.2.1 Méthode incrémentale sans mise à l'échelle

La méthode incrémentale consiste à comparer les sorties des MCG pour la période de référence et la période future, puis à calculer un écart mensuel moyen pour chaque variable météorologique : température minimale (T_{\min}), température maximale (T_{\max}) et précipitations (P). Ces écarts sont ensuite appliqués à la séquence météorologique utilisée dans GIBSI pour la période de référence. Ces valeurs sont des valeurs à l'échelle globale d'une maille de calcul des MCG. Cette approche est schématisée sur la Figure 2.1.

Une première application a été réalisée avec le modèle MCG2. Les données mensuelles moyennes issues de simulations réalisées avec MCG2 sur la période 2010-2039 à partir de l'ensemble des trois scénarios d'émission de gaz à effet de serre SRES-A2 (A2-1, A2-2, A2-3 ²) ont été comparées aux données du scénario de contrôle correspondant à la période 1961-1990. Pour les températures minimale et maximale, on calcule la différence (ΔT_{\min} , ΔT_{\max}), tandis que pour les précipitations on utilise le rapport (%P).

La comparaison des sorties du MCG2 pour la période de référence et pour la période 2010-2039 nous a permis de calculer des facteurs correctifs utilisés pour modifier les chroniques météorologiques de GIBSI. L'étape suivante a consisté à réaliser des simulations avec GIBSI, en utilisant d'une part la séquence météorologique initiale sur la période 1966-1994, et d'autre part la même séquence perturbée par les facteurs mensuels ΔT_{\min} , ΔT_{\max} et %P. Afin de prendre en compte les facteurs correctifs, quelques modifications ont préalablement été apportées au code informatique d'HYDROTEL. La variable de sortie examinée pour la comparaison est le débit à l'exutoire du bassin. Une simulation est réalisée pour chaque année. À noter que les années 1973 à 1976 n'ont pas pu être simulées pour cause de données manquantes concernant les précipitation sous forme de neige. On a donc finalement 25 années de simulation.

² La différence entre A2-1, A2-2 et A2-3 porte sur les conditions initiales.

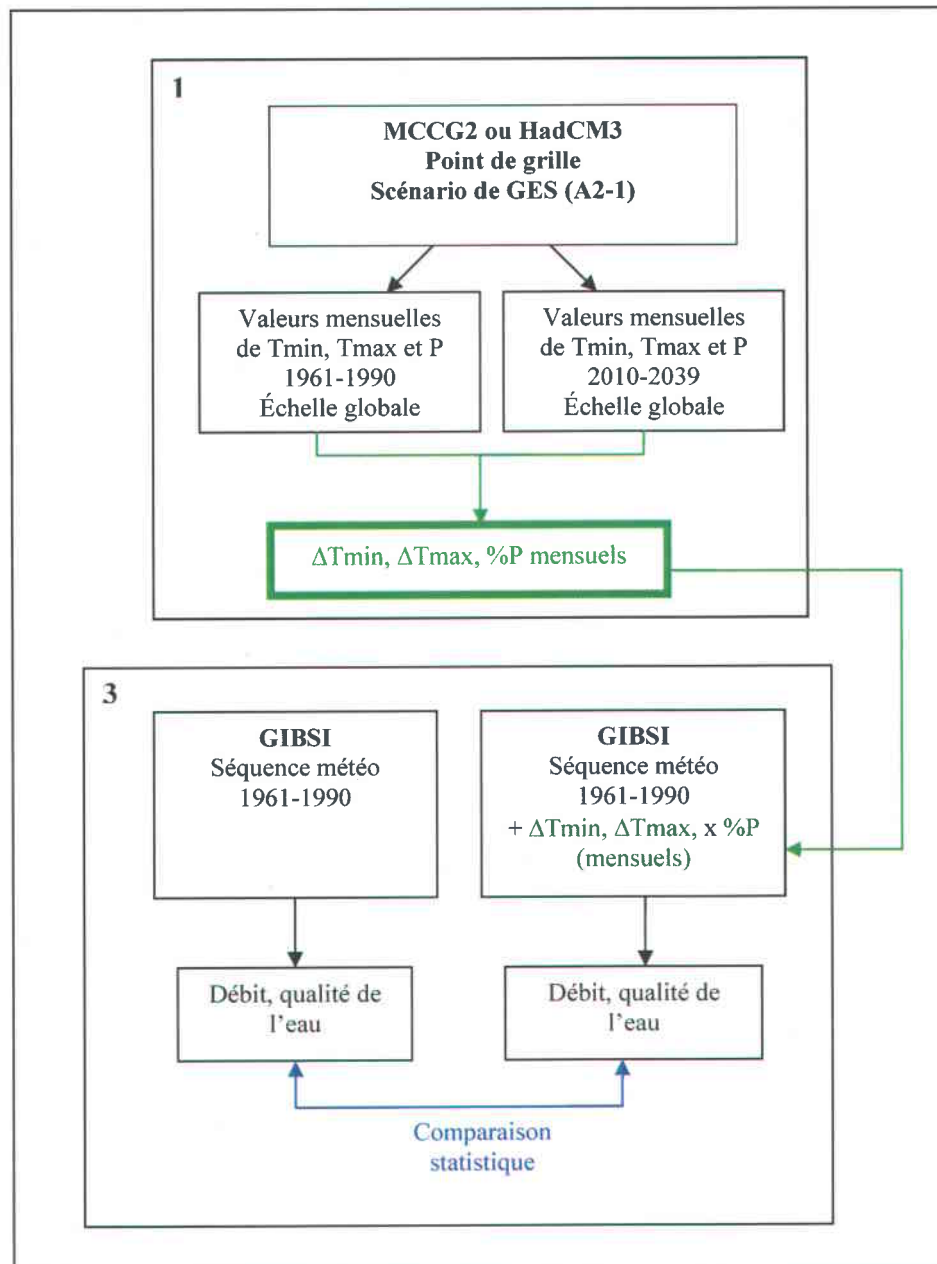


Figure 2.1 : Schéma de l'approche incrémentale sans downscaling

Les résultats ont montré que les corrections apportées n'avaient pratiquement aucun effet sur la lame d'eau moyenne annuelle (augmentation de 1% non significative). Pour les écoulements moyens mensuels, ces effets sont variables selon la période de l'année. Les variations les plus importantes sont observées pour les mois de janvier, mars, mai, juin et octobre. On observe une nette diminution de l'écoulement au printemps (avril à juin) et une légère augmentation pour les périodes estivales et hivernales. Une nouvelle analyse fréquentielle a été réalisée pour déterminer les changements dans les séquences météorologiques caractéristiques.

Les résultats de l'étude incrémentale réalisée à partir des sorties du modèle MCCG2 se veulent être une représentation à l'échelle globale. Afin de prendre en compte les caractéristiques locales de la région d'étude, il est possible d'utiliser une technique de mise à l'échelle. Le même travail a donc été reproduit mais en rajoutant une étape de mise à l'échelle spatiale des données issues du MCG.

2.2.2 Méthode incrémentale avec mise à l'échelle

L'approche générale est schématisée sur la Figure 2.2. Il a fallu dans un premier temps se familiariser avec le logiciel SDSM (*Statistical DownScaling Model, Wilby et al., 2002*) utilisé pour la mise à l'échelle spatiale des données issues des MCG. Là encore, pour plus de détails concernant cette approche voir Guillot [2004]. Des fonctions de transfert ont été définies entre les variables NCEP à grande échelle (prédicteurs) et les variables d'intérêt à échelle locale (prédicteurs) pour trois stations du bassin versant de la rivière Chaudière représentatives des trois grandes parties du bassin versant : station *Saint-Flavien* dans la basse Chaudière, la station *Saint-Georges* dans la moyenne Chaudière et la station *Mégantic* dans la haute Chaudière.

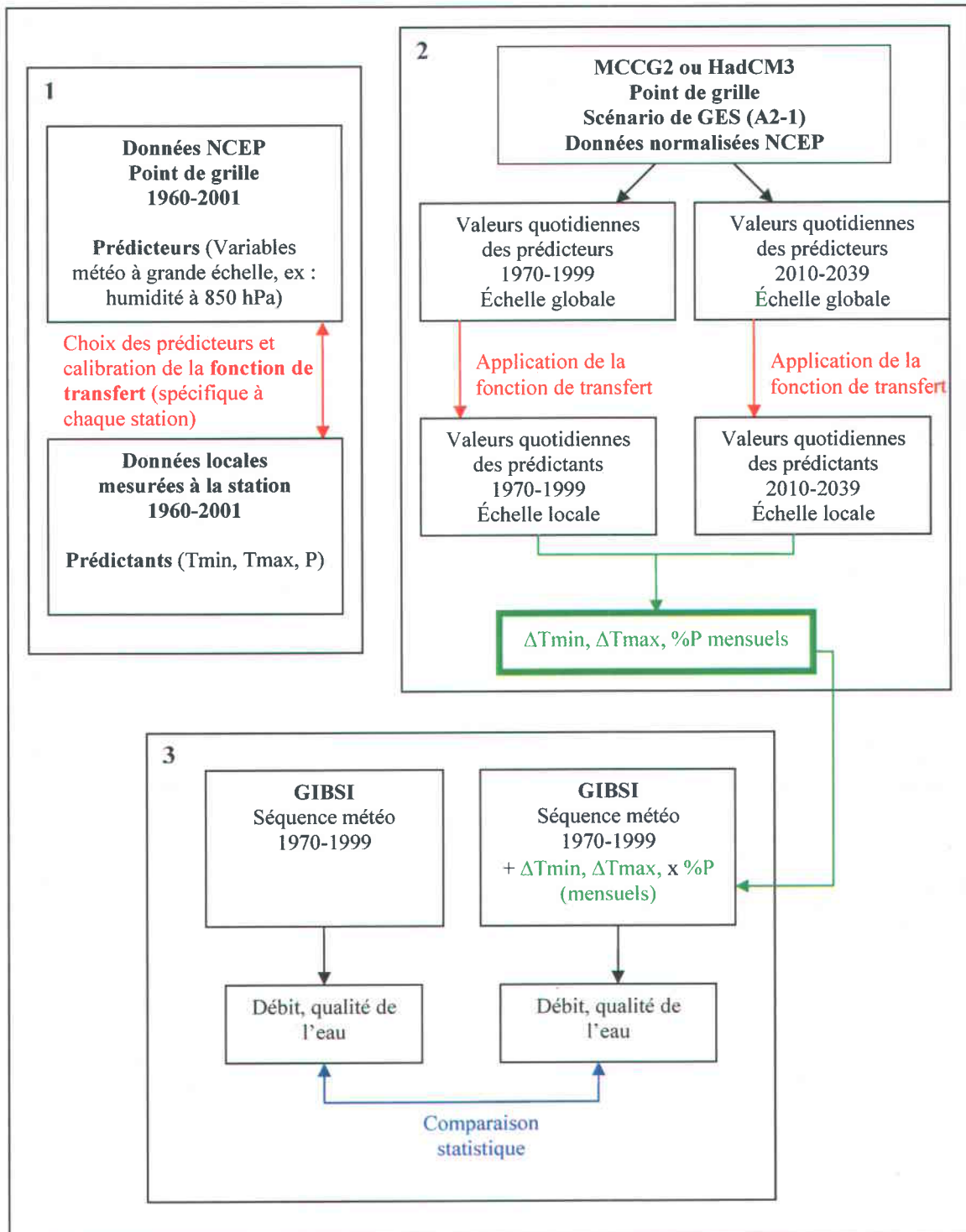


Figure 2.2 : Schéma de l'approche incrémentale avec downscaling

Nous avons ensuite procédé au calage de cette fonction de transfert sur quinze ans de données de 1966 à 1980 et à sa validation sur les données 1981-1990. La fonction est ensuite utilisée pour générer des données à partir des prédicteurs dérivés de MCG pour les périodes de référence et future. Les données de sortie du modèle MCG2 n'ont pas pu être utilisées car elles n'étaient pas encore normalisées au moment de l'étude. Nous avons donc utilisé la version antérieure du modèle canadien, MCG1, à partir du scénario d'émission de gaz à effet de serre A1. Ce travail a été réalisé pour chacune des trois stations. Par la suite, des modifications ont été apportées au code informatique d'HYDROTEL afin de pouvoir appliquer ces modifications de façon spécifique pour chacune des trois zones du bassin (basse, moyenne et haute Chaudière). Nous avons ensuite entrepris les simulations avec GIBSI. Deux séries de simulations ont été faites : la première avec les données de 1966 à 1994 (exclus 1973 à 1976) et la seconde avec ces mêmes données corrigées.

Les résultats montrent que sur l'année, les corrections apportées ont eu plus d'effet qu'avec la première approche sans mise à l'échelle. En effet, cette fois-ci, on observe une augmentation significative de 6% sur la lame d'eau moyenne annuelle (au lieu de 1%). Les variations les plus importantes sont observées pour les mois de mars (diminution de 20,7 %, $p < 0.01$) et mai (augmentation de 24 %, $p < 0.0001$). De juin à décembre, on observe des augmentations mensuelles comprises entre 6 et 8 %. Seuls janvier, février et mars montrent une diminution de lame d'eau même si les observations pour janvier et février ne sont pas significatives statistiquement. Les observations sont en cela différentes de celles faites lors de la première étude, ce qui était à prévoir car deux versions différentes du MCG canadien ont été utilisées. On ne retrouve pas la diminution de l'écoulement au printemps mais durant l'hiver. On observe également une diminution du débit de pointe.

Prochaines étapes

Ces deux applications ont permis de mettre au point et de tester l'approche méthodologique. Toutefois, les résultats sont difficilement comparables puisque les MCG utilisés sont différents. Afin de pouvoir appliquer la mise à l'échelle aux données de sortie du modèle MCG2, une étape de normalisation des données est nécessaire. Elle n'avait pas pu être réalisée au moment de cette étude mais a été complétée depuis par l'équipe d'OURANOS. La prochaine étape consiste donc à reproduire le même travail à partir des données de MCG2. Il est également prévu reproduire le même travail avec le MCG HadCM3 afin de pouvoir évaluer l'incertitude liés au MCG utilisé. Enfin, il s'agira de réaliser, à partir de ces deux MCG, la troisième approche envisagée, soit l'utilisation directe des données de sortie journalières comme données d'entrée de GIBSI (Figure 2.3). La comparaison des résultats obtenus selon les trois approches et avec les deux MCG considérés permettra d'estimer l'incertitude et de sélectionner la meilleure approche. Ce travail est en cours.

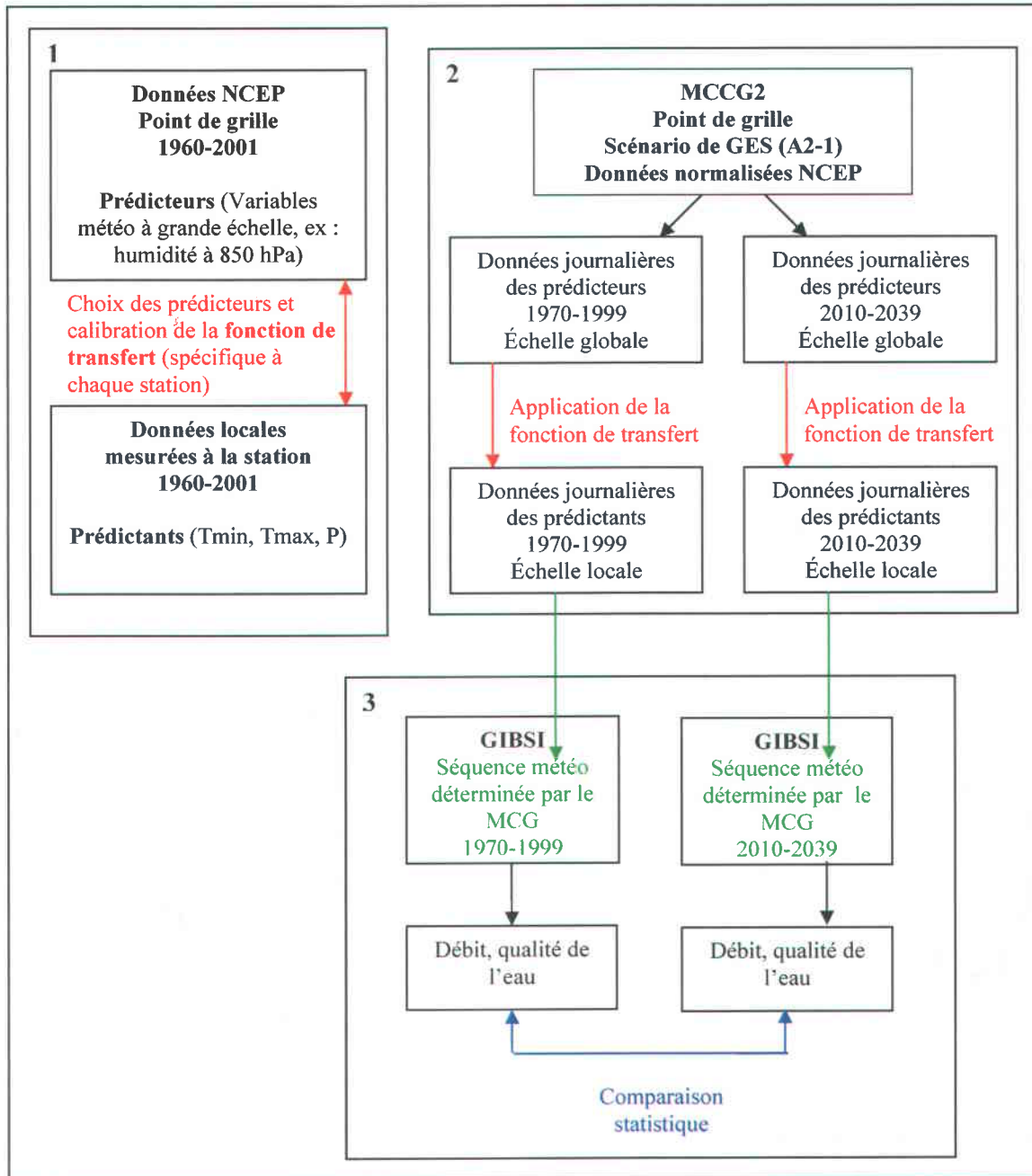


Figure 2.3 : Schéma de l'approche « journalière » avec downscaling

2.2.3 Simulation de pluie sur parcelles expérimentales

Ce volet du projet de recherche, sous la responsabilité de Marc Duchemin de l'IRDA, consistait à planifier l'aménagement du dispositif expérimental qui servira à mesurer les pertes de sol par simulation de pluies.

Sélection du site expérimental et délimitation des parcelles.

Le site expérimental choisi est localisé sur la Ferme de l'IRDA à St-Lambert de Lauzon. Il sera composé de 6 parcelles expérimentales de 3m par 6m à l'extrémité desquelles sera installé un système de collecte des eaux de surface. Ce dispositif permettra de mesurer les pertes de sol (matières en suspension) pour deux cultures (maïs et orge) en trois répétitions.

Un relevé topographique du site a été effectué (Photo 1) et une délimitation préliminaire des parcelles a été effectuée (Photo 2). Un plan a ensuite été dessiné (Figure 2.4).



Photo 1 : Relevé topographique



Photo 2 : Délimitation des parcelles

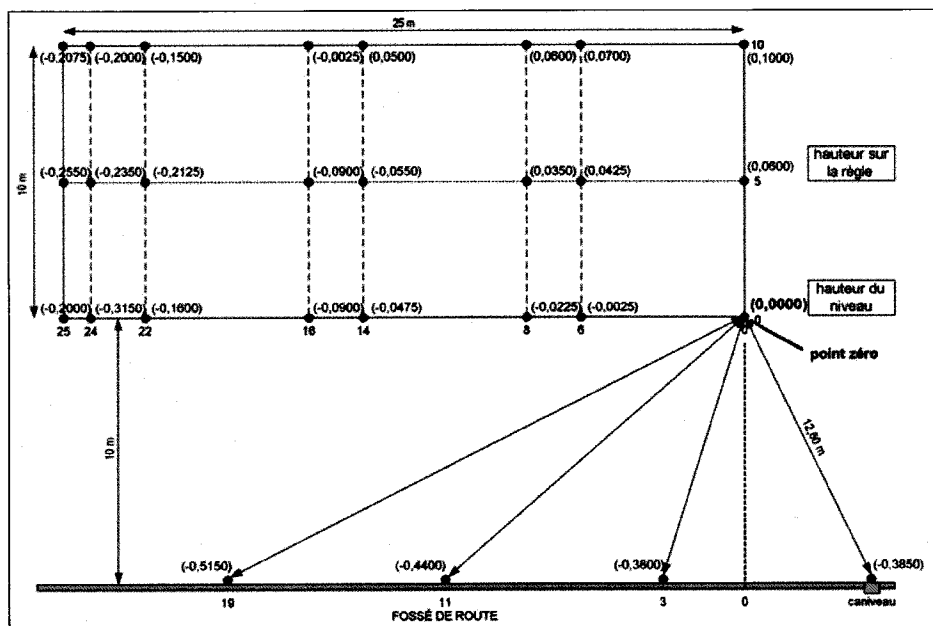


Figure 2.4 : Plan des parcelles

Élaboration du protocole expérimental

Afin de connaître l'érodabilité des sols, 6 échantillons composite de sol (1 par parcelle) seront prélevés au printemps 2005 et analysés pour en connaître la texture et les teneurs en matière organique.

Pour les expérimentations, les conditions suivantes seront testées :

- 3 intensités et durées de pluie, déterminées selon les courbes d'intensité-durée-fréquence telles que prévues avec les changements climatiques (séquences à déterminer)
- 5 périodes : mai, juin, juillet, août et septembre
- 2 conditions initiales d'humidité du sol : sec et humide

Dans le meilleur des cas, 180 simulations devront être effectuées et 180 échantillons d'eau de ruissellement seront analysés (volumes d'eau ruisselée et concentrations de matières en suspension (MES)).

Prochaines étapes

Un plan de travail a été réalisé pour les deux prochains étés (2005 – 2006).

La première étape à l'année 2005 consiste à mettre en place les installations :

- Mai – Juillet 2005 : Préparer les parcelles (modification de la topographie du site expérimental de façon à obtenir une pente moyenne de 3%) ;

- Juillet – Septembre 2005 : Installer les équipements (fabrication et installation du système de collecte des eaux de ruissellement) ;
- Septembre – Octobre 2005 : Réaliser des essais de simulation en parcelle (validation des équipements).

Un étudiant de l'INRS-ETE s'occupera de mettre en place le dispositif expérimental.

La deuxième étape sera réalisée durant l'été 2006 et consistera à effectuer les simulations de pluies :

- Mai 2006 : Essais du simulateur et implantation des cultures
- Mai – Octobre 2006 : Simulations en parcelles

2.2.4 Étapes ultérieures

Une fois que les séquences météorologiques seront définies et l'approche méthodologique déterminée, il restera à :

- Identifier les scénarios d'adaptation de l'occupation agricole des sols
- Planter les scénarios d'adaptation dans GIBSI & évaluer leurs effets sur le régime hydrologique, l'érosion & la qualité de l'eau du bassin versant de la rivière Chaudière
- Évaluer & hiérarchiser les différents scénarios d'adaptation en fonction de leur ratio avantage-coût

3 COORDINATION DES ACTIVITÉS ET PROMOTION DU PROJET

3.1 ÉQUIPE DE TRAVAIL

3.1.1 Équipe de l'INRS-ETE

- *Alain N. Rousseau*, professeur
- *Renaud Quilbé*, stagiaire post-doctoral
- *Florence Guillot*, stagiaire de fin d'études en école d'ingénieur
- *Jean-François Dolbec*, assistant de recherche
- *Nguyen Bao Trinh*, doctorant
- *Sébastien Tremblay*, programmeur
- *Jean-Pierre Villeneuve*, professeur

3.1.2 Collaborateurs

- OURANOS : *Philippe Gachon & Anne Debrabandère*
- Institut de Recherche en Agroenvironnement (IRDA) : *Marc Duchemin*
- Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) :
Nancy Lease & Charles Savoie
- Financière Agricole du Québec (FADQ) : *Patrice Mullier & Isabelle Duchesne*
- Ministère de l'Environnement du Québec (MENV) : *Michel Patoine*
- Université du Manitoba : *Esther Salvano*
- Université de Moncton : *Anne-Marie Laroche*
- Université Laval : *Guy Debailleul*

3.2 ÉCHÉANCIER

L'échéancier de travail est présenté à la page suivante (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Échéancier du projet

	Trimestre 1 Avril-Juin 2004	Trimestre 2 Juil-Sept 2004	Trimestre 3 Oct-Déc 2004	Trimestre 4 Jan-Mars 2005	Trimestre 5 Avril-Juin 2005	Trimestre 6 Juil-Sept 2005	Trimestre 7 Oct-Déc 2005	Trimestre 8 Jan-Mars 2006
Responsables								
Revue de littérature des méthodes existantes	R. Quilbé A. Rousseau							
Étape 1								
Reconstitution de l'évolution de l'occupation du sol depuis 30 ans	F. Guillet, J.F. Dolbec A. Rousseau, C. Savoie N. Lease, P. Mullier							
Inventaire des événements extrêmes	A. Hemrani							
Simulations avec GIBSI pour étape rétrospective	R. Quilbé A. Rousseau A.M. Laroche							
Étape 2								
Expériences de Simulation de pluie	M. Duchemin, Étudiant							
Détermination des scénarios climatiques	F. Guillet, R. Quilbé N.B. Trinh, A. Rousseau P. Gachon							
Identification des scénarios d'évolution et d'adaptation de l'occupation du sol	R. Quilbé, N. Lease P. Mullier, G. Debaillieu							
Simulations avec GIBSI	R. Quilbé, A. Rousseau A.M. Laroche							
Évaluation des scénarios (avantages / coûts)	R. Quilbé, A. Rousseau G. Debaillieu, E. Sabano							
Rédaction des rapports d'étape et final	Tous							

3.3 COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

3.3.1 Rapports

- Guillot, F., 2004. *Étude préliminaire de l'impact du changement climatique sur le régime d'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière, à l'aide du système de modélisation intégrée GIBSI*. Rapport n° I-150. INRS-ETE, Sainte-Foy, Québec.

3.3.2 Textes de conférence

- Quilbé, R., A.N. Rousseau, F. Guillot et J.P. Villeneuve, 2004. *Étude de la vulnérabilité climatique passée et future de l'agriculture en fonction de l'évolution de l'occupation agricole du territoire à l'aide du système de modélisation intégrée GIBSI*. 57^e Congrès annuel de l'Association Canadienne des Ressources Hydriques. Eau et changements climatiques: comprendre pour mieux s'adapter, 16-18 juin 2004, Montréal, Qc, Canada.

3.3.3 Affiche

- Rousseau, A.N., R. Quilbé, F. Guillot et J.-P. Villeneuve, 2004. *Vulnérabilité de l'agriculture en réponse au changement climatique. Étude de l'influence passée et future de l'occupation agricole du territoire sur le régime hydrologique et la qualité de l'eau d'un bassin versant, à l'aide d'un système de modélisation intégrée*. Poster présenté au 57^e Congrès annuel de l'Association Canadienne des Ressources Hydriques. Eau et changements climatiques: comprendre pour mieux s'adapter, 16-18 juin 2004, Montréal, Qc, Canada.

3.4 COMPTES RENDUS DE RÉUNIONS

Une réunion de démarrage a été tenue le 21 janvier 2005 à l'INRS-ETE avec les principaux collaborateurs de projet. Un compte rendu a été réalisé et a été distribué à tous les collaborateurs.



4 RÉFÉRENCES

- Guillot, F., 2004. *Étude préliminaire de l'impact du changement climatique sur le régime d'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière, à l'aide du système de modélisation intégrée GIBSI*. Rapport n° I-150. INRS-ETE, Sainte-Foy, Québec.
- Hostert, P., A. Roder et J. Hill, 2003. Coupling spectral unmixing and trend analysis for monitoring of long-term vegetation dynamics in Mediterranean rangelands. *Remote Sensing of Environment*, **87**(2-3):183-197.
- Miller, S.N., W.G. Kepner, M.H. Mehaffey, M. Hernandez, R.C. Miller, D.C. Goodrich, K.K. Devonald, D.T. Heggem et W.P. Miller, 2002. Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis. *Journal of the American Water Resources Association*, **38**(4):915-929.
- Rogan, J., J. Franklin et D.D.A. Roberts, 2002. Comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote Sensing of Environment*, **80**(1):143-156.
- Yuan, D. et C. Elvidge, 1998. NALC Land Cover Change Detection Pilot Study: Washington D.C. Area Experiments. *Remote Sensing of Environment*, **66**(2):166-178.
- Zhao, G.Z., G. Lin et T. Warner, 2004. Using Thematic Mapper data for change detection and sustainable use of cultivated land: a case study in the Yellow River delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, **25**(13):2509-2522.