

Record Number: 29510
Author, Monographic: Bernier, M.//Philippin, M.//Slivitzky, M.//Rousseau, A. N.
Author Role:
Title, Monographic: Occupation du sol de douze bassins hydrographiques du Québec
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau, Terre & Environnement
Date of Publication: 2003
Original Publication Date: 20 juin 2003
Volume Identification:
Extent of Work: viii, 37
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Terre & Environnement, rapport de recherche
Series Volume ID: 681
Location/URL:
ISBN: 2-89146-500-8
Notes: Rapport annuel 2002-2003
Abstract: Numéro demandé par Johanne Desrosiers le 30 mai 2003, attribué par Manon Poitras.

Date de dépôt aux archives INRS-ETE prévues le 3 juin 2003. Date réellement déposée 8 juillet 2003
Rapport réalisé pour Ouranos

Dépot BNC et BNQ au prix de 10.00\$
Call Number: R000681
Keywords: rapport/ ok/ dl

PROJET OURANOS

***Occupation du sol de douze bassins
hydrographiques du Québec***

Rapport de recherche R-681

Juin 2003

PROJET OURANOS

Occupation du sol de douze bassins hydrographiques du Québec

Par

M. Bernier, M. Philippin, M. Slivitzky et A.N. Rousseau

Rapport de recherche No R-681

20 juin 2003

© INRS-ETE, 2003

ISBN : 2-89146-500-8

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES FIGURES.....	vii
1 INTRODUCTION	1
2. MÉTHODOLOGIE.....	3
2.1 Localisation des bassins.....	3
2.2 Données utilisées	6
2.3 Logiciels utilisés	9
2.4 Construction des mailles.....	9
2.4.1 Problème rencontré : distance insuffisante entre les centroïdes.....	10
2.4.2 Solution retenue.....	10
2.4.3 Manipulations techniques.....	12
2.5 Représentativité des différentes classes d'occupation du sol	13
2.5.1 Problème rencontré : dispersion des milieux humides dans LC98-12	13
2.5.2 Solution retenue.....	15
2.5.3 Manipulations techniques.....	17
2.6 Analyse spatiale	17
2.6.1 Inventaire du nombre de pixels de chaque classe pour chaque maille.....	17
2.6.2 Manipulations techniques.....	20

3. RÉSULTATS.....	21
3.1 Valeur des pixels par classe et par bassin	21
3.2 Sommaire des résultats	21
3.3 Impacts de l'hétérogénéité de l'occupation du sol sur les paramètres hydrologiques estimés par le MRCC 3.2.....	21
4. CONCLUSION.....	33
5. BIBLIOGRAPHIE.....	35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Nombre de mailles par bassin et superficie totale couverte par ces dernières.....	5
Tableau 2	Nom, description et source des données utilisées.....	6
Tableau 3	Carte Land Cover 1998 – 12 classes. Description des classes, en anglais et en français.....	7
Tableau 4	Logiciels utilisés pour chaque tâche.....	9
Tableau 5	Chiffres concernant la propagation des pixels de la classe 14 de LC95-31 dans les classes 4 à 10 de LC98-12.....	15
Tableau 6	Pourcentages d'occupation du sol pour chaque bassin.....	22

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Localisation des bassins hydrographiques modélisés dans le MRCC.....	3
Figure 2	Représentation des bassins par mailles de 45 km x 45 km. La dénomination de quelques bassins a été changée par rapport à la figure 1.....	4
Figure 3	Carte d'occupation du sol retenue. Il s'agit d'une classification à 12 classes (1998), obtenue à partir d'images du capteur VGT (1 km de résolution) du satellite SPOT-4.....	8
Figure 4	Diagramme montrant les solutions disponibles au problème de distance insuffisante entre les centroïdes.....	11
Figure 5	Exemple de chevauchement entre les bassins Rupert et Lac Saint-Jean. La frontière commune ne s'emboîte pas parfaitement, en raison du décentrage de leurs mailles respectives.....	12
Figure 6	Histogramme montrant le nombre de pixels de classe 14 de LC95-31 propagés dans chacune des 12 classes de LC98-12. On remarque que les classes 4 et 6 ont reçu la majorité de ces pixels.....	14
Figure 7	Les pixels 4 et 6 de LC98-12, qui avaient un passé « pixel 14 » dans LC95-31, ont été placés dans une nouvelle classe 13 de LC98-12 (renommée LC98-13).....	16
Figure 8	Comparaison visuelle entre les cartes LC95-31, LC98-12 et la nouvelle carte LC98-13. Les pixels d'intérêt, pour chaque carte, apparaissent en noir.....	16
Figure 9	Histogramme montrant le nombre pixels comptés dans chaque maille lors de l'analyse spatiale dans le logiciel ArcView.....	18
Figure 10	Distribution spatiale des valeurs de décomptes. Le nombre entre parenthèses représente le nombre de mailles concernées sur le total de 240. Aucune tendance spatiale nette ne semble s'en dégager.....	19

Figure 11	Bassin Baleine.....	22
Figure 12	Bassin Bell.....	23
Figure 13	Bassin Caniapiscau.....	23
Figure 14	Bassin Churchill Falls.....	24
Figure 15	Bassin Georges.....	24
Figure 16	Bassin Manicouagan.....	25
Figure 17	Bassin Natashquan.....	25
Figure 18	Bassin Pyrite.....	26
Figure 19	Bassin Romaine.....	26
Figure 20	Bassin Rupert.....	27
Figure 21	Bassin Lac Saint-Jean.....	27
Figure 22	Bassin Waswanipi.....	28

1. INTRODUCTION

Ce rapport s'inscrit dans une étude multidisciplinaire visant à « Valider les éléments importants du cycle hydrologique dans les simulations de la version 3.6 du modèle régional canadien du climat [MRCC(v3.6)] sur le Québec » ainsi qu'à évaluer les effets estimés par le MRCC(v3.6) dans ses projections de changement climatique. Le principal objectif de l'étude, qui devrait durer deux ans, est l'examen des bilans hydrologiques annuels et interannuels et des résultats de diverses simulations du MRCC(v3.6) effectuées sur des fenêtres de 25 années. La majeure partie des analyses sont effectuées sur une douzaine de bassins hydrographiques québécois et utilisent des données d'observations d'écoulements obtenues grâce à la collaboration des organismes suivants : Hydro-Québec, Churchill Falls and Labrador Corporation (CFLCo), Alcan, Ministère de l'Environnement du Québec (MENV).

Dans le volet télédétection du projet, certains types de données satellites sont exploités pour évaluer la possibilité de valider des variables du MRCC(v3.6) impossible à valider à partir des observations conventionnelles (*i.e.*, couverture de neige, le gel du sol, l'équivalent en eau de la neige). L'impact de l'hétérogénéité de la couverture du sol sur l'hydrologie d'un bassin est également examiné et constitue le premier livrable du volet télédétection pour l'année 2003.

Dans sa version actuelle, le MRCC(v3.6) utilise une classification relativement grossière du couvert végétal et du sol (Wilson et Henderson-Sellers 1985; 1x1 degrés latitude, longitude). En réalité, pour les douze bassins hydrographiques analysés, on retrouve un plus grand nombre de classes et une plus grande variabilité spatiale de végétation/sol que ce que considère le MRCC(v3.6). À cet égard, une première analyse de l'occupation du sol à l'aide d'une cartographie dérivée des images AVHRR (résolution originale de 1 km) avait été réalisée durant l'été 2001 pour trois bassins hydrographiques (Philippin *et al.* 2001); cette analyse était basée sur la définition des bassins de la simulation du MRCC(v3.6) à une résolution de 30 km. Les résultats montraient non seulement la très grande variabilité dans la couverture du sol entre les bassins mais également entre les différentes mailles (points de grille) au sein d'un même bassin. Pour

certaines bassins, le pourcentage couvert par des lacs et des milieux humides peut dépasser 20% alors que le MRCC(v3.6) considère ce territoire comme forestier avec un sol très humide.

Ainsi, ce rapport présente l'analyse de la couverture du sol étendue à douze bassins du nord du Québec mais reprise à la résolution de 45 km. Cette analyse nous a aussi permis de caractériser chacun des bassins ce qui nous permettra d'évaluer les impacts possibles de leur hétérogénéité sur les paramètres hydrologiques estimés par le MRCC(v3.6).

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Localisation des bassins

L'étude s'applique à 12 bassins hydrographiques situés sur le territoire de la province de Québec (figure 1). Chacun de ces bassins est divisé par un certain nombre de mailles de dimension 45 km X 45 km, comme le montre la figure 2. Le nombre total de mailles et la superficie est indiquée dans le tableau 1.



Figure 1 – Localisation des bassins hydrographiques modélisés dans le MRCC.

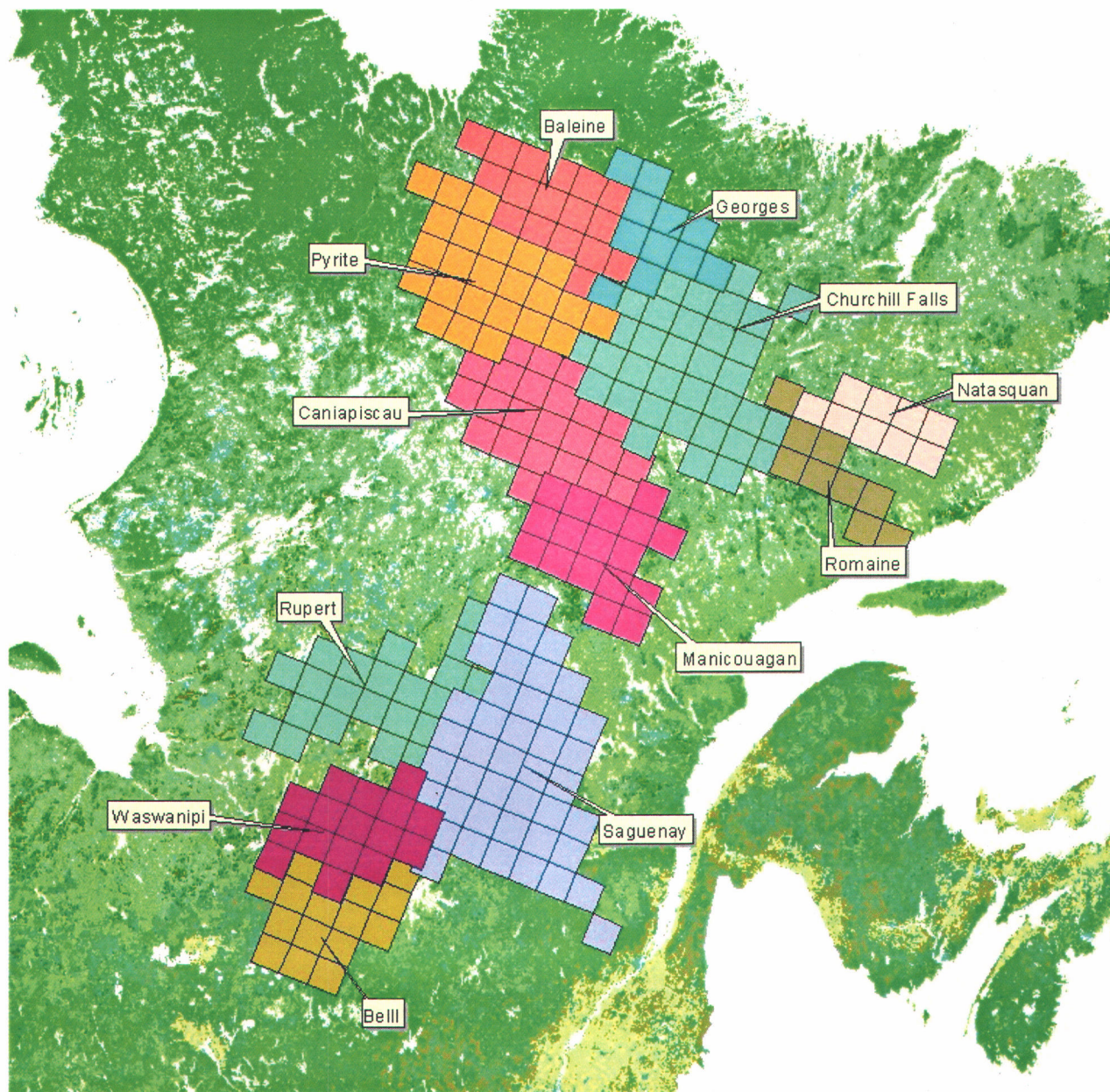


Figure 2 – Représentation des bassins par mailles de 45 km x 45 km.
La dénomination de quelques bassins a été changée par rapport à la figure 1.

Note : le nom Saguenay a été changé pour Lac Saint-Jean

Tableau 1 – Nombre de mailles par bassin et superficie totale couverte par ces dernières.

Nom du bassin	Nombre de mailles	Superficie (km²)
Lac Saint-Jean	40	81000
Churchill Falls	29	58725
Pyrite	21	42525
Rupert	20	40500
Caniapiscou	19	38475
Waswanipi	16	32400
Baleine	15	30375
Manicouagan	15	30375
Bell	13	26325
Georges	10	20250
Natashquan	8	16200
Romaine	8	16200

2.2 Données utilisées

Les données utilisées proviennent de cartes d'occupation du sol produites par le ministère des Ressources naturelles du Canada (MRNC) ainsi que les coordonnées géographiques (long/lat) des centroïdes des mailles de chaque bassin.

Le tableau 2 donne la description et la source de ces données.

Tableau 2 – Nom, description et source des données utilisées.

Nom	Description	Source
Carte Land Cover 1995 – 31 classes	Capteur NOAA – AVHRR ; pixel de 1 km	MRN - Canada
Carte Land Cover 1998 – 46 classes	Capteur Landsat TM et SPOT VGT; pixel 1 km	MRN - Canada
Carte Land Cover 1998 – 12 classes	Capteur SPOT VGT; pixel 1 km.	MRN - Canada
Fichier de centroïdes des mailles.	Coordonnées géographiques Long/Lat.	

Les cartes d'occupation du sol du Canada (*Land Cover of Canada*) préparées par Ressources Naturelles Canada (RNC), sont déclinées en trois versions : 46, 33 et 12 classes (tableau 1). L'examen des métadonnées a dirigé notre choix vers la carte 1998 à 12 classes, issue d'images VGT du satellite SPOT. Le tableau 4 décrit ces classes dans la langue d'origine (anglais) puis dans la traduction libre française.

Tableau 3 – Carte Land Cover 1998 – 12 classes.
Description des classes, en anglais et en français.

Classe	Description anglaise	Description française
1	Close tree canopy: Evergreen forest	Forêt dense: forêt de conifères
2	Close tree canopy: Deciduous forest	Forêt dense: forêt de feuillus
3	Close tree canopy: Mixed evergreen-deciduous forest	Forêt dense: forêt mixte
4	Open tree canopy: Evergreen forest	Forêt clairsemée: forêt de conifères
5	Open tree canopy: Mixed evergreen - deciduous forest	Forêt clairsemée: forêt mixte
6	Herb dominated: herbaceous vegetation	Dominance herbacée: végétation herbacée
7	Herb dominated: wetland	Dominance herbacée : milieux humides
8	Herb dominated: annual graminoid	Dominance herbacée: graminés annuelles
9	Nonvascular dominated: lichen vegetation	Dominance de végétation non-vasculaire: lichen
10	Vegetation not dominant: sparse vegetation	Dominance non-végétale: végétation clairsemée
11	Non-vegetated: water	Eau
12	Snow / Ice	Neige / glace

Il est à noter que les classes appartenant à la catégorie *forêt dense* peuvent avoir été modifiées par l'exploitation forestière entre les dates de production des cartes LC95-31 et LC98-12. La figure 5 montre la carte retenue : *land cover* 1998 à 12 classes.



Figure 3 – Carte d’occupation du sol retenue. Il s’agit d’une classification à 12 classes (1998), obtenue à partir d’images du capteur VGT (1 km de résolution) du satellite SPOT-4.

2.3 Logiciels utilisés

Les logiciels requis sont destinés aux tâches de conception des mailles, d'analyses spatiales, d'extraction et de gestion des données. Le tableau 3 indique les logiciels utilisés.

Tableau 4 - Logiciels utilisés pour chaque tâche.

Nom du logiciel (éditeur)	Tâches réalisées
MicroStation (Bentley / Intergraph)	Dessin des mailles centrées sur les coordonnées des centroïdes.
ArcView 3.0 (ESRI)	Analyses spatiales, extraction des données.
Access (Microsoft)	Traitement des données.
Excel (Microsoft)	Traitement des données.

2.4 Construction des mailles

Les mailles sont les plus petites unités territoriales qui composent les bassins hydrographiques. Elles peuvent être vues comme des pixels de 45 km X 45 km à l'intérieur desquelles l'inventaire de l'occupation du sol sera réalisé.

Ces mailles doivent, à priori, respecter trois conditions :

1. Avoir une dimension de 45 km x 45 km;
2. Être centrées sur un point (appelé centroïde dans le texte) dont les coordonnées géographiques sont connues;
3. Couvrir le territoire d'un bassin le mieux possible, c'est à dire en évitant les chevauchements et les interstices entre les mailles.

2.4.1 Problème rencontré : distance insuffisante entre les centroïdes

Les coordonnées géographiques des centroïdes ont été prélevées en respect avec la projection cartographique stéréographique polaire, qui est la projection cartographique utilisée dans le MRCCv3.6. Dans cette projection, la distance séparant deux centroïdes voisins est d'au moins 45 km; ainsi, la condition initiale de fixer une dimension de 45km x 45 km pour chaque maille peut être respectée si l'on garde cette projection. Cependant, la carte d'occupation du sol étant projetée en conique conforme de Lambert (LCC), la distance minimale séparant deux centroïdes voisins varie de 41624,7 m à 43485,1 m, soit bien en deçà des 45 km souhaités.

Plusieurs solutions existent, mais aucune ne permet de respecter l'ensemble des trois conditions de départ. La figure 4 résume les options possibles.

2.4.2 Solution retenue

La solution retenue fait le compromis entre le décentrage et le chevauchement des mailles. Elle permet de limiter le décentrage aux mailles formant un même bassin; ainsi, pour chacun de ces derniers, seule la maille située près du centre de gravité est centrée, puis les mailles voisines sont imbriquées les unes aux les autres, en respectant une intervalle d'un mètre afin d'éviter les frontières communes entre les mailles.

Cette solution a été acceptée comme ayant des conséquences négligeables en terme de sur-représentation des pixels aux contours des bassins.

La figure 5 montre un exemple de chevauchement entre les bassins Rupert et Lac Saint-Jean.

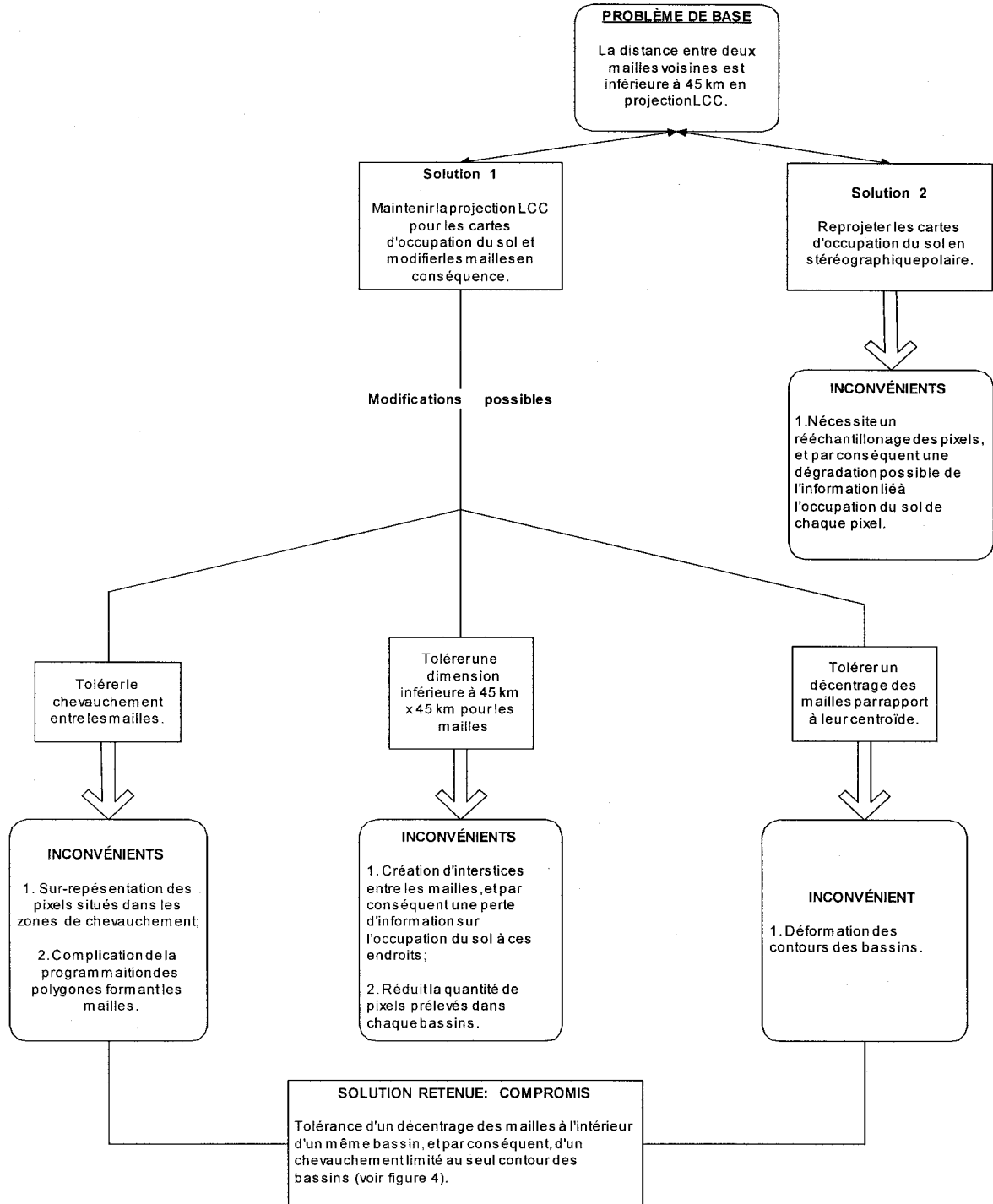
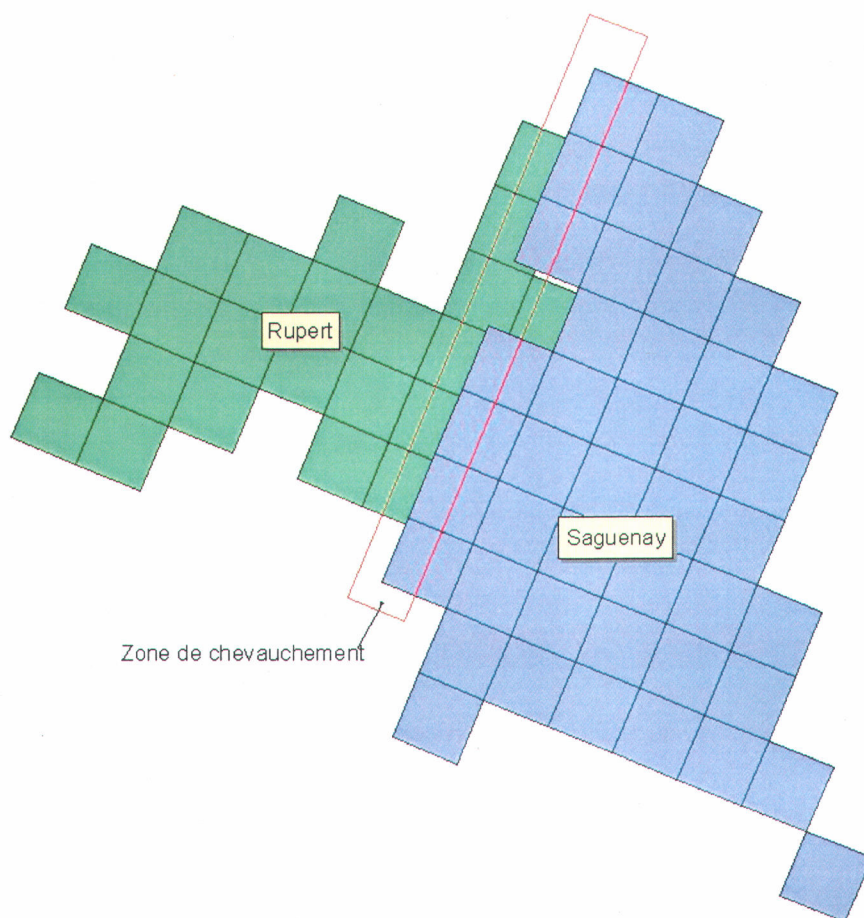


Figure 4 – Diagramme montrant les solutions disponibles au problème de distance insuffisante entre les centroïdes.



La superficie de chevauchement représente 4015 kilomètres carrés, soit le même nombre en pixels. Cela représente un peu moins de deux mailles (1.98 mailles).

Figure 5 – Exemple de chevauchement entre les bassins Rupert et Lac Saint-Jean. La frontière commune ne s'emboîte pas parfaitement, en raison du décentrage de leurs mailles respectives.

Note : le nom *Saguenay* a été changé pour *Lac Saint-Jean*

2.4.3 Manipulations techniques

Ces étapes ont été réalisées avec les logiciels MicroStation et ArcView 3.0.

- 1) Projection des coordonnées géographiques des bassins dans Excel;
- 2) Ouverture d'un fichier MicroStation 2D, avec :

- origine globale située à $x = 1\ 000\ 000$ et $y = 5\ 900\ 000$ (en conformité avec les coordonnées LCC de la région);
 - rapport d'unités: 1000 sous-unités par unité principale, et 1 unité de positionnement par sous-unité. Ceci permet de couvrir toute la région des 12 bassins, avec une précision du mètre pour une unité principale du kilomètre;
 - Écriture d'un script de commandes MicroStation, afin d'automatiser le positionnement de chaque coordonnée projetée X et Y dans le plan de travail;
 - Réalisation de la maille : un carré de 45 km par 45 km, centré sur le centroïde le plus rapproché du centre de gravité du bassin, et recopié sur les mailles voisines en respectant un écart d'un mètre entre chacune.
- 3) Importation, dans ArcView, du fichier MicroStation (*.dgn) conçu à l'étape 2. Exécution d'un script en langage Avenue (polyline2polygone2.3.avx) permettant de transformer les polygones fermés en polygones.

2.5 Représentativité des différentes classes d'occupation du sol

2.5.1 Problème rencontré : dispersion des milieux humides dans LC98-12

La carte choisie, c'est-à-dire la carte 1998 à 12 classes (LC98-12), possède une classe « zone humide » (*wetlands*) qui comprend très peu de pixels par rapport à la réalité du terrain. Une comparaison avec la carte produite antérieurement (LC95 – 31) montre que ces milieux humides étaient pourtant bien présents et se trouvaient majoritairement dans la classe 14. Une analyse spatiale montre que ces pixels 14 de LC95-31 ont été placés principalement dans les classes 4 (*Forêt clairsemée: forêt de conifères*) et 6 (*Dominance herbacée: végétation herbacée*) de LC98-12 (figure 6 et tableau 5).

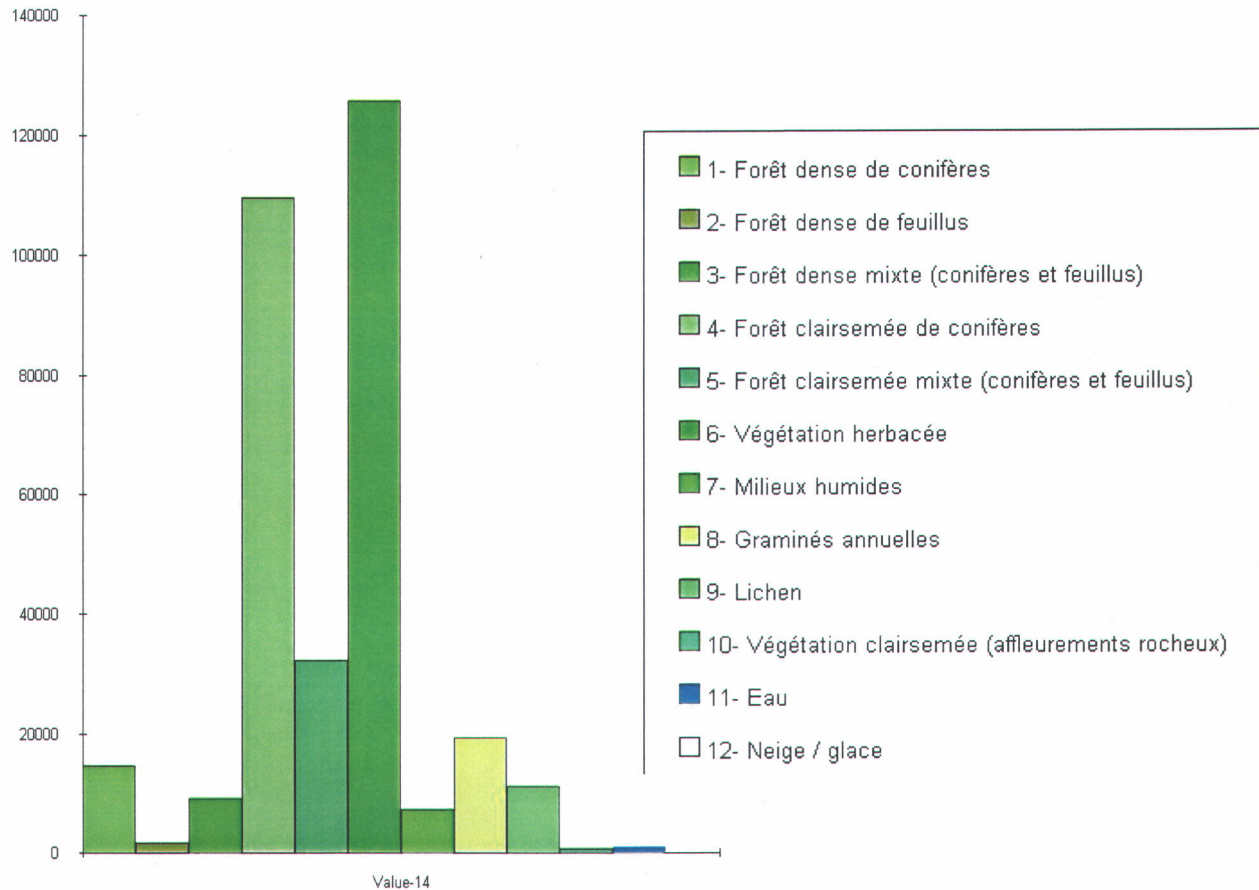


Figure 6 – Histogramme montrant le nombre de pixels de classe 14 de LC95-31 propagés dans chacune des 12 classes de LC98-12. On remarque que les classes 4 et 6 ont reçu la majorité de ces pixels.

Le tableau 5 indique que les classes 4 et 6 de LC98-12 ont reçu respectivement 36% et 41% des pixels de classe 14 de LC95-31, alors que la classe 7 (*wetland*) n'a reçu que 2,4%.

Tableau 5 – Chiffres concernant la propagation des pixels de la classe 14 de LC95-31 dans les classes 4 à 10 de LC98-12.

Classe LC98-12	Description	Nombre de pixels	% du total
4	Forêt clairsemée: forêt de conifères	109495	35,74
5	Forêt clairsemée: forêt mixte (conifères et feuillus)	32356	10,56
6	Dominance herbacée: végétation herbacée	125739	41,05
7	Dominance herbacée: milieux humides	7345	2,40
8	Dominance herbacée: graminées annuelles	19444	6,35
9	Dominance de végétation non-vasculaire: lichen	11248	3,67
10	Dominance non-végétale: végétation clairsemée	716	0,23
	Total :	306343	100,00

2.5.2 Solution retenue

La solution au problème de la « perte des milieux humides » introduite à la section 2.2.2 fut de créer une treizième classe à la carte LC98-12. Cette treizième classe se compose de tous les pixels 4 et 6 de LC98-12 qui appartenaient à la classe 14 dans LC95-31 (figure 7); la classe 14 étant celle qui contient le plus de milieux humides.

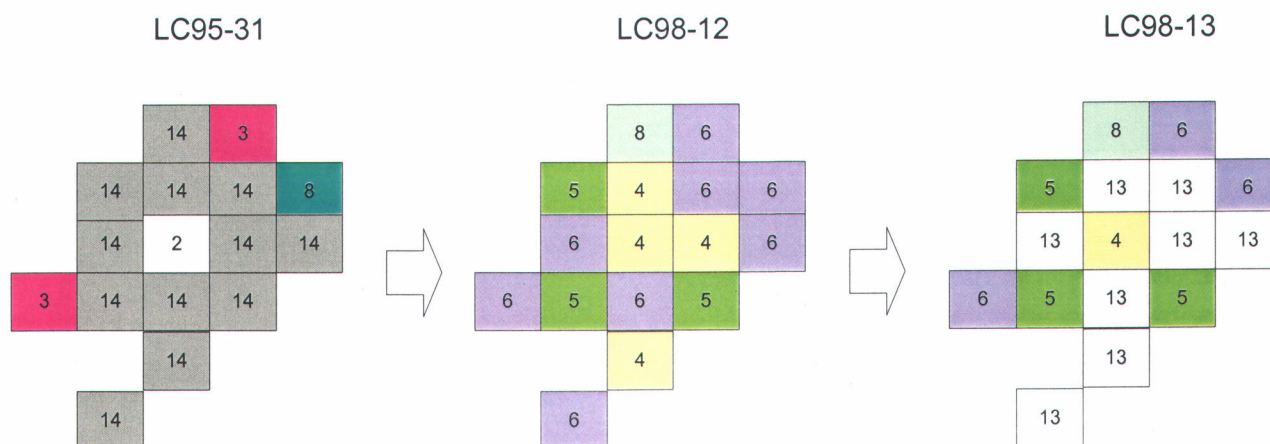


Figure 7 – Les pixels 4 et 6 de LC98-12, qui avaient un passé « pixel 14 » dans LC95-31, ont été placés dans une nouvelle classe 13 de LC98-12 (renommée LC98-13).

Ceci introduit donc la nouvelle carte LC98-13, qui est la carte LC98-12 augmentée de la classe 13. La figure 8 montre l'allure de cette nouvelle carte, en comparaison avec les cartes LC95-31 et LC98-12.

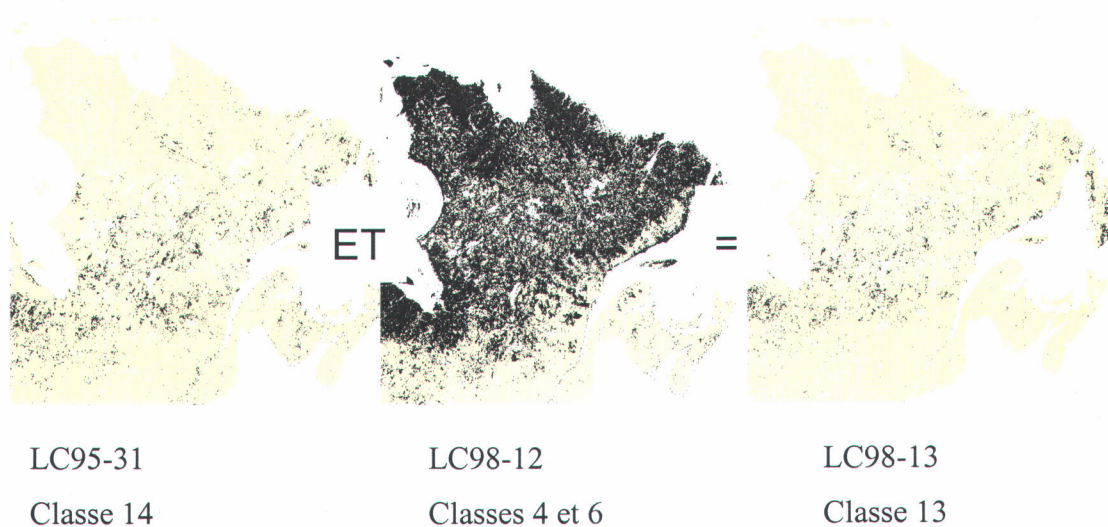


Figure 8 – Comparaison visuelle entre les cartes LC95-31, LC98-12 et la nouvelle carte LC98-13. Les pixels d'intérêt, pour chaque carte, apparaissent en noir.

2.5.3 Manipulations techniques

Ces manipulations ont été réalisées avec le logiciel ArcView.

1. Affichage des cartes LC95-31 et LC98-12 en format (*.grd). (Requiert le module *Spatial Analyst* d'ESRI);
2. Création de 2 sous-matrices (*.grd) provenant de l'extraction des pixels « classe 14 » de LC95-31 d'une part et des pixels « classe 4 » et « classe 6 » de LC98-12 d'autre part. Les pixels qui nous intéressent sont ceux qui se superposent dans ces deux sous-matrices. (*Analysis – Map Query*);
3. Création d'une nouvelle matrice (*.grd) portant le nom de « LC98-12-étendue », résultant de l'addition de la deuxième sous-matrice créée à l'étape 2, et de la carte LC98-12. (*Analysis – Map Calculation*);
4. Reclassification des nouvelles classes obtenues à l'étape 3 en « classe 13 ».

2.6 Analyse spatiale

2.6.1 Inventaire du nombre de pixels de chaque classe pour chaque maille

Cette partie concerne l'analyse spatiale faite à partir des mailles et de la nouvelle carte d'occupation du sol, LC98-13. Il s'agit essentiellement de faire l'inventaire des pixels (1 km) pour chaque classe et pour chaque maille. Elle a consisté à utiliser les mailles comme « masques de saisie », en dessous desquels les pixels de la carte d'occupation du sol sont inventoriés. Les résultats se présentent sous forme de tableaux avec, en entrée verticale, les numéros d'identification des mailles et, en entrée horizontale, les numéros de classes recouvertes par la maille.

Bien sûr, comme les mailles ont une structure vectorielle, il arrive que plusieurs pixels situés en bordure d'une maille se retrouvent à cheval sur la frontière. Le sort de ces pixels n'est pas défini clairement dans la documentation d'ESRI, mais il est fort probable qu'ils soient inclus dans le décompte. La figure 9 montre la répartition des mailles selon le nombre de pixels qu'elles comportent.

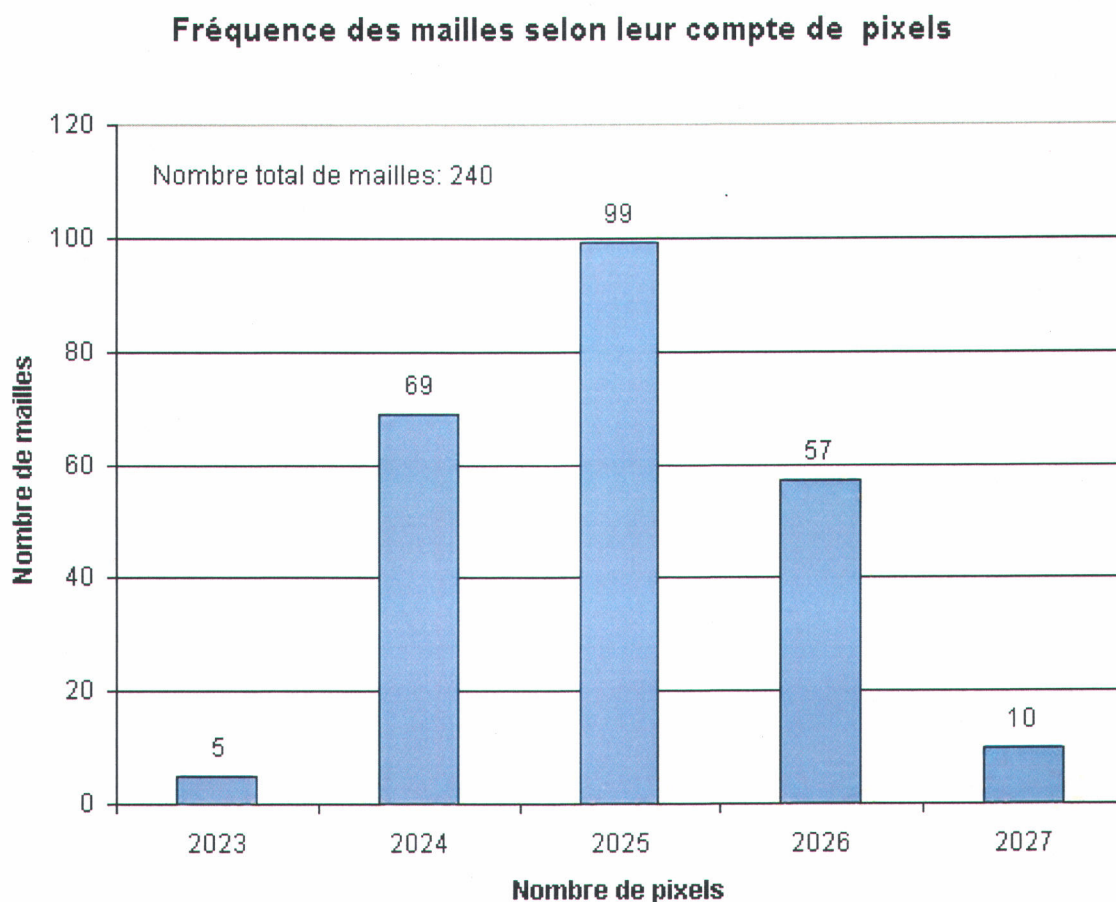


Figure 9 – Histogramme montrant le nombre pixels comptés dans chaque maille lors de l'analyse spatiale dans le logiciel ArcView.

On remarque que la distribution semble centrée autour de la valeur 2025 (± 1 pixel), qui est le nombre exact de pixels composant une maille de 45 km carrés. Toutefois, la distribution de ces fréquences dans l'espace ne semble observer aucune tendance particulière (figure 10).

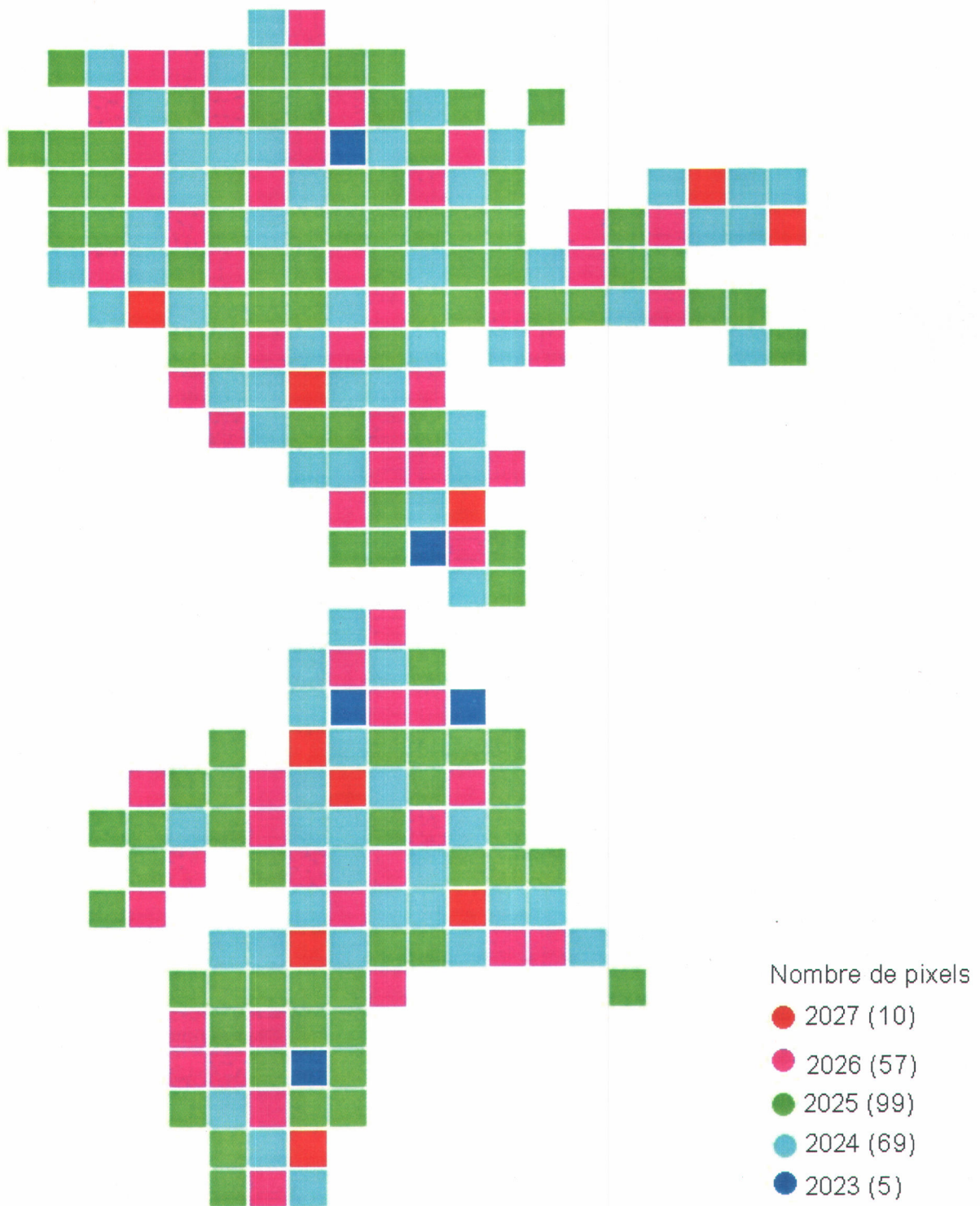


Figure 10 – Distribution spatiale des valeurs de décomptes. Le nombre entre parenthèses représente le nombre de mailles concernées sur le total de 240. Aucune tendance spatiale nette ne semble s'en dégager.

2.6.2 Manipulations techniques

Ces étapes ont été réalisées avec les logiciels ArcView 3.0, Access et Excel.

1. Affichage des fichiers vectoriels des mailles (*.shp) ainsi que de la carte LC98-13 dans ArcView;
2. Utilisation de la fonction d'analyse spatiale *Tabulate Areas* entre la carte LC98-13 et chacun des fichiers (*.shp) contenant les mailles (requiert le module *Spatial Analyst* d'ESRI). Export des tables ainsi créées dans Access;
3. Access : création d'une table mettant en relation les coordonnées projetées LCC des centroïdes et les coordonnées locales I et J. Mise en relation des coordonnées I et J avec les tables créées à l'étape 2;
4. Manipulations diverses dans Access et dans Excel afin de mettre les données dans le format souhaité.

3. RÉSULTATS

3.1 Valeur des pixels par classe et par bassin

Les résultats sont placés dans 12 fichiers ASCII portant le nom de chaque bassin hydrographique. Les données sont placées dans quatre colonnes : I_ref, J_ref, Classe et Nbre_pixels. Les colonnes I_ref et J_ref font référence à un système de coordonnées local utilisé dans modèle régional canadien du climat. Ces résultats se retrouvent sur la disquette annexée à ce rapport.

3.2 Sommaire des résultats

Le tableau 6 donne les valeurs en pourcentage de chaque type d'occupation du sol pour chaque bassin. Cette information est résumée graphiquement par les figures 11 à 23, pour les 4 ou 5 principaux types rencontrés. De façon générale, on y remarque que les quatre classes *forêt dense de conifères*, *forêt clairsemée de conifères*, *dominance de lichen* et *eau* recouvrent la majorité de la surface de l'ensemble des bassins. Pour les deux bassins situés le plus au sud (Bell et Lac Saint-Jean), la forêt mixte peut représenter jusqu'à 24% de la surface (figures 12 et 21).

Tableau 6 – Pourcentages d’occupation du sol pour chaque bassin. Les cases colorées soulignent les valeurs les plus élevées pour chaque bassin, selon un code de couleur indiqué au bas du tableau.

	Classe #	Baleine	Bell	Caniapiscou	Churchill Falls	George	Manitouagan	Natachquan	Pyrite	Romaine	Rupert	Saguenay	Waswanip
Forêt dense													
forêt de conifères	1	1,2%	27,2%	0,4%	1,3%	0,4%	9,7%	16,6%	0,9%	19,7%	19,6%	29,8%	31,1%
forêt de feuillus	2	0,0%	4,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,1%	0,9%
forêt mixte	3	0,0%	12,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	1,3%	0,2%	9,6%	2,6%
Forêt clairsemée													
forêt de conifères	4	35,4%	20,7%	42,8%	39,7%	15,3%	41,6%	57,9%	27,8%	45,6%	43,6%	25,7%	33,6%
forêt mixte	5	0,0%	23,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,9%	0,3%	11,6%	9,2%
Dominance herbacée													
végétation herbacée	6	24,3%	3,8%	5,9%	9,2%	42,5%	8,1%	3,2%	30,7%	4,9%	2,4%	3,8%	4,8%
Milieux humides													
graminés annuelles	8	0,0%	0,6%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,7%	0,0%	1,1%	0,0%	0,1%	0,2%
Pixels 4 et 6 ayant un passé "classe 14" dans Lc95													
	13	1,3%	0,7%	1,6%	0,8%	0,3%	2,8%	1,5%	2,2%	3,7%	5,8%	3,3%	4,9%
Dominance de végétation non-vasculaire													
lichen	9	17,4%	0,3%	21,2%	19,7%	21,5%	23,2%	8,3%	23,3%	13,1%	3,8%	2,9%	0,2%
Dominance non-végétale													
végétation clairsemée (affleurements rocheux)	10	7,1%	0,5%	0,8%	1,2%	2,8%	0,8%	0,4%	2,6%	0,3%	6,2%	1,6%	1,1%
Eau													
	11	13,4%	5,2%	27,3%	28,0%	17,1%	13,7%	11,1%	12,6%	9,6%	18,1%	6,3%	11,5%
		Dominance 1			Dominance 2			Dominance 3					

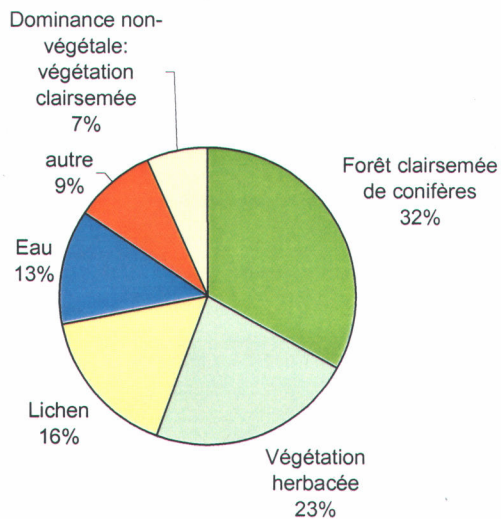


Figure 11 – Bassin Baleine

Le bassin Baleine (figure 11), à l’instar des bassins Pyrite (figure 18) et Georges (figure 15), qui sont situés aux mêmes latitudes, sont surtout recouverts de forêts de conifères clairsemées, de végétation herbacée et de lichen. Le bassin Baleine, le plus nordique de tous (57^{ième} parallèle nord), comporte également une bonne proportion (7%) de régions à dominance non-végétale (affleurements rocheux).

Remarquons que les bassins Baleine et Georges, Caniapiscou et Churchill Falls comportent des pixels classés *neige / glace*.

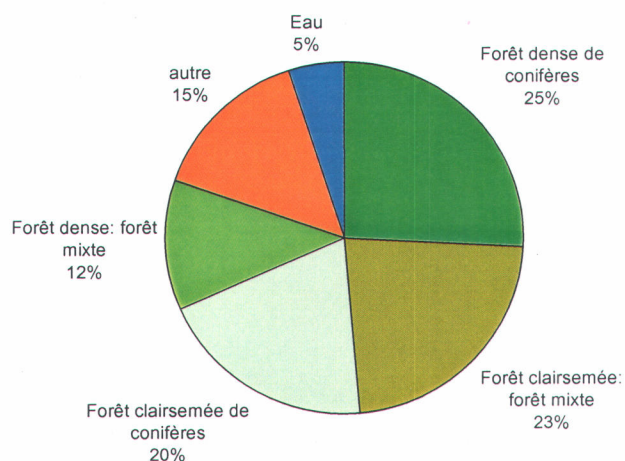


Figure 12 – Bassin Bell

Le bassin Bell (figure 12) est, avec le bassin Lac Saint-Jean (figure 21) celui qui se trouve le plus au sud (48^{ième} parallèle nord). Par conséquent, ses classes de couvertures du sol sont variées : toutes les classes y sont rencontrées, à l'exception des classes *graminées annuelles* (agriculture) et *neige / glace*. Pour le bassin Lac Saint-Jean, toutes les classes de couvertures du sol sont rencontrées à la seule exception de la classe *neige / glace*.

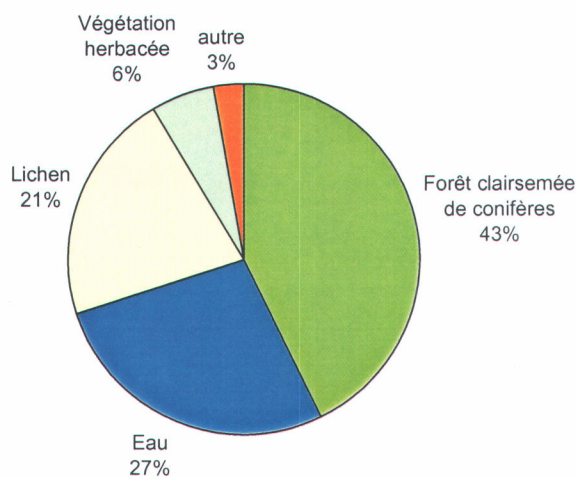


Figure 13 – Bassin Caniapiscou

Les bassins Caniapiscou (figure 13) et Churchill Falls (figure 14) se ressemblent dans le fait que leurs couvertures de sol dominantes sont, dans l'ordre d'importance, la forêt de conifères clairsemée, l'eau et le lichen.

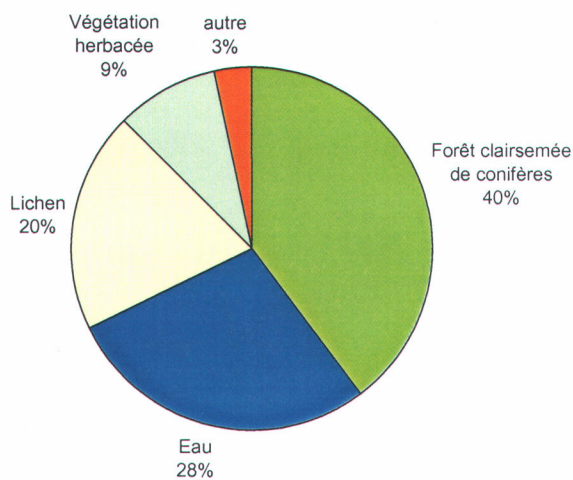


Figure 14 – Bassin Churchill Falls

Le bassin Churchill Falls (figure 14) est celui qui contient la plus forte proportion d'eau (28%). Il est rejoint sur ce plan par le bassin Caniapiscou (27%) puis, dans une moindre mesure, par les bassins Rupert et Georges (respectivement 18% et 17%) dont les diagrammes sont présentés aux figures 20 et 15.

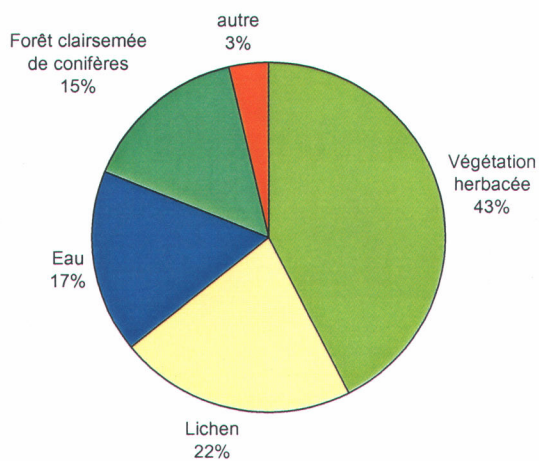


Figure 15 – Bassin Georges

Le bassin Georges (figure 15) est le moins forestier des douze bassins (15%). Il est surtout dominé par la végétation herbacée (43%) et le lichen (22%).

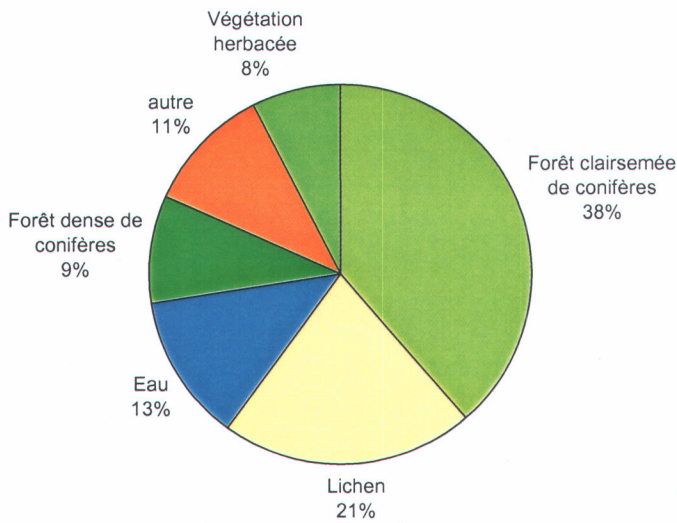


Figure 16 – Bassin Manicouagan

Le bassin Manicouagan (figure 16), situé plus au sud que les bassins Caniapiscau et Churchill Falls (figures 13 et 14), rejoint ses derniers dans des proportions semblables par leurs couvertures de sol dominantes (forêt clairsemée de conifères, lichen et eau), mais il comporte en plus une proportion de forêt dense de conifères similaire à sa proportion de végétation herbacée.

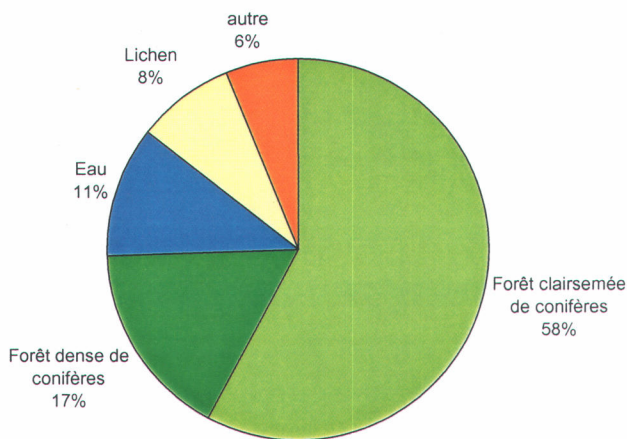


Figure 17 – Bassin Natashquan

Les bassins Natashquan (figure 17) et Romaine (figure 19) se ressemblent par leur forme, leur dimension et leur localisation. Cette ressemblance se retrouve également au chapitre de la couverture du sol : les classes *forêt clairsemée* et *forêt dense* (de conifères) ainsi que *lichen* et *eau* se trouvent dans des proportions semblables, avec toutefois une nette dominance pour la forêt clairsemée de conifères. Le bassin Natashquan est d'ailleurs le plus forestier des douze bassins étudiés.

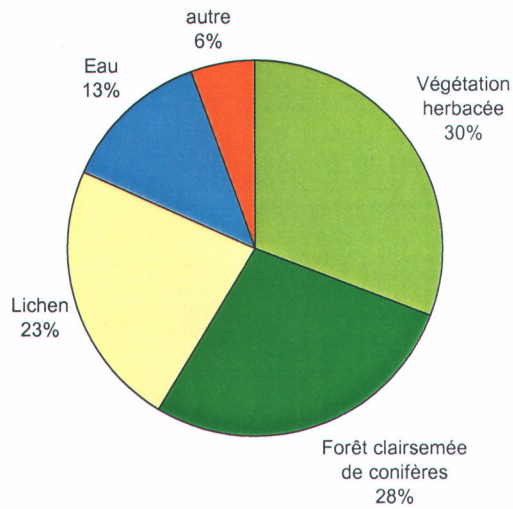


Figure 18 – Bassin Pyrite

La couverture du sol du bassin Pyrite (figure 18) ressemble à celles des bassins Baleine et Georges (figure 11 et 15). Toutefois, il est deux fois plus forestier que le bassin Georges (28% vs 15%).

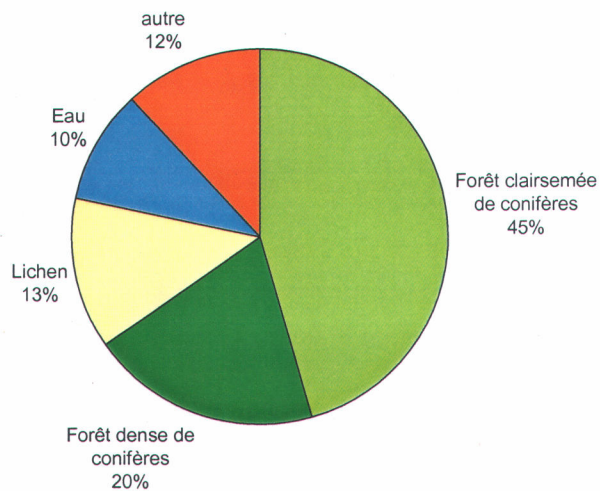


Figure 19 – Bassin Romaine

Le bassin Romaine (figure 19) possède le même profil de couverture du sol que le bassin Natashquan (figure 17). Toutefois, il est un peu moins forestier (65% vs 75%).

Remarque : la proportion de pixels classés *eau* dans le bassin Romaine est surestimé du fait qu'une de ses mailles recouvre en partie le fleuve Saint-Laurent.

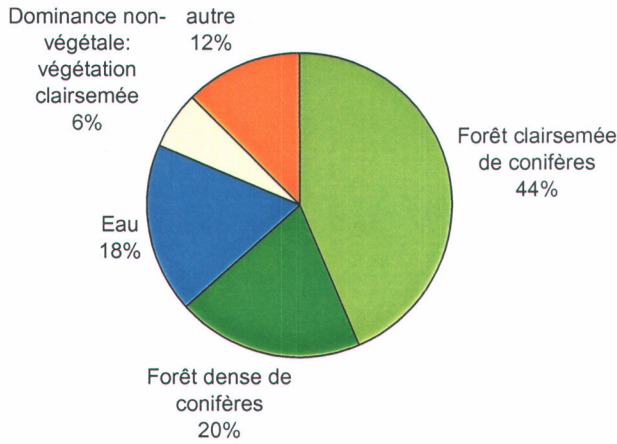


Figure 20 – Bassin Rupert

Le bassin Rupert (figure 20) est surtout recouvert de forêts clairsemées ou denses de conifères (environ 64% de sa surface). La troisième place en importance pour la couverture du sol est l'eau (18%), suivie de la végétation clairsemée (6%).

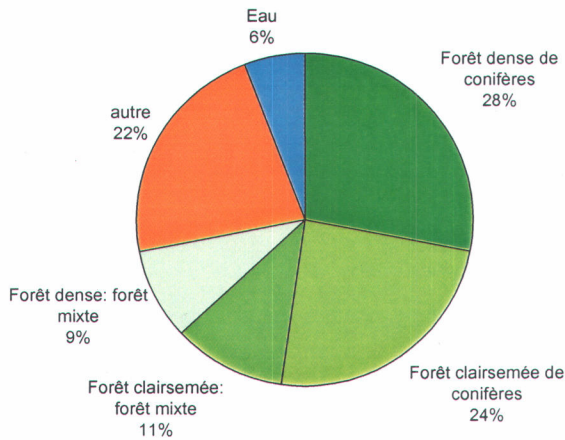


Figure 21 – Bassin Lac Saint-Jean

Le bassin Lac Saint-Jean (figure 21) possède la plus vaste superficie – 81 000 kilomètres carrés, soit près du double de tous les autres bassins. Son étendue nord-sud de plus de 4 degrés lui confère un profil d'occupation du sol fort varié: toutes les classes d'occupation du sol y sont rencontrées sauf *neige / glace*.

Remarquons également que le bassin Lac Saint-Jean est le seul qui comporte des pixels classés *graminées annuelles* (3% de sa superficie serait agricole).

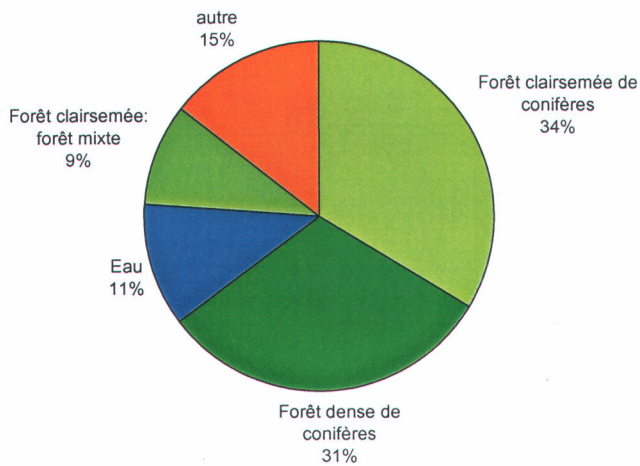


Figure 22 – Bassin Waswanipi

À l’instar du bassin Rupert (figure 20), le bassin Waswanipi (figure 22) possède environ 65% de forêts de conifères dense ou clairsemées. Par ailleurs, étant situé plus au sud que ce dernier, ses autres formations végétales se composent ensuite de forêt mixte clairsemée (9%), de forêt mixte dense (2,6%) et de végétation herbacée (4,8%).

3.3 Impacts de l'hétérogénéité de l'occupation du sol sur les paramètres hydrologiques estimés par le MRCC

Dans sa version actuelle, le MRCC(v3.6) utilise une classification relativement grossière du couvert végétal et du sol (Wilson et Henderson-Sellers 1985; 1x1 degrés latitude, longitude). En réalité, pour les douze bassins hydrographiques analysés, on retrouve un plus grand nombre de classes et une plus grande variabilité spatiale de végétation/sol que ce que considère le MRCC(v3.6).

Dans un modèle climatique tel que le MRCC(v3.6), la complexité des échanges d'énergie et de masse à l'interface de la couche limite de l'atmosphère et de la couche superficielle de la terre requière une paramétrisation de l'occupation de sol. L'albédo représente un de ces paramètres qui permet de tenir compte de l'hétérogénéité de l'occupation du sol à l'échelle du domaine de calcul. La valeur de cet albédo se veut une valeur équivalente car, selon le schéma de surface en place, elle doit refléter l'hétérogénéité des occupations du sol à l'intérieur d'une maille du domaine de calcul. Cette valeur est évaluée à partir d'un algorithme de calcul qui, en général, tient compte du pourcentage des pixels de chaque occupation de sol présente dans la maille; d'où l'intérêt d'avoir le plus grand nombre de classes possibles. La valeur résultante de l'albédo sert à déterminer le rayonnement net sur la maille de calcul :

$$R_n = R_s (1 - \alpha) + \varepsilon_s R_{ld} - R_{lu} \quad (1)$$

où R_s représente le rayonnement global de courtes longueurs d'onde (rayonnements solaire direct et diffus de l'atmosphère),

α l'albédo de la surface,

ε_s l'émissivité de la surface (selon la loi de Kirchhoff, pour les surfaces grises, $\varepsilon_s = \alpha_s$),

R_{ld} le rayonnement incident de longues longueurs d'onde en provenance de l'atmosphère,

R_{lu} le rayonnement de longues longueurs d'onde en provenance de la surface vers l'espace.

Ce rayonnement net est l'une des composantes du bilan d'énergie thermique de la couche superficielle de la maille de calcul :

$$R_n - L_e E - H + L_p F_p - G + A_h = \frac{\partial W}{\partial t} \quad (2)$$

où R_n est le rayonnement net reçu à la limite supérieure de la couche de surface [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

L_e la chaleur latente de vaporisation¹ [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$],

E le flux massique d'évaporation [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$],

H le flux de chaleur sensible à la limite supérieure de la couche de surface [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

L_p l'énergie nécessaire à la photosynthèse (*i.e.*, fixation du CO_2) [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$],

F_p le flux de CO_2 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$],

G le flux d'énergie quittant la limite inférieure de la couche de surface [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

A_h le flux d'énergie par advection dans la couche de surface (ex. : eau de la pluie ou écoulement d'eau contenant de la chaleur latente) [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

et $\partial W/\partial t$ le taux de changement d'énergie dans la couche de surface [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$].

Ici, c'est le terme $L_e E$ qui nous concerne le plus car celui-ci permet de faire le couplage entre les bilans d'énergie thermique et de masse (*i.e.*, bilan hydrique) d'une maille de calcul. Ce couplage se fait par le gradient vertical d'humidité spécifique, la vitesse du vent à une hauteur

¹ Dans le cas d'un couvert nival, il s'agira de chaleur latente de sublimation, L_s .

prédéterminée, et l'algorithme utilisé dans le schéma de surface pour calculer l'évapotranspiration résultante des différentes classes d'occupation du sol d'une maille.

L'hypothèse que nous faisons dans le cadre de ce projet portant sur l'évaluation du bilan hydrologique du MRCC(v3.6) (Laprise *et al.*, 2003; Frigon *et al.*, 2002; Caya et Laprise, 1999) est la suivante : « *étant donné que le rayonnement net représente le terme le plus influent du bilan d'énergie thermique, une meilleure représentation de ce rayonnement, par l'entremise d'une classification plus détaillée de l'occupation du sol (5-13 classes), permettrait de mieux simuler la dynamique des bilans d'énergie et de masse du schéma de surface inclus dans le modèle régional du climat* ». Bien entendu, tout cela sera tributaire de :

- (i) l'algorithme qui est inclus dans le schéma de surface du MRCC(v3.6) et qui sert à déterminer la valeur l'albédo la plus représentative de la mosaïque de pixel d'occupations du sol présentes à l'intérieur d'une maille et
- (ii) la représentativité de la paramétrisation et des équations du schéma de surface servant à l'évaluation de l'évapotranspiration d'une maille de calcul.

4. CONCLUSION

Une inventaire de l'occupation du sol pour les douze bassins a été fait en conformité avec les guides suivants :

1. Découpage des bassins en mailles de 45 km x 45 km, un mètre séparant chaque maille de sa voisine;
2. Tolérance d'un chevauchement entre deux bassins voisins;
3. Tolérance d'un décentrage des mailles à l'intérieur de chaque bassin;
4. Carte d'occupation du sol LC98-12 augmentée d'une treizième classe regroupant les pixels dont la dominante est les milieux humides.

Nous avons ainsi obtenu pour chacun des bassins et des mailles le % des pixels de chaque occupation de sol (13 classes). Ces résultats détaillées se retrouvent sur la disquette annexée à ce rapport.

Cette étude nous a ainsi permis de caractériser les douze bassins par leur occupation du sol. Le bassin Georges, à l'instar des bassins Pyrite et Baleine, qui sont situés aux mêmes altitudes, sont essentiellement recouverts de forêts de conifères clairsemées, de végétation herbacée, de lichen et d'eau. Le bassin Georges est aussi le moins forestier des douze (15% seulement). Les bassins Churchill Falls et Caniapiscau contiennent la plus forte proportion d'eau (28 et 27 %) et sont rejoints dans une plus faible proportion par les bassins Rupert et Georges (18-17 %). Le bassin Natashquan est le plus forestier (75%). Les bassins Romaine et Manicouagan possèdent les mêmes types de couvertures végétales que celui de Natashquan mais leur pourcentage de forêt de conifères est moindre (65 % et 47% respectivement). Les bassins Bell et Lac Saint-Jean présentent des couvertures variées, incluant une forêt mixte de feuillus et de conifères. Néanmoins, le bassin Lac Saint-Jean est le seul où l'on retrouve de l'agriculture.

L'albédo représente un des paramètres du MRCC(v3.6) qui permet de tenir compte de l'hétérogénéité de l'occupation du sol à l'échelle du domaine de calcul. La valeur de cet albédo se veut une valeur équivalente car, selon le schéma de surface en place, elle doit refléter l'hétérogénéité des occupations du sol à l'intérieur d'une maille. Cette valeur est évaluée à partir d'un algorithme de calcul qui, en général, tient compte du pourcentage des pixels de chaque occupation de sol présente dans la maille; d'où l'intérêt d'inclure le plus grand nombre de classes possibles (5-13 classes).

Dans la poursuite de ce projet, nous partons de l'hypothèse suivante : *« étant donné que le rayonnement net représente le terme le plus influent du bilan d'énergie thermique, une meilleure représentation de ce rayonnement, par l'entremise d'une classification plus détaillée de l'occupation du sol, permettra de mieux simuler la dynamique des bilans d'énergie et de masse du schéma de surface inclus dans le modèle régional du climat »*. Enfin, la rigueur de cette dernière hypothèse sera tributaire de : (i) l'algorithme qui est inclus dans le schéma de surface du MRCC(v3.6) et qui sert à déterminer la valeur l'albédo la plus représentative de la mosaïque de pixel d'occupations du sol présentes à l'intérieur d'une maille et (ii) de la représentativité de la paramétrisation et des équations du schéma de surface servant à l'évaluation de l'évapotranspiration d'une maille de calcul.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Caya, D., et R. Laprise. 1999. A Semi-Implicit Semi-Lagrangian Regional Climate Model: The Canadian RCM. *Monthly Weather Review*, **127**: 341-362.
- Cihlar, J., et J. Beaubien (1998). Land cover of Canada Version 1.1. Special Publication, NBIOME Project. Produced by the Canada Centre for Remote Sensing and the Canadian Forest Service, Natural Resources Canada. Available on CD-ROM from the Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Ontario.
- Cihlar, J., J. Beaubien, et R. Latifovic. (2002). Land cover of Canada 1998. Special Publication, NBIOME Project. Produced by the Canada Centre for Remote Sensing and the Canadian Forest Service, Natural Resources Canada. Available from the Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Ontario.
- Frigon, A., D. Caya, M. Slivitzky, et D. Tremblay. 2002. Investigation of the hydrologic cycle simulated by the Canadian Regional Climate Model over the Quebec/Labrador territory. Dans: Beniston, M. (ed), *Climatic Change: Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management. Advances in Global Change Research*, 10. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht and Boston, pp. 31-55.
- Laprise, R., D. Caya, A. Frigon et D. Paquin. 2003. Current and perturbed climate as simulated by the second-generation Canadian Regional Climate Model (CRCM-II) over north-western North America. *Climate Dynamics*. (accepté).
- Philippin, M., D. Beaumont, et M. Bernier. 2001. *Projet d'inventaire des occupations du sol: Bassins Bell, Waswanipi et Rupert*. INRS-Eau, Rapport No R-602.
- Wilson, M.F., et A. Henderson-Sellers. 1985. A global archive of land cover and soils data for use in general circulation models. *J. Climatol.* **5**: 119-143.