

**ANALYSE MULTIVARIÉE DES INDICES D'ALTÉRATION
HYDROLOGIQUE DE L'EST DU CANADA**

par

**André St-Hilaire¹
Anik Daigle¹
Dan Beveridge³
Daniel Caissie²
Loubna Benyahya²**

**¹. Institut national de la recherche scientifique
Centre Eau, Terre et Environnement
(INRS-ETE)**

490 De la Couronne, Québec, G1K 9A9

². Pêches et Océans Canada

³. University of New Brunswick

Rapport de recherche R1058

Mars 2009

Référence :

ST-HILAIRE, A., A. Daigle, D. Beveridge, D. Caissie et L. Benyahya. 2009. Analyse multivariée des indices d'altération hydrologique de l'Est du Canada. INRS-ETE, rapport de recherche R1058, 43 pages.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	III
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES FIGURES	VII
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODES	3
2.1 BASE DE DONNEES.....	3
2.2 CALCUL DES INDICES.....	5
2.3 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)	5
3.0 RÉSULTATS	7
3.1 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES POUR LES STATIONS DU QUÉBEC	7
3.2 CHOIX DES INDICES D'ALTÉRATION HYDROLOGIQUE POUR LE QUÉBEC.....	14
3.3. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES POUR LES STATIONS DE L'ATLANTIQUE.....	17
3.4 CHOIX DES INDICES D'ALTÉRATION HYDROLOGIQUE POUR LES PROVINCES ATLANTIQUES.....	22
4.0 DISCUSSION ET CONCLUSION	24
5. RÉFÉRENCES.....	27
ANNEXE A: LISTE DES STATIONS INCLUSES DANS L'ÉTUDE	29
ANNEXE B: DÉFINITION DES INDICES (EN ANGLAIS)	39

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. REPARTITION DU NOMBRE DE RIVIERES INCLUSES DANS L'ETUDE PAR PROVINCE ET PAR REGION HYDROLOGIQUE AU QUEBEC.	4
TABLEAU 2. INDICES D'ALTÉRATION HYDROLOGIQUE SÉLECTIONNÉS POUR LE QUÉBEC.	15
TABLEAU 3. INDICES D'ALTÉRATION HYDROLOGIQUE SÉLECTIONNÉS POUR LES PROVINCES ATLANTIQUES.	23

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. VARIANCE EXPLIQUÉE PAR CHAQUE COMPOSANTE PRINCIPALE CALCULÉE À PARTIR DES IAH SUR 104 STATIONS HYDROMÉTRIQUES DU QUÉBEC.	7
FIGURE 2. VALEURS DE SATURATION (« LOADINGS ») DES INDICES AVEC LES TROIS PREMIÈRES COMPOSANTES PRINCIPALES. LES INDICES SONT REPRÉSENTÉES PAR LEUR CATÉGORIE : 1 (BLEU) = AMPLITUDE, 2 (TURQUOISE) = FRÉQUENCE, 3 (JAUNE) = DURÉE, ET 4 (ROUGE) = OCCURRENCE.	8
FIGURE 3. RÉGIONS HYDROLOGIQUES DU QUÉBEC (SOURCE : HTTP://WWW.CEQH.GOUV.QC.CA/SUIVIHYDRO/DEFAULT.ASP ; ACCÉDÉ LE 22 MARS 2009).	10
FIGURE 4. SCORES FACTORIELS DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES QUÉBÉCOISES, AVEC IDENTIFICATION DES RÉGIONS HYDROLOGIQUES 1 À 12 (VOIR FIGURE 3).....	11
FIGURE 4. SCORES FACTORIELS DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES QUÉBÉCOISES, AVEC IDENTIFICATION DES SUPERFICIES JAUGÉES	13
FIGURE 6. VALEURS DE SATURATION MIS EN ORDRE POUR SÉLECTIONNER LES INDICES D'ALTÉRATION HYDROLOGIQUE EXPLIQUANT LE PLUS DE VARIANCE.	16
FIGURE 7. VARIANCE EXPLIQUÉE PAR CHAQUE COMPOSANTE PRINCIPALE CALCULÉE À PARTIR DES IAHs SUR 71 STATIONS HYDROMÉTRIQUES DES PROVINCES ATLANTIQUES.	17
FIGURE 8. VALEURS DE SATURATION (« LOADINGS ») DES INDICES AVEC LES TROIS PREMIÈRES COMPOSANTES PRINCIPALES POUR LES PROVINCES ATLANTIQUES. LES INDICES SONT REPRÉSENTÉES PAR LEUR CATÉGORIE : 1 (BLEU) = AMPLITUDE, 2 (TURQUOISE) = FRÉQUENCE, 3 (JAUNE) = DURÉE, ET 4 (ROUGE) = OCCURRENCE.....	19
FIGURE 9 SCORES FACTORIELS DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES DES PROVINCES ATLANTIQUES, AVEC INDICATION DES PROVINCES D'APPARTENANCE	20
FIGURE 10. SCORES FACTORIELS DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES DES PROVINCES ATLANTIQUES, AVEC IDENTIFICATION DES SUPERFICIES JAUGÉES	21

1. INTRODUCTION

L'estimation des débits réservés en aval d'ouvrages hydroélectriques peut se faire à l'aide de différentes méthodes. Elles incluent les approches hydrologiques, hydrauliques et la modélisation des microhabitats (Leclerc et al., 2003). Comme leur nom l'indique, les approches hydrologiques sont basées strictement sur l'unique variable « débit », alors que les autres approches intègrent d'autres variables. Par exemples les approches hydrauliques font intervenir la relation entre le niveau (ou le débit) d'un cours d'eau et certaines autres variables telles que le périmètre mouillé ou le rayon hydraulique (Caissie et El-Jabi, 2003). Les approches basées sur les préférences d'habitat nécessitent une certaine compréhension de la biologie des espèces-clés, notamment la relation entre les variables d'habitat (e.g. vitesse, profondeur, substrat) et la présence ou la densité de l'espèce étudiée.

On comprend donc que les méthodes hydrologiques ont comme principal avantage une simplicité relative. Les premières méthodes utilisées dans cette catégorie étaient presque toutes des variantes de l'approche de Tennant (1976) qui établissait une valeur fixe de débit minimum correspondant habituellement à une statistique descriptive d'étiage d'étiage (par exemple, 30% du débit moyen annuel). Par la suite, le concept du « paradigme du débit naturel » (Poff et al., 1997) a succédé aux approches à débit fixe. Les approches qui en découlent sont basées sur le principe que la variabilité hydrologique naturelle est essentielle au maintien des fonctions écosystémiques d'un cours d'eau. Ainsi, il est insuffisant de maintenir un débit-plancher. On doit plutôt s'assurer que la gamme des amplitudes, occurrences, durées et fréquences des débits qui

constituent l'hydrogramme naturel d'un cours d'eau soit conservée en tout (ou en grande partie) après l'aménagement des ouvrages.

Cet objectif ne peut être atteint que si les caractéristiques du régime hydrologique naturel sont connues au préalable. Pour ce faire, l'approche souvent utilisée consiste à calculer des indices hydrologique (IH; Olden et Poff, 2003). Ces IH sont en fait des statistiques descriptives de l'hydrogramme regroupées en 4 principales catégories : amplitude, durée, fréquence, occurrence. Les IH du cinquième groupe, le taux de changement, n'étaient pas inclus dans cette étude sauf pour le calcul de certains coefficients de variation qui font partie de la catégorie Amplitude. On retrouve dans la littérature de nombreux indices, qui varient selon les régions d'études et les auteurs. Monk et al. (2007) en a retracé plus de 150.

Le calcul d'un si grand nombre d'IH à partir des séries chronologiques de débit pose un problème de redondance. En effet, les séries de débit sont habituellement caractérisées par une forte saisonnalité et même parfois d'une autocorrélation pluriannuelle imputable entre autres aux cycles climatiques à basse fréquence (NAO, ENSO, etc.). Ainsi, même si la littérature fournit de nombreux indices traitant des étiages, il peut devenir pertinent d'en sélectionner un nombre restreint qui explique un pourcentage élevé de la variance de ce phénomène.

L'objectif du présent rapport consiste à procéder à la sélection des IH jugés les plus pertinents pour caractériser les régimes hydrologiques de l'Est du Canada. De plus, l'approche utilisée permettra de dégager les éventuelles similitudes régionales des régimes naturels des cours d'eau étudiés.

2. MÉTHODES

La méthodologie proposée comporte trois grandes étapes : 1) la sélection des stations hydrométriques incluses dans l'étude, 2) le calcul des IH et 3) l'analyse multivariée.

2.1 Base de données

Pour les fins du présent projet, l'Est du Canada inclut les 4 provinces Atlantiques et le Québec.

Les critères de sélection des stations sont les suivants :

- Cours d'eau sans aménagement majeur (régime naturel ou quasi-naturel)
- Longueur de la série chronologique de débits journaliers supérieure à 10 ans.

Le tableau en Annexe A donne la liste des stations incluses dans l'étude. Le nombre de stations par province est donné au tableau 1. La province de Québec a été subdivisée en régions hydrologiques telles que définies par le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) de cette province tandis que chaque province de l'Atlantique constitue une région.

Tableau 1. Répartition du nombre de rivières incluses dans l'étude par province et par région hydrologique au Québec.

Province	Région	Nombre de stations
Québec	1	5
Québec	2	15
Québec	3	9
Québec	4	10
Québec	5	21
Québec	6	14
Québec	7	7
Québec	8	8
Québec	9	9
Québec	10	5
Québec	12	1
Nouveau-Brunswick	NB	23
Ile-du-Prince-Édouard	PEI	6
Nouvelle-Écosse	NS	26
Terre-Neuve	NFL	16

2.2 Calcul des indices

Les IH ont été définis dans la section précédente comme étant des statistiques descriptives de débit capables de caractériser la variabilité naturelle de l'hydrogramme. Parmi les 167 indices disponibles dans la littérature, une présélection a permis d'identifier une liste de 63 indices. Ces derniers incluent la totalité des IHs qui caractérisent les étiages. À cela s'ajoute des indicateurs d'amplitude calculés sur une base annuelle et saisonnière. Finalement, les quantiles et indices de crue utilisés par Benyahya et al. (2009), initialement utilisés pour caractériser le régime hydrologique des rivières de la région Atlantique ont été ajoutés à cette liste, totalisant 88 indices. La définition des indices est donnée dans l'Annexe B. Les indices ont été calculés à partir des chroniques de débits journaliers de chaque station hydrométrique. Seuls les indices calculés pour l'ensemble de la série sont utilisés dans les analyses subséquentes.

2.3 Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une approche statistique multivariée utilisée pour réduire le nombre de variables à étudier. Pour ce faire, la matrice des données originales est transformée en un plus petit ensemble de variables non corrélées qui sont des combinaisons linéaires (appelées composantes principales) des variables originales. Les composantes principales sont construites de manière à maximiser la variance expliquée. Ainsi, la première composante principale est une combinaison linéaire des variables originales (x_i) standardisées.

$$PC_1 = \sum_{i=1}^p a_{1i} x_i \quad (1)$$

Dans l'équation (1), la variance expliquée par PC_l est maximisée sous la contrainte suivante :

$$\sum_{i=1}^p a_{li}^2 = 1 \quad (2)$$

La variance expliquée diminue au fur à mesure que les autres composantes principales (CP_2 , CP_3 ,..... CP_j) sont calculées puisque le calcul se fait tour à tour sur les résidus de la CP précédente.

Dans la présente étude, l'ACP est utilisée de trois manières. Dans un premier temps, l'examen de la projection des corrélations entre les IH originaux et les CP (les saturations, ou 'loadings') dans l'espace des CP permet d'identifier certains regroupements d'IHs et d'identifier s'il y a redondance. Par la suite, la projection des scores factoriels des stations utilisées dans l'analyse permet d'identifier les regroupements géographiques (par régions hydrologiques ou par provinces) et hydrologiques (par la superficie des bassins versants) qui sont caractérisés par une certaine homogénéité dans la variance des IHs. Finalement, la sélection des IHs peut se faire par le truchement de l'analyse des saturations. La méthode préconisée ici consiste à choisir les IHs ayant les saturations les plus élevées et de pondérer le nombre d'IHs sélectionné à partir de chaque CP par la variance expliquée.

3.0 RÉSULTATS

3.1 Analyse en composantes principales pour les stations du Québec

L'ACP a été faite sur la matrice des corrélations calculées entre les 88 indices pour 104 stations au Québec. La figure 1 (« scree plot ») décrit la variance expliquée pour chaque axe orthogonal (composante principale) de l'ACP. La première composante principale (CP1) explique 37% de la variance, alors que la seconde et la troisième expliquent respectivement 20% et 11% de la variance. Les autres composantes principales expliquent moins de 10% de la variance chacune.

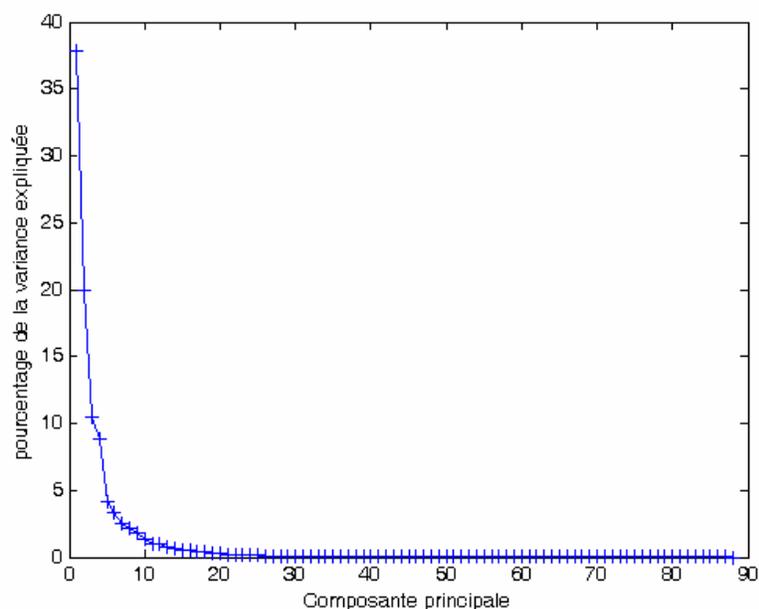


Figure 1. Variance expliquée par chaque composante principale calculée à partir des IH sur 104 stations hydrométriques du Québec.

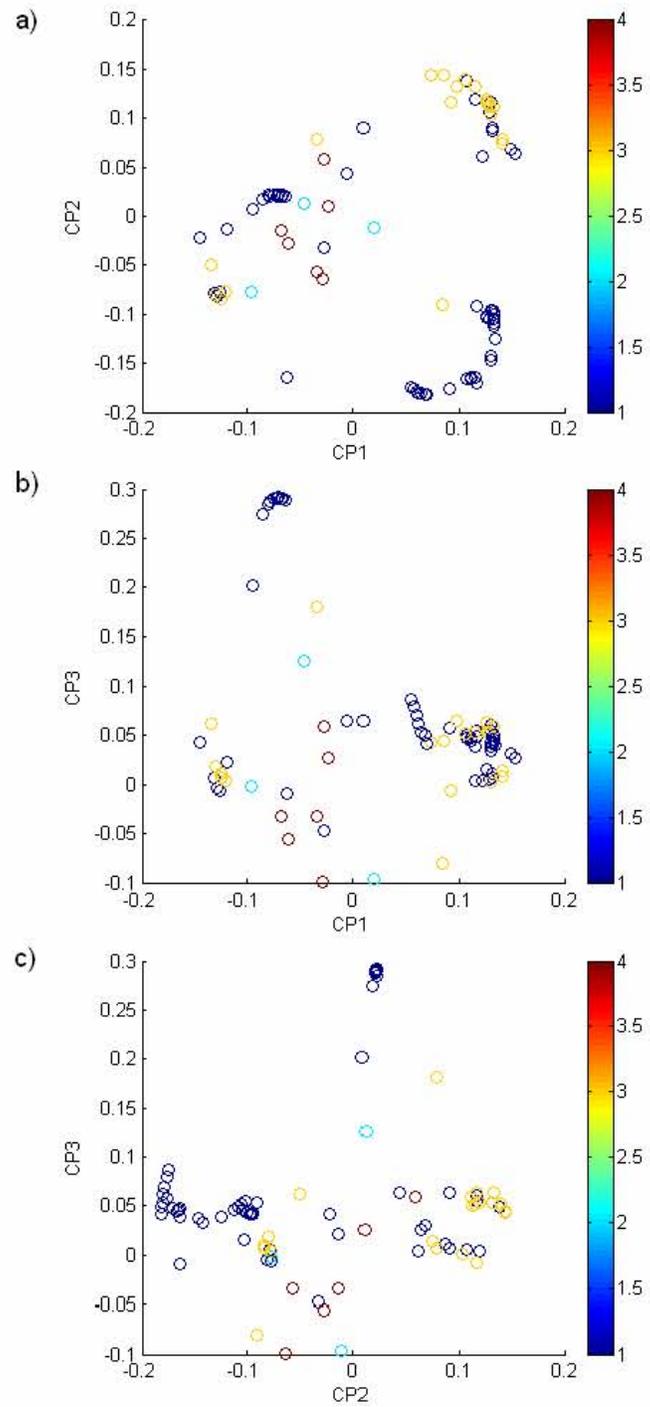


Figure 2. Valeurs de saturation (« loadings ») des indices avec les trois premières composantes principales. Les indices sont représentés par leur catégorie : 1 (bleu) = amplitude, 2 (turquoise) = fréquence, 3 (jaune) = durée, et 4 (rouge) = occurrence.

Les saturations ('loadings', ou corrélations avec les composantes principales) des indices avec les trois premières CP sont présentées dans la figure 2. On constate dans la première projection (CP1-CP2) que les valeurs des saturations tendent à être situées sur le périmètre d'un cercle de rayon $\sim 0,15$. Ce phénomène, connu sous le nom de « arching » en anglais, peut indiquer que l'ACP n'arrive pas créer des combinaisons linéaires bien distinctes les unes des autres. Un examen des figures 2b et 2c semble indiquer que ce phénomène est plus important pour CP1 que pour les deux autres composantes principales. Pour la CP1, les saturations les plus élevées sont obtenues pour des indices d'amplitude et de durée. Pour la CP2, ces mêmes deux catégories ont des saturations positives élevées. CP3 semble être positivement corrélée avec un groupe de neuf indices d'amplitude, et modérément corrélée (positivement et négativement) avec deux indices de fréquence.

La figure 3 énumère et délimite les régions hydrologiques du Québec (Centre d'Expertise Hydrique, Ministère du Développement Durable et des Parcs du Québec; 2009). Il est aussi possible de projeter les scores factoriels (coordonnées sur chaque composante principale) des stations dans les espaces des CP (figure 4). Ces projections permettent entre autres d'analyser la capacité des IH à discerner les régions hydrologiques. Les stations hydrométriques projetées dans l'espace des CP sont ensuite identifiées par leur région d'appartenance dans la figure 4. La CP1 semble indiquer que les régions 6 à 10 se distinguent des régions plus au Sud (1 à 5). La CP2 (qui est entre autres caractérisée par les saturations plus élevées pour des indices d'occurrence) révèle que la région 10 a un comportement particulier. La projection des scores factoriels dans l'espace CP2-CP3 (Figure 4c) permet de constater une certaine proximité dans le comportement hydrologique (reflété par les scores factoriels) des régions 5 et 6, entre autres.

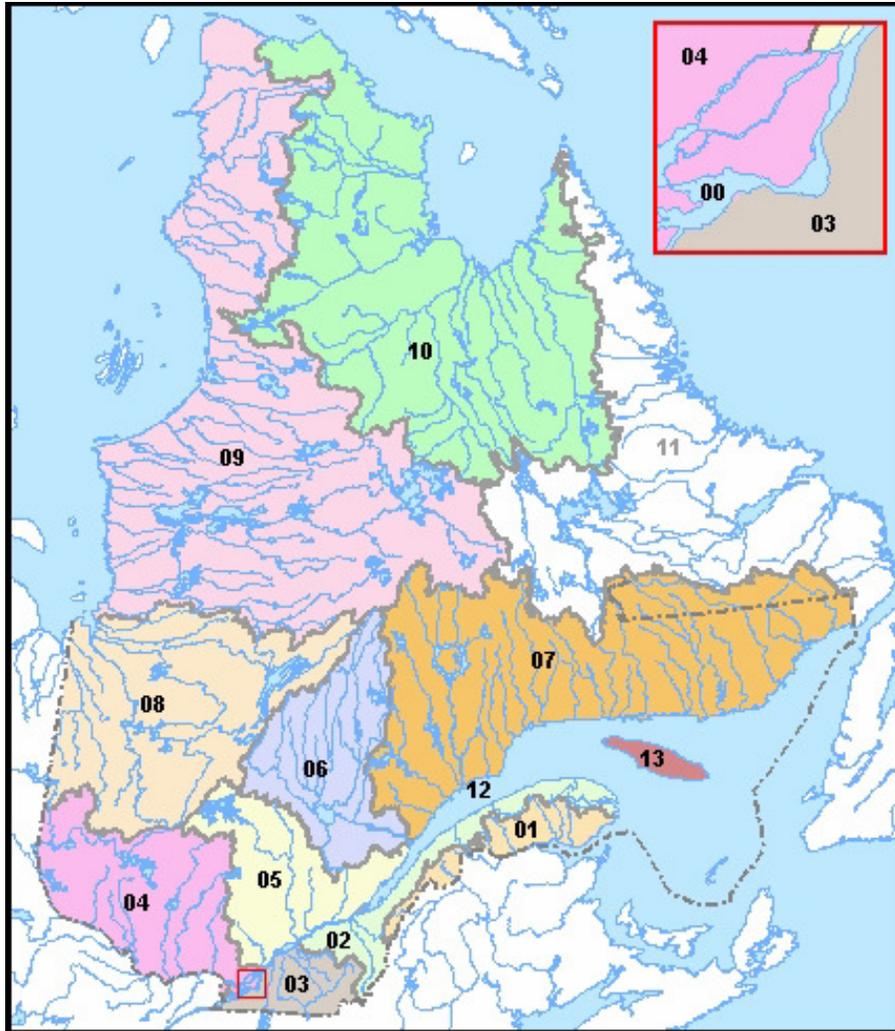
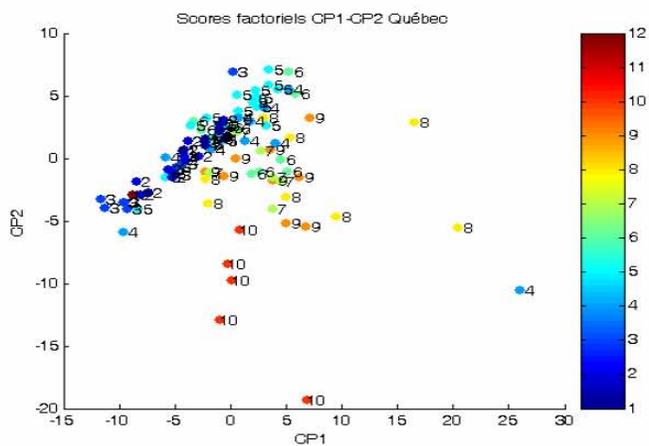


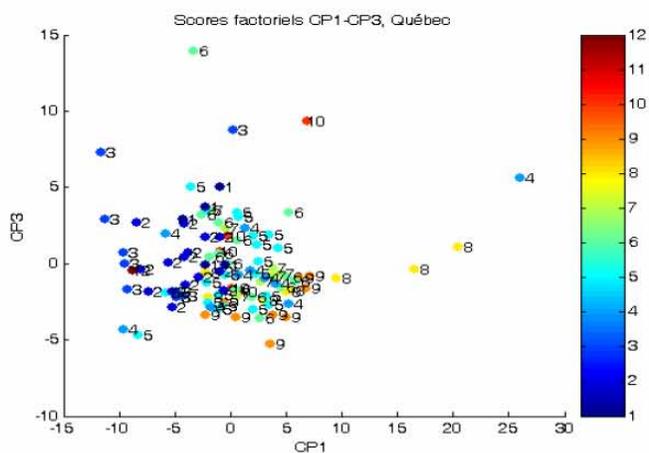
Figure 3. Régions hydrologiques du Québec

(source : <http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/default.asp>; accédé le 22 mars 2009).

a)



b)



c)

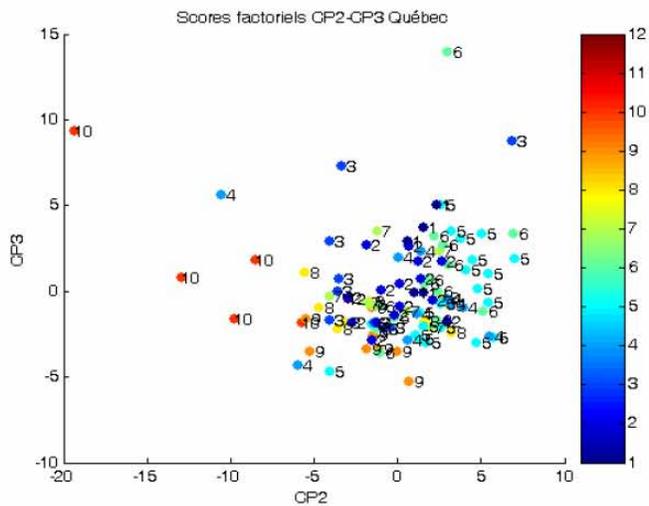


Figure 4. Scores factoriels des stations hydrométriques québécoises, avec identification des régions hydrologiques 1 à 12 (voir figure 3).

Il est aussi possible d'utiliser ces mêmes scores factoriels afin de faire de la prospection sur certaines variables physiographiques déterminantes pour l'hydrologie d'un cours d'eau. Ainsi, on peut reprendre les projections de la figure 4 pour évaluer si les scores factoriels sont liés à la superficie jaugée (figure 5). La projection des scores dans l'espace des deux premières CP semble démontrer l'évidence : la variance des IH est fortement modulée par la superficie du bassin versant. La figure 5a montre une séparation nette entre les bassins inférieurs à 20 000 km² et ceux qui dépassent cette superficie (bleu plus pâle).

Cette modulation permet d'ailleurs d'expliquer les dissidences les plus remarquables de la figure 4. La Rivière-des-Prairies, avec un score de 26 sur PC1, se distingue nettement des autres rivières de la région 4, qui présentent plutôt des scores de moins de 6. On constate sur la figure 5 que cette mise en exergue est cohérente avec le fait qu'il s'agit du plus grand bassin versant de notre base de données (146000 km²). Les dispersions des rivières des régions 8 et 10 selon les axes PC1 et PC2, respectivement, suivent clairement la dispersion des superficies des bassins versants correspondants. Il est tout aussi manifeste que l'occupation presque exclusive des portions centrale et inférieure droite de la figure 5a par les régions 8, 9 et 10 est due au fait que ces régions comprennent la presque totalité des rivières de bassins versants de superficies comprises entre 4000 et 50 000 km². Le cas de la rivière Métabetchouane est différent : bien qu'elle se distingue nettement des autres rivières de la région 6 par son score de 14 sur PC3, la superficie de son bassin versant se situe dans la même gamme de celles des autres rivières de la même région. Ce cas peut être indicateur du fait que les IH contribuant le plus à PC3 sont ceux qui sont les moins affectés par la superficie du bassin versant des rivières qu'ils caractérisent.

Cette hypothèse est appuyée par le fait que tous les indices de crue (« Indices of flood »), qui sont des rapports de débits de périodes de retour différentes et donc des indices pondérés pour la superficie du bassin versant, présentent des scores élevés ($>0,2$) sur PC3 (groupe des indices d'amplitude situés entre PC3 = 0,2 et 0,3 sur la figure 2b).

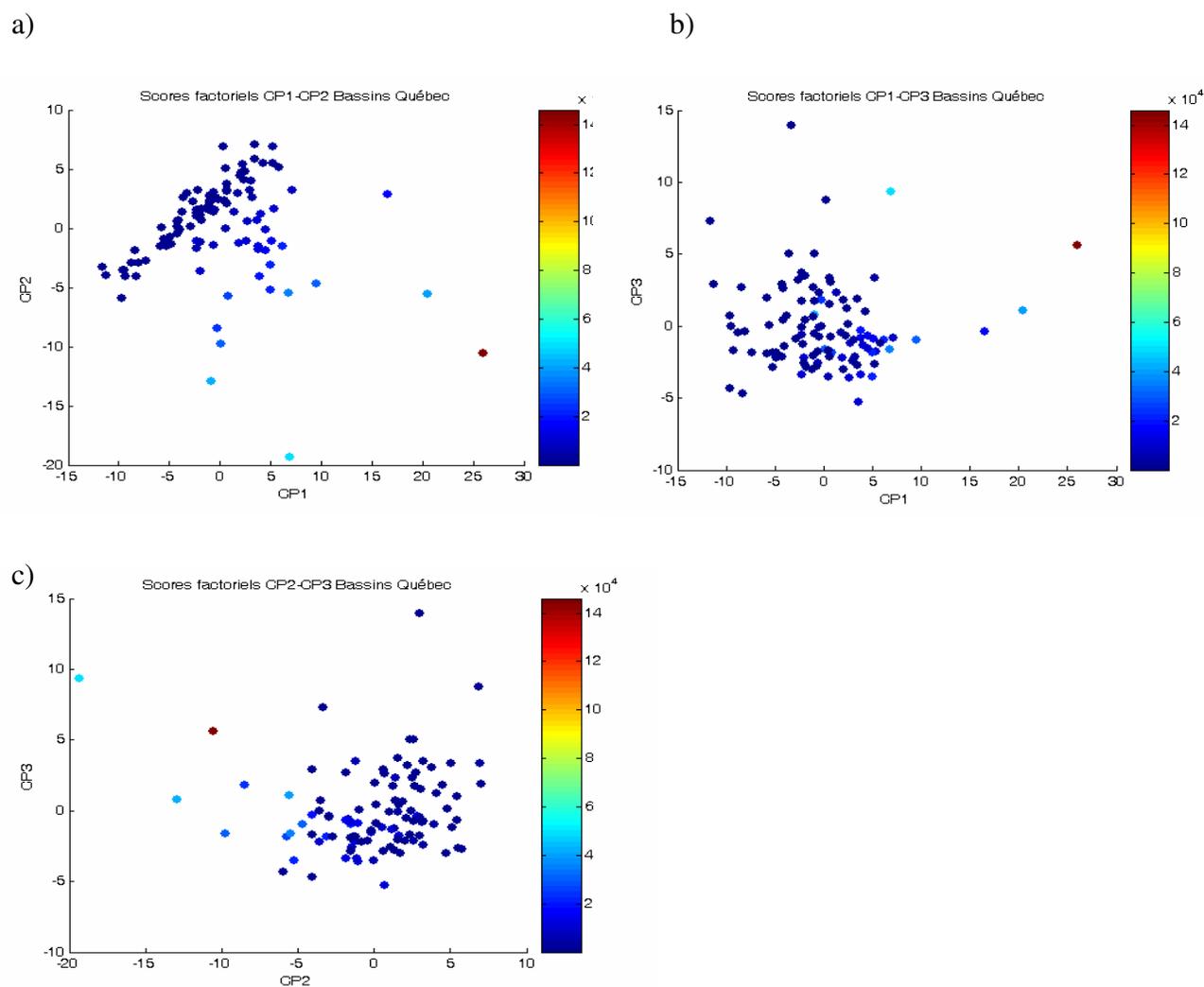


Figure 5. Scores factoriels des stations hydrométriques québécoises, avec identification des superficies jaugées.

3.2 Choix des indices d'altération hydrologique pour le Québec

L'ACP permet une sélection d'IHs jugés pertinents sur la base de la variance expliquée. La méthodologie utilisée a été décrite brièvement dans la section 2. Un nombre arbitraire d'IHs (15) est sélectionné à partir des saturations associées à CP1, CP2 et CP3. Le classement croissant des saturations est présenté dans la figure 6. Il faut noter que les saturations sont des valeurs de corrélation et conséquemment, elles peuvent être positives ou négatives. Les saturations les plus élevées en valeur absolue sont celles qui expliquent le plus de variance. Le nombre d'IHs sélectionnés à partir de chaque CP est proportionnel à la variance expliquée par chaque composante principale. Ainsi, sept IHs ont été sélectionnés à partir de CP1, qui explique 45% de la variance. Cinq IHs ont été sélectionnés à partir de CP2, qui explique 20% de la variance. Trois autres indices proviennent de CP3 (11% de la variance). Le tableau 2 donne la liste des IH ainsi sélectionnés pour le Québec.

Tableau 2. Indices d'altération hydrologique sélectionnés pour le Québec.

Composante principale	Indice	Catégorie
1	MA3	Amplitude
1	ML15	Amplitude
1	ML17	Amplitude
1	ML19	Amplitude
1	D3MIN50	Durée
1	CVANNMIN	Amplitude
1	DL10	Durée
2	QMF	Amplitude
2	QC2	Amplitude
2	MMID	Amplitude
2	DL5	Durée
2	DL14	Durée
2	DL15	Durée
3	CV7JDMIN	Occurrence
3	QC10/QC2	Amplitude

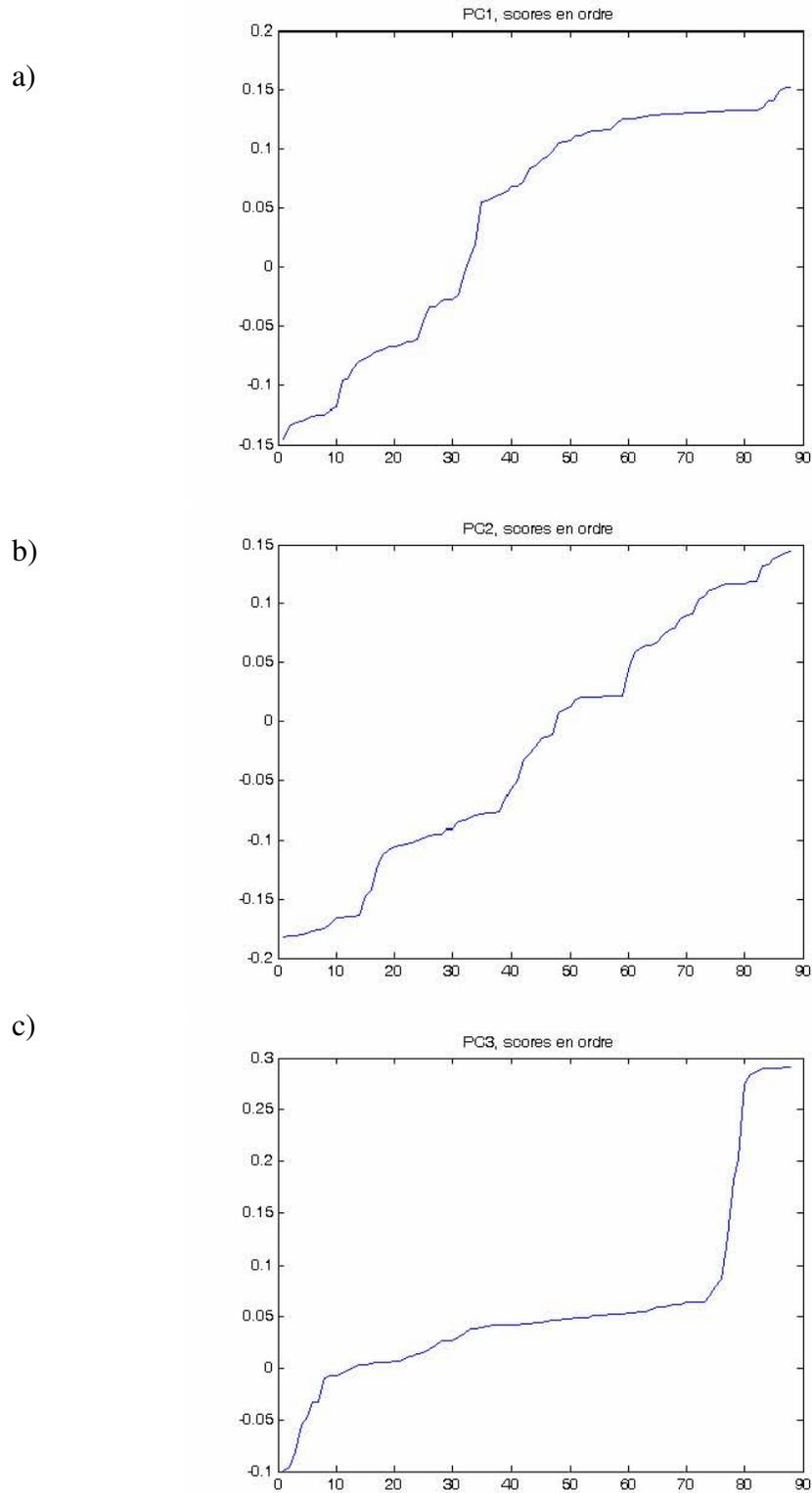


Figure 6. Valeurs de saturation mis en ordre pour sélectionner les indices d'altération hydrologique expliquant le plus de variance.

3.3. Analyse en composantes principales pour les stations de l'Atlantique.

Les analyses pour la région Atlantique suivent les mêmes étapes que celles présentées pour le Québec. L'analyse en composantes principales a été réalisée sur les mêmes 88 IH, calculés à partir des séries chronologiques de débits journaliers de 71 stations. La CP1 explique 37% de la variance, alors que la CP2 en explique 24% et la CP3 10% (figure 7). Comme dans le cas du Québec, les CP subséquentes expliquent moins de 10% de la variance et ne sont pas utilisées pour le choix des indices.

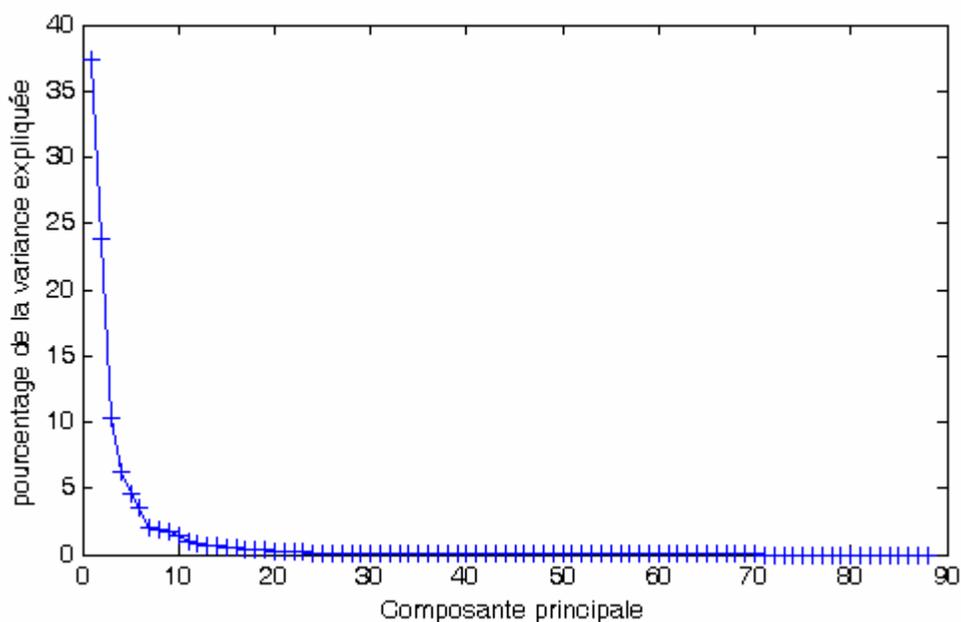


Figure 7. Variance expliquée par chaque composante principale calculée à partir des IH sur 71 stations hydrométriques des Provinces Atlantiques.

Les saturations projetées dans les espaces CP1-CP2, CP1-CP3 et CP2-CP3 sont présentées à la figure 8. Le phénomène de « Arching » est moins présent dans l'espace CP1-CP2 que dans le cas du Québec. Les composantes principales 1 et 2 semblent fortement corrélées avec un petit groupe d'indices d'amplitude dans le coin supérieur droit de la figure 8a. Plusieurs indices de durée (en jaune) ont aussi des saturations relativement élevées sur ces deux CP. La CP3 est aussi négativement corrélée avec un petit groupe d'indices d'amplitude (figure 8b et 8c).

Les scores factoriels des 71 stations ont été projetés avec la province d'appartenance de la station comme indicateur (figure 9). Dans l'espace CP1-CP2, la plupart des stations du Nouveau-Brunswick (NB) et de la Nouvelle-Écosse (NE) forment un large groupe. Les stations de l'Île-du-Prince-Édouard (IPE) et la majorité des stations de Terre-Neuve (NFL) se distinguent du groupe. De plus, une station du Nouveau-Brunswick (fleuve St-Jean, station 01AD002) semble aussi avoir un comportement singulier. Les projections dans les deux autres espaces confirment une certaine homogénéité pour les stations du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse. Une autre station singulière est identifiée sur la CP3 (station 02ZM006, *North East Pond River at Nor*, Terre-Neuve). Ces comportements singuliers sont liés à la superficie du bassin versant associée à ces stations. En effet, la figure 10 confirme que le fleuve St-Jean a le plus gros bassin versant parmi les sites étudiés (14700 km^2) tandis que la station 02ZM006 à Terre-Neuve draine un bassin de seulement $3,6 \text{ km}^2$, ce qui en fait le plus petit bassin versant. Comme dans le cas du Québec, la figure 10a permet de confirmer que la taille des bassins joue un rôle prépondérant dans la définition de l'espace CP1-CP2. Mises à part les deux valeurs singulières mentionnées, deux populations peuvent être identifiées : les petits bassins (superficie $< 1200 \text{ km}^2$) et les plus grands (entre 1200 et 6000 km^2). La CP3 semble moins influencée par la superficie du bassin versant, à l'exception de l'identification des deux horsains.

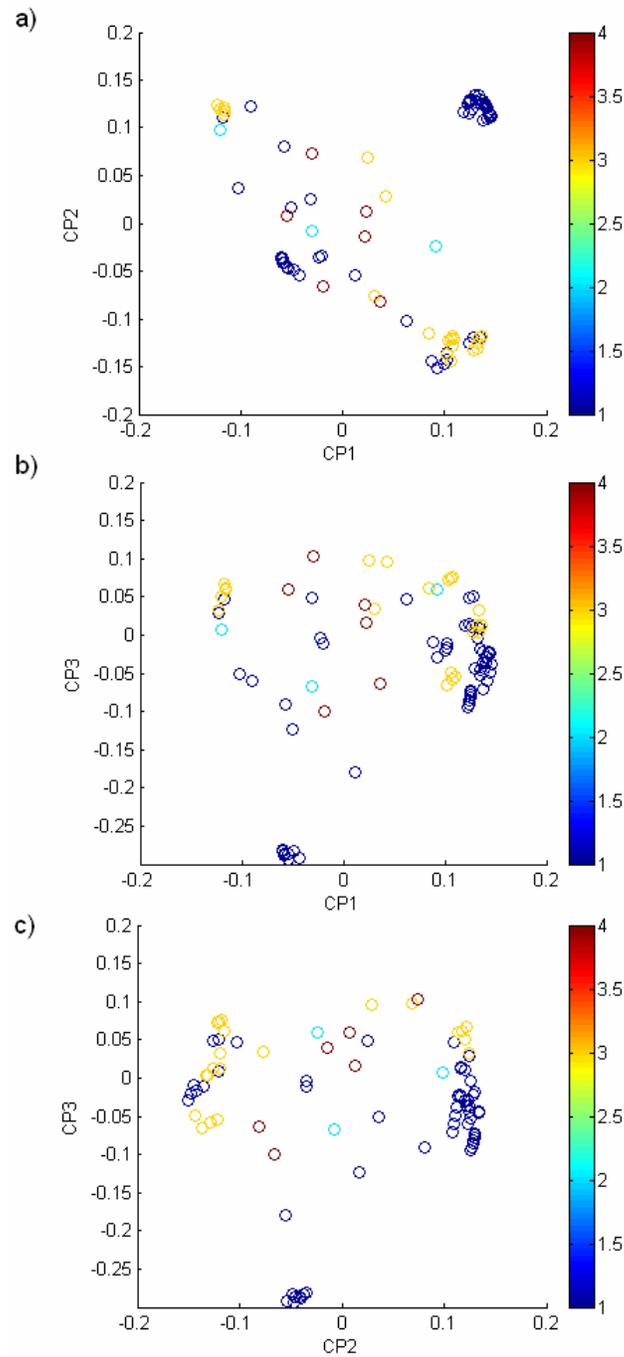


Figure 8. Valeurs de saturation (« loadings ») des indices avec les trois premières composantes principales pour les Provinces Atlantiques. Les indices sont représentées par leur catégorie : 1 (bleu) = Amplitude, 2 (turquoise) = Fréquence, 3 (jaune) = Durée, et 4 (rouge) = Occurrence.

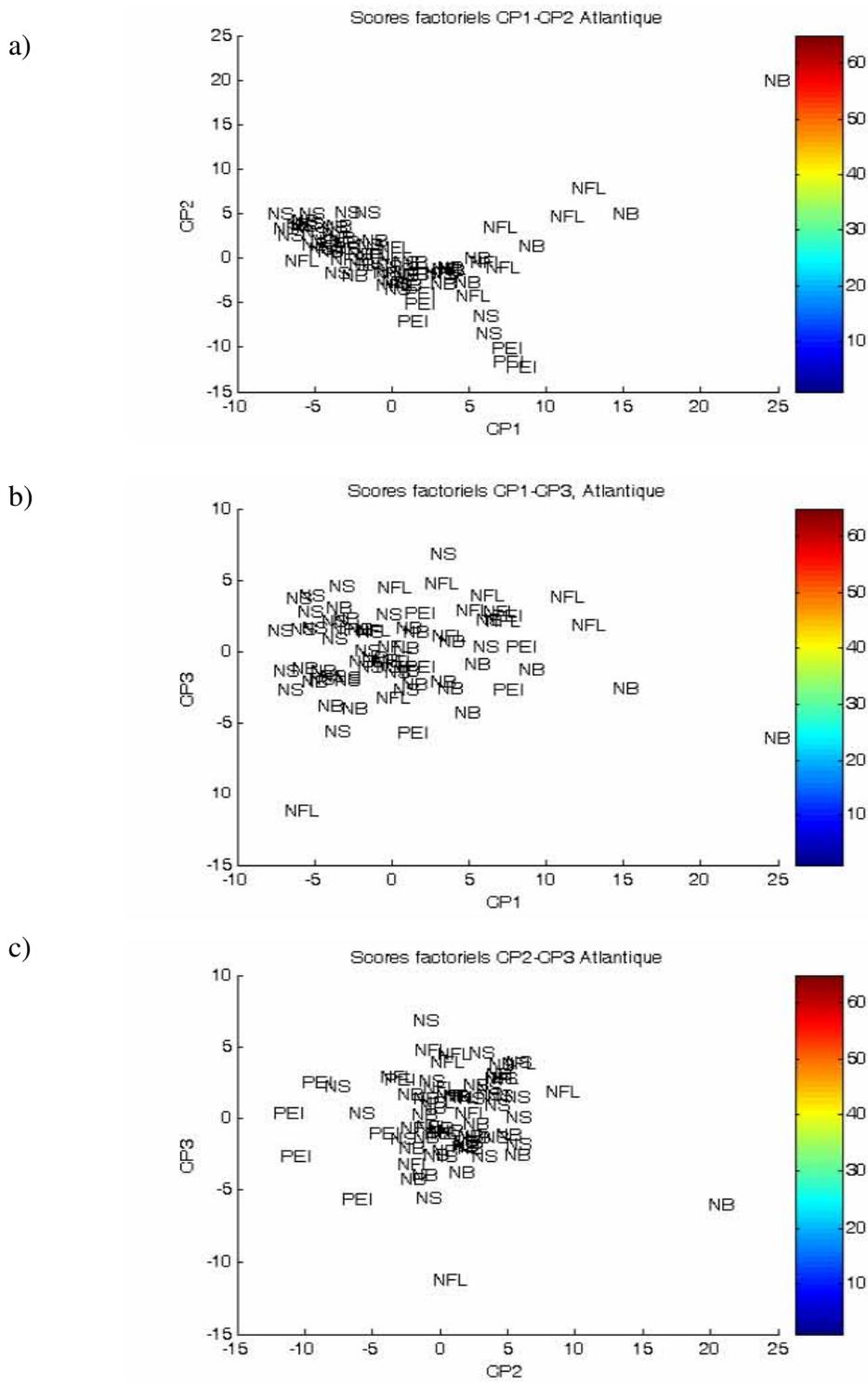
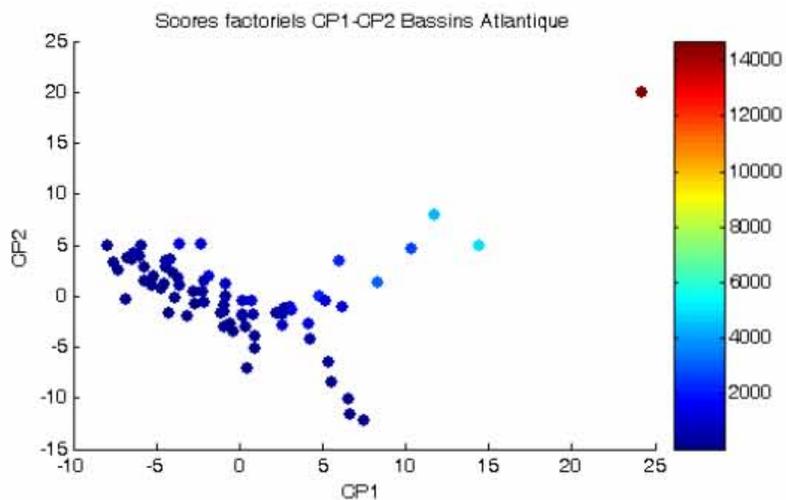
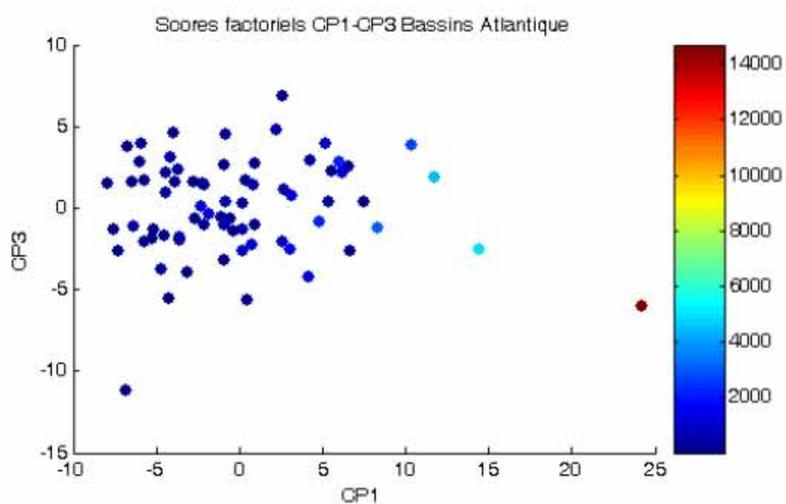


Figure 9 Scores factoriels des stations hydrométriques des Provinces Atlantiques, avec indication des provinces d'appartenance.

a)



b)



c)

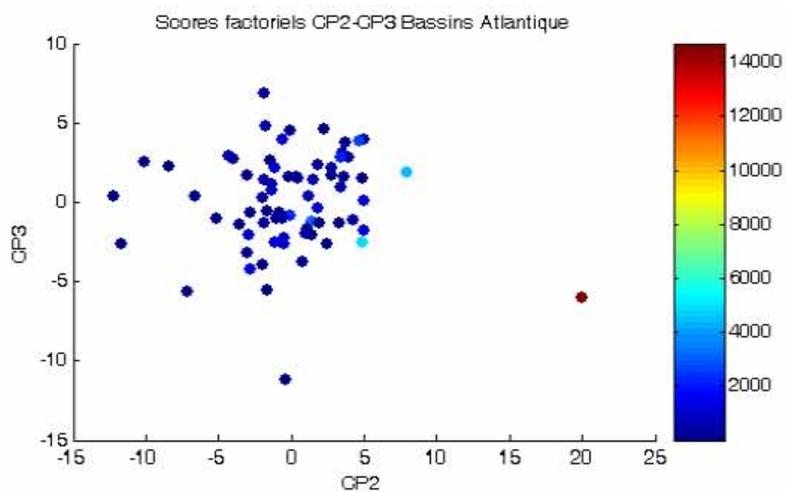


Figure 10. Scores factoriels des stations hydrométriques des Provinces Atlantiques, avec identification des superficies jaugées.

3.4 Choix des indices d'altération hydrologique pour les Provinces Atlantiques

Les saturations des IH pour les CP1, CP2 et CP3 des Provinces Atlantiques ont été mises en ordre croissant afin de sélectionner les indices qui expliquent le plus de variance. Le nombre d'indices sélectionnés à partir de chaque composante principale est proportionnel à la variance expliquée par chacune des CP. Ainsi, huit IH sont sélectionnés à partir de CP1, cinq à partir de CP2 et deux à partir de CP3. En suivant ce processus, on obtient douze indices plutôt que quinze car les indices MA1, ML4 et QC2 ont été sélectionnés sur CP1 et CP2. Les indices sélectionnés sont rapportés dans le tableau 3. Dans ce tableau, les IH qui apparaissent en gras sont ceux qui ont aussi été sélectionnés pour le Québec.

Tableau 3. Indices d'altération hydrologique sélectionnés pour les Provinces Atlantiques.

Composante principale	Indice	Catégorie
1 /2	MA1	Amplitude
1	MA2	Amplitude
1/2	ML4	Amplitude
1/2	QC2	Amplitude
1	CVANNMIN	Amplitude
1	DL10	Durée
1	DL9	Durée
1	FL3	Fréquence
2	IH15	Amplitude
2	IH16	Amplitude
3	QC20/QMF	Amplitude
3	CV7JDMIN	Occurrence

4.0 DISCUSSION ET CONCLUSION

Cette première étude des indices d'altération hydrologiques de l'Est du Canada a permis de procéder à une première sélection d'indices hydrologiques pertinents pour la caractérisation du régime naturel des cours d'eau. En se limitant à un nombre relativement petit d'indices (15 au Québec et 13 en Atlantique), on remarque que dans chaque cas, l'approche multivariée donne préséance aux indices d'amplitude. Cela s'explique en grande partie par le fait que 62 indices sur 88 caractérisent l'amplitude du débit. La prépondérance des indices d'amplitude dans la base de données originale fait en sorte que ces indices expliquent plus de variance que les autres. Nonobstant ce constat, l'ACP a permis de sélectionner cinq indices de durée et un d'occurrence au Québec, tandis que deux indices de durée, un d'occurrence et un de fréquence ont été sélectionnés pour la région Atlantique.

Seulement trois indices sont communs au Québec et aux Provinces Atlantiques. Il s'agit du débit de crue de période de retour 2 ans (QC2), qui est souvent associé au débit plein bord. Cette variable est jugée prépondérante dans la caractérisation des habitats aquatiques en rivière (e.g. Bartz et al., 2006). Le second est l'indice de durée DL10, qui correspond au coefficient de variation du débit minimum de durée 90 jours. Finalement, l'indice CV7JDMIN est commun aux deux grandes régions. Cet indice est défini comme étant le coefficient de variation du débit d'étiage de durée 7 jours. Il n'est pas surprenant que les indices de variabilité soient mis en exergue par l'ACP, puisque ce type d'analyse est basé sur le concept de la maximisation de la variance expliquée. Le nombre relativement faible d'indices communs aux deux régions

s'explique en partie par le fait que les bassins versants des provinces Atlantiques sont plus petits (moyenne des superficies jaugées = 860 km², écart-type = 1919 km²) que ceux du Québec (moyenne des superficies jaugées = 7626 km², écart-type = 17031 km²). Dans les deux cas, l'ACP semble indiquer que la taille des bassins permet de considérer deux sous-populations de rivières. Au Québec, la superficie qui pourrait servir de seuil pour passer d'une population à l'autre est de l'ordre de 6000 km², tandis que la superficie séparant les deux populations pour les provinces Atlantiques est de l'ordre de 1200 km². Il serait intéressant de refaire les analyses sur ces sous-populations.

Le fait qu'une majorité des indices consistent en des indices d'amplitude non spécifiques (non pondérés par la taille du bassin versant) explique aussi que les axes CP1 et CP2 soient à ce point descripteurs de la superficie du bassin versant. Une analyse menée uniquement à partir d'indices spécifiques permettrait sans doute de réduire la prépondérance des indices d'amplitude et de faire ressortir des indices des trois autres catégories.

L'ACP n'a pas toujours permis d'obtenir un discernement clair entre les indices sélectionnés par les différentes composantes principales. Cette constatation est plus évidente dans le cas des Provinces Atlantiques, pour lesquelles deux indices ont été sélectionnés à la fois par la CP1 et la CP2. De plus, certains indices sélectionnés sont très semblables. Ainsi, MA1 et MA2 sont respectivement le débit moyen interannuel et le débit médian interannuel. Ces deux indices caractérisent la tendance centrale de la distribution des débits. Qui plus est, dans le cas de distributions relativement symétriques, ces valeurs risquent d'être assez semblables. Il en va de

même pour ML15, ML17 et ML19, qui sont tous des rapports de débits d'étiages (de différentes durées) sur le débit moyen. Il serait donc probablement redondant d'utiliser conjointement ces trois indices.

En conclusion, la méthode présentée dans le présent projet s'avère prometteuse dans la mesure où elle peut permettre à l'hydrologue de faire un premier choix basé sur le critère objectif de maximisation de la variance expliquée. Cependant, la sélection finale des IH devra aussi inclure une analyse hydrologique des indices présélectionnés par l'approche, afin de minimiser le risque d'utilisation d'information redondante et afin de s'assurer qu'aucune des caractéristiques principales de la variabilité hydrologique n'est oubliée.

5. REFERENCES

Benyahya, L. A. Daigle, D. Caissie, D. Beveridge, A. St-Hilaire. 2009. Caractérisation du régime naturel du débit des bassins versants de l'Est du Canada. Centre d'expertise sur l'hydroélectricité et ses impacts sur le poisson et l'habitat du poisson (CHIP)- Ministère des Pêches et des Océans, Rapport, 89p.

Bartz, K.K., K.M. Lagueux, M.D. Scheuerell, T. Beechie, A.D. Haas, M.H. Ruckelshaus. 2006. Translating restoration scenarios into habitat conditions: an initial step in evaluating recovery strategies for Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 63: 1578-1595.

Caissie, D., N. El-Jabi. 2003. Instream flow assessment: from holistic approaches to habitat modelling. *Canadian Water Resources Journal* 28(2): 173-183.

Hersh, R. S., Maidment, D. R. 2006. Assessment of Hydrologic Alteration Software, CRWR Online Report 06-11, The University of Texas at Austin.

Leclerc, M., St-Hilaire, A. and J. Bechara 2003. State-of-the Art and perspectives of habitat modelling for determining conservation flows. *Canadian Water Resources Journal*, 28(2) :135-152.

Monk, W. A., Wood, P. J., Hannah, D. M., Wilson, D. A., Extence, C. A., Chadd, R. P. 2006. Flow Variability and Macroinvertebrate Community Response Within Riverine Systems, *River Research and Applications*, 22, 595.

Monk, W.A., P.J. Wood, D.M. Hannah, D.A. Wilson. 2007. Selection of river flow indices for the assessment of hydroecological change. *River Research and Applications* 23: 113-112.

Olden J.D., N.L. Poff. 2003. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. *River Research and Applications* 19: 101-121.

Poff N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks, J.C. Stromberg. 1997. The natural flow regime. *BioScience* 47: 769-784.

Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* 1(4) : 6-10.

ANNEXE A: LISTE DES STATIONS INCLUSES DANS L'ÉTUDE

Numéro station Fédéral	Numéro station provincial	Nom	Province	Superficie drainée (km ²)
01BH007	010101	GRANDE-RIVIERE OUEST	Québec	534
01BG009	010802	BONAVENTURE	Québec	1910
01BG005	011003	CASCAPÉDIA	Québec	1680
01BF001	011201	NOUVELLE (RIVIERE) AU PONT	Québec	1140
01BD002	011507	MATAPEDIA (RIVIERE) EN AMONT DE LA RIVIERE ASSEMETQUAGAN	Québec	2760
01BH010	020404	YORK	Québec	659
02QC014	020502	RENARD (PETITE RIVIERE AU) PRES DE L'EMBOUCHURE	Québec	59.8
01BH005	020602	DARTMOUTH	Québec	645
02QC001	020802	MADELEINE (RIVIERE) A RIVIERE-LA-MADELEINE	Québec	1200
02QC009	021407	SAINTE-ANNE	Québec	774
02QB011	021502	CAP CHAT (RIVIERE) A CAP-CHAT	Québec	721
02QA017	021915	NEIGETTE (RIVIERE)	Québec	492

02QA002	022003	RIMOUSKI	Québec	1610
02PG006	022507	DU LOUP	Québec	525
02PG022	022704	OUELLE	Québec	795
02PH012	023002	BOYER SUD	Québec	61.9
02PJ007	023401	BEAURIVAGE	Québec	709
02PJ030	023422	FAMINE	Québec	691
02PL005	024003	BÉCANCOUR	Québec	919
02PL009	024013	BÉCANCOUR	Québec	227
02OD003	030103	NICOLET	Québec	1540
02OE027	030234	EATON	Québec	642
02OE032	030282	AU SAUMON	Québec	738
02OG007	030309	YAMASKA NORD	Québec	139
02OG026	030316	DAVID	Québec	316
02OJ024	030415	DES HURONS	Québec	309
02OH008	030420	AUX BROCHETS	Québec	404
02OJ026	030421	L'ACADIE	Québec	345
02OA057	030907	DES ANGLAIS	Québec	643
02LC043	040212	SAINT-LOUIS	Québec	39.9
02LD005	040406	DE LA PETITE NATION	Québec	1330
02LH004	040814	PICANOC (RIVIERE) PRES DE WRIGHT	Québec	1290
02LG005	040830	GATINEAU	Québec	6840
02KJ004	041902	DUMOINE	Québec	3 760
02KJ003	041903	DUMOINE (RIVIERE) AU LAC	Québec	2110

		DUMOINE		
02KJ007	042607	KIPAWA (RIVIERE) AU LAC DUMOINE	Québec	2110
02JB009	043003	DES OUTAOUAIS	Québec	10 300
02JB013	043012	KINOJÉVIS	Québec	2590
02OA004	043301	DES PRAIRIES	Québec	146 000
02NF003	050119	MATAWIN	Québec	1390
02NE011	050135	CROCHE	Québec	1570
02PA007	050304	BATISCAN	Québec	4480
02PB019	050408	SAINTE-ANNE	Québec	1 550
02PB006	050409	BRAS DU NORD (RIV. SAINTE- ANNE)	Québec	642
02PC009	050701	PORTNEUF (RIVIERE) PRES DE PORTNEUF	Québec	355
02PC002	050801	JACQUES-CARTIER	Québec	2 010
02PC010	050807	ONTARITZI	Québec	213
02PC019	050812	AUX POMMES	Québec	102
02PD010	050904	SAINT-CHARLES	Québec	357
02PD002	051001	MONTMORENCY	Québec	1100
02PD012	051002	DES EAUX VOLÉES	Québec	3.94
02PD013	051003	DES EAUX VOLÉES	Québec	9.17
02PD014	051004	DES AULNAIES	Québec	1.22
02PD015	051007	DES AULNAIES	Québec	3.57
02PF001	051502	MALBAIE	Québec	1 700
02OB017	052212	OUAREAU	Québec	1 270

02OB008	052219	L'ASSOMPTION	Québec	1 340
02OB037	052233	DE L'ACHIGAN	Québec	647
02OC002	052601	MASKINONGÉ	Québec	1 030
02OC004	052805	DU LOUP	Québec	774
02RH049	060101	PETIT SAGUENAY (RIVIERE)	Québec	736
02RH015	061004	CHICOUTIMI	Québec	3 390
02RH035	061020	AUX ÉCORCES	Québec	1 110
02RH027	061022	PIKAUBA	Québec	495
02RG005	061502	MÉTABETCHOUANE	Québec	2 280
02RG008	061602	OUIATCHOUAN	Québec	562
02RC011	061801	PETITE PÉRIBONCA	Québec	1 090
02RF001	061901	ASHUAPMUSHUAN	Québec	15 300
02RF002	061905	ASHUAPMUSHUAN	Québec	11 100
02RD002	062101	MISTASSIBI (RIVIERE)	Québec	9320
02RD003	062102	MISTASSINI	Québec	9 870
02RB004	062209	MANOUANE	Québec	1 717
02RH045	062701	VALIN	Québec	746
02RH047	062802	SAINTE-MARGUERITE NORD-EST(RIVIERE) PRES DE LA RIV. STE.MARGUERITE-1	Québec	1100
02UA003	071401	GODBOUT	Québec	1570
02UC002	072301	MOISIE	Québec	19000
02VB004	073503	MAGPIE	Québec	7230
02VC001	073801	ROMAINE	Québec	13000

02WA001	074601	NABISIPI (RIVIERE)	Québec	2060
02WB003	074903	NATASHQUAN	Québec	15600
02XC001	076601	SAINT-PAUL	Québec	6630
04NA001	080101	HARRICANA	Québec	3680
04NB001	080104	TURGEON (RIVIERE) EN AMONT DE LA RIVIERE HARRICANA	Québec	11200
03AC004	080707	BELL	Québec	22200
03AB002	080718	WASWANUPI	Québec	31900
03BD002	080809	BROADBACK	Québec	9 820
03BC002	081002	RUPERT (RIVIERE DE) EN AVAL DU LAC NEMISCAU	Québec	40900
03BB002	081007	RUPERT (RIVIERE DE) ET LE CHENAL CHIPASTOUC	Québec	18100
03BF001	081101	PONTAX	Québec	6090
03CB004	090613	EASTMAIN (RIVIERE) A LA TETE DE LA GORGE PROSPER	Québec	21400
03DD002	092715	DE PONTOIS (RIVIERE) EN AMONT DE LA RIVIERE SAKAMI	Québec	13200
03ED001	093801	GRANDE RIVIÈRE DE LA BALEINE	Québec	36300
03EC001	093804	DENYS (RIVIERE) PRES DE LA GRANDE RIVIERE DE LA BALEINE	Québec	4660
03ED004	093805	COATS (RIVIERE) PRES DE LA GRANDE RIVIERE DE LA BALEINE	Québec	7280
03EA001	093806	BALEINE (GRANDE RIVIERE DE LA) A LA SORTIE DU LAC BIENVILLE	Québec	21000

03FC008	094206	BALEINE (PETITE RIVIERE DE LA) EN AMONT DU CHENAL ANCEL	Québec	10400
03FC007	094207	BOUTIN (RIVIERE) A LA SORTIE DES LAC MOLLET-2	Québec	10400
03FA003	095003	LAC DES LOUPS MARINS	Québec	8 390
03HA001	102001	ARNAUD (PAYNE)(RIVIERE) EN AMONT DE LA RIVIERE HAMELIN-1	Québec	26900
03KC004	103605	AUX MÉLÈZES	Québec	42700
03LF002	103702	CANIAPISCAU	Québec	48500
03MB002	104001	À LA BALEINE	Québec	29800
03MD001	104803	GEORGE	Québec	24200
02PE014	120201	DAUPHINE	Québec	30
01AD002	n/a	SAINT JOHN	Nouveau- Brunswick	14700
01AD003	n/a	ST. FRANCIS	Nouveau- Brunswick	1350
01AG002	n/a	LIMESTONE S	Nouveau- Brunswick	199
01AJ003	n/a	MEDUXNEKEAG	Nouveau- Brunswick	1210
01AK001	n/a	SHOGOMOC ST	Nouveau- Brunswick	234
01AK005	n/a	MIDDLE BRAN	Nouveau- Brunswick	26.9
01AL002	n/a	NASHWAAK RI	Nouveau- Brunswick	1450
01AM001	n/a	NORTH BRANC	Nouveau-	557

			Brunswick	
01AP002	n/a	CANAAN RIVE	Nouveau-Brunswick	668
01AP004	n/a	KENNEBECASI	Nouveau-Brunswick	1100
01AQ001	n/a	LEPREAU RIV	Nouveau-Brunswick	239
01BC001	n/a	RESTIGOUCHE	Nouveau-Brunswick	3160
01BE001	n/a	UPSALQUITCH	Nouveau-Brunswick	2270
01BJ001	n/a	TETAGOUCHE	Nouveau-Brunswick	363
01BJ003	n/a	JACQUET RIV	Nouveau-Brunswick	510
01BL001	n/a	BASS RIVER	Nouveau-Brunswick	175
01BO001	n/a	SOUTHWEST M	Nouveau-Brunswick	5050
01BO002	n/a	RENOUS RIVE	Nouveau-Brunswick	611
01BP001	n/a	LITTLE SOUT	Nouveau-Brunswick	1340
01BP002	n/a	CATAMARAN B	Nouveau-Brunswick	28.7
01BQ001	n/a	NORTHWEST M	Nouveau-Brunswick	948
01BS001	n/a	COAL BRANCH	Nouveau-	166

			Brunswick	
01BV006	n/a	POINT WOLFE	Nouveau-Brunswick	130
01DC005	n/a	ANNAPOLIS R	Nouvelle-Écosse	546
01DC007	n/a	ANNAPOLIS R	Nouvelle-Écosse	1020
01DG003	n/a	BEAVERBANK	Nouvelle-Écosse	96.9
01DH003	n/a	FRASER BROO	Nouvelle-Écosse	10.1
01DL001	n/a	KELLEY RIVE	Nouvelle-Écosse	63.2
01DN004	n/a	WALLACE RIV	Nouvelle-Écosse	298
01DO001	n/a	RIVER JOHN	Nouvelle-Écosse	249
01DP004	n/a	MIDDLE RIVE	Nouvelle-Écosse	92.2
01DR001	n/a	SOUTH RIVER	Nouvelle-Écosse	177
01EC001	n/a	ROSEWAY RIV	Nouvelle-Écosse	495
01ED007	n/a	MERSEY RIVE	Nouvelle-Écosse	295
01EF001	n/a	LAHAVE RIVE	Nouvelle-Écosse	1250
01EG002	n/a	GOLD RIVER	Nouvelle-Écosse	370
01EJ001	n/a	SACKVILLE R	Nouvelle-Écosse	146
01EK001	n/a	MUSQUODOBOI	Nouvelle-Écosse	650
01EN002	n/a	LISCOMB 389	Nouvelle-Écosse	389
01EO001	n/a	ST. MARYS R	Nouvelle-Écosse	1350
01ER001	n/a	CLAM HARBOU	Nouvelle-Écosse	45.1
01FA001	n/a	RIVER INHAB	Nouvelle-Écosse	193
01FB001	n/a	NORTHEAST M	Nouvelle-Écosse	368
01FB003	n/a	SOUTHWEST M	Nouvelle-Écosse	357

01FC002	n/a	CHETICAMP R	Nouvelle-Écosse	190
01FD001	n/a	WRECK COVE	Nouvelle-Écosse	31
01FE002	n/a	INDIAN BROO	Nouvelle-Écosse	125
01FH001	n/a	GRAND RIVER	Nouvelle-Écosse	120
01FJ002	n/a	MACASKILLS	Nouvelle-Écosse	17.2
01CA003	n/a	CARRUTHERS	Ile-du-Prince-Édouard	46.8
01CB002	n/a	DUNK RIVER	Ile-du-Prince-Édouard	114
01CB004	n/a	WILMOT RIVE	Ile-du-Prince-Édouard	45.4
01CC002	n/a	WINTER RIVE	Ile-du-Prince-Édouard	37.5
01CC005	n/a	WEST RIVER	Ile-du-Prince-Édouard	70.1
01CD005	n/a	BEAR RIVER	Ile-du-Prince-Édouard	14.8
02YA002	n/a	BARTLET	Terre-Neuve	33.6
02YC001	n/a	TORRENT RIVER AT BRISTOL'S	Terre-Neuve	624
02YD001	n/a	BEAVER BROOK NEAR RODDICKTO	Terre-Neuve	237
02YK002	n/a	LEWASEECHJEECH BROOK AT LIT	Terre-Neuve	470
02YK004	n/a	HINDS BROOK NEAR GRAND LAKE	Terre-Neuve	529
02YL001	n/a	UPPER HUMBER RIVER NEAR REI	Terre-Neuve	2110
02YQ001	n/a	GANDER RIVER AT BIG CHUTE N	Terre-Neuve	4450
02YR001	n/a	MIDDLE BROOK NEAR GAMBO NL	Terre-Neuve	275

02YS001	n/a	TERRA NOVA RIVER AT EIGHT M	Terre-Neuve	1290
02ZB001	n/a	ISLE AUX MORTS RIVER BELOW	Terre-Neuve	205
02ZE001	n/a	SALMON RIVER AT LONG POND N	Terre-Neuve	2640
02ZF001	n/a	BAY DU NORD RIVER AT BIG FA	Terre-Neuve	1170
02ZG001	n/a	GARNISH RIVER NEAR GARNISH	Terre-Neuve	205
02ZH001	n/a	PIPERS HOLE RIVER AT MOTHER	Terre-Neuve	764
02ZK001	n/a	ROCKY RIVER NEAR COLINET NL	Terre-Neuve	301
02ZM006	n/a	NORTHEAST POND RIVER AT NOR	Terre-Neuve	3.63

ANNEXE B: DÉFINITION DES INDICES (EN ANGLAIS)

AMPLITUDE		
1	MA1	Mean of the daily mean flow values for the entire flow record (m ³ /s)*.
2	MA2	Median of the daily mean flow values for the entire flow record (m ³ /s).
3	MA3	Mean (or median - Use Preference option) of the coefficients of variation (standard deviation/mean) for each year. Compute the coefficient of variation for each year of daily flows. Compute the mean of the annual coefficients of variation (percent - temporal).
4	QMA/SBV	Specific mean annual flow (L/s/km ²).
5	CMA	Mean annual flood (m ³ /s).
6	EMA	Mean annual low-flow (m ³ /s).
7	ML1	Mean of the minimums of all January flow values over the entire record (m ³ /s)
8	ML2	Mean of the minimums of all February flow values over the entire record (m ³ /s)
9	ML3	Mean of the minimums of all March flow values over the entire record (m ³ /s)
10	ML4	Mean of the minimums of all April flow values over the entire record (m ³ /s)
11	ML5	Mean of the minimums of all May flow values over the entire record (m ³ /s)
12	ML6	Mean of the minimums of all June flow values over the entire record (m ³ /s)
13	ML7	Mean of the minimums of all July flow values over the entire record (m ³ /s)
14	ML8	Mean of the minimums of all August flow values over the entire record (m ³ /s)
15	ML9	Mean of the minimums of all September flow values over the entire record (m ³ /s)
16	ML10	Mean of the minimums of all October flow values over the entire record (m ³ /s)
17	ML11	Mean of the minimums of all November flow values over the entire record (m ³ /s)
18	ML12	Mean of the minimums of all December flow values over the entire record (m ³ /s)
19	ML13	Variability (coefficient of variation) across minimum monthly flow values. Compute the mean and standard deviation for the minimum monthly flows over the entire flow record. ML13 is the standard deviation times 100 divided by the mean minimum monthly flow for all years (percent).
20	ML14	Compute the minimum annual flow for each year. ML14 is the mean of the ratios of minimum annual flows to the median flow for each year (dimensionless).

21	ML15	Low flow index. ML15 is the mean of the ratios of minimum annual flows to the mean flow for each year (dimensionless).
22	ML16	Median of annual minimum flows. ML16 is the median of the ratios of minimum annual flows to the median flow for each year (dimensionless).
23	ML17	Base flow. Compute the mean annual flows. Compute the minimum of a 7-day moving average flow for each year and divide them by the mean annual flow for that year. ML17 is mean of those ratios (dimensionless).
24	ML18	Variability in base flow index 1. Compute the standard deviation for the ratios of minimum 7-day moving average flows to mean annual flows for each year. ML18 is the standard deviation times 100 divided by the mean of the ratios. (percent)
25	ML19	Base flow. Compute the ratios of the minimum annual flow to mean annual flow for each year. ML19 is the mean of these ratios times 100 (dimensionless).
26	ML20	Base flow. Divide the daily flow record into 5-day blocks after removing zero flow values. Find the minimum flow for each block. Assign the minimum flow as a base flow for that block if 90% of that minimum flow is less than the minimum flows for the blocks on either side. Otherwise, set it to zero. Fill in the zero values using linear interpolation. Compute the total flow for the entire record and the total base flow for the entire record. ML20 is the ratio of total base flow to total flow (dimensionless).
27	BFI	Baseflow index, i.e. ratio of the lowest annual monthly discharge to the mean annual discharge (dimensionless).
28	IHA13	Average annual 1-day minimum (m ³ /s).
29	IHA14	Average annual 3-day minimum (m ³ /s).
30	IHA15	Average annual 7-day minimum (m ³ /s).
31	IHA16	Average annual 30-day minimum (m ³ /s).
32	IHA17	Average annual 90-day minimum (m ³ /s).
33	IHA23	Number of zero-flow days (dimensionless).
34	MMID	Minimum annual monthly discharge (m ³ /s).
35	CVANNMIN	Coefficient of variation of ML1 to ML12.
36	CVANNMIN Jul-Sept	Coefficient of variation of ML7 to ML9.
37	QC2	2-year flood (m ³ /s).
38	QC5	5-year flood (m ³ /s).
39	QC10	10-year flood (m ³ /s).
40	QC20	20-year flood (m ³ /s).
41	QC50	50-year flood (m ³ /s).
42	QC100	100-year flood (m ³ /s).
43	QC5/QC2	Index of flood for recurrence interval of 5 years (2-year flood used as the index).

44	QC10/QC2	Index of flood for recurrence interval of 10 years (2-year flood used as the index).
45	QC20/QC2	Index of flood for recurrence interval of 20 years (2-year flood used as the index).
46	QC50/QC2	Index of flood for recurrence interval of 50 years (2-year flood used as the index).
47	QC100/QC2	Index of flood for recurrence interval of 100 years (2-year flood used as the index).
48	QC5/CMA	Index of flood for recurrence interval of 5 years (mean annual flood used as the index).
49	QC10/CMA	Index of flood for recurrence interval of 10 years (mean annual flood used as the index).
50	QC20/CMA	Index of flood for recurrence interval of 20 years (mean annual flood used as the index).
51	QC50/CMA	Index of flood for recurrence interval of 50 years (mean annual flood used as the index).
52	QC100/QMF	Index of flood for recurrence interval of 100 years (mean annual flood used as the index).
53	QE2	2-year low-flow (m ³ /s).
54	QE5	5-year low-flow (m ³ /s).
55	QE10	10-year low-flow (m ³ /s).
56	QE20	20-year low-flow (m ³ /s).
57	QE50	50-year low-flow (m ³ /s).
58	Q90	Flow exceeded 90% of the time (m ³ /s).
FREQUENCY		
59	FL1	Low flood pulse count. Compute the average number of flow events with flows below a threshold equal to the 25th percentile value for the entire flow record. FL1 is the average number of events (number of events/year).
60	FL2	Variability in low pulse count. Compute the standard deviation in the annual pulse counts for FL1. FL2 is 100 times the standard deviation divided by the mean pulse count (percent).
61	FL3	Frequency of low pulse spells. Compute the average number of flow events with flows below a threshold equal to 5% of the mean flow value for the entire flow record. FL3 is the average number of events (number of events/year).
DURATION		
62	DL1	Annual minimum daily flow. Compute the minimum 1-day average flow for each year. DL1 is the mean of these values (m ³ /s)

63	DL2	Annual minimum of 3-day moving average flow. Compute the minimum of a 3-day moving average flow for each year. DL2 is the mean of these values (m ³ /s)
64	DL3	Annual minimum of 7-day moving average flow. Compute the minimum of a 7-day moving average flow for each year. DL3 is the mean of these values (m ³ /s)
65	DL4	Annual minimum of 30-day moving average flow. Compute the minimum of a 30-day moving average flow for each year. DL4 is the mean of these values (m ³ /s)
66	DL5	Annual minimum of 90-day moving average flow. Compute the minimum of a 90-day moving average flow for each year. DL5 is the mean of these values (m ³ /s)
67	DL6	Variability of annual minimum daily average flow. Compute the standard deviation for the minimum daily average flow. DL6 is 100 times the standard deviation divided by the mean (percent).
68	DL7	Variability of annual minimum of 3-day moving average flow. Compute the standard deviation for the minimum 3-day moving averages. DL7 is 100 times the standard deviation divided by the mean (percent).
69	DL8	Variability of annual minimum of 7-day moving average flow. Compute the standard deviation for the minimum 7-day moving averages. DL8 is 100 times the standard deviation divided by the mean (percent).
70	DL9	Variability of annual minimum of 30-day moving average flow. Compute the standard deviation for the minimum 30-day moving averages. DL9 is 100 times the standard deviation divided by the mean (percent).
71	DL10	Variability of annual minimum of 90-day moving average flow. Compute the standard deviation for the minimum 90-day moving averages. DL10 is 100 times the standard deviation divided by the mean (percent).
72	DL11	Annual minimum daily flow divided by the median for the entire record. Compute the minimum daily flow for each year. DL11 is the mean of these values divided by the median for the entire record (dimensionless).
73	DL12	Annual minimum of 7-day moving average flow divided by the median for the entire record. Compute the minimum of a 7-day moving average flow for each year. DL12 is the mean of these values divided by the median for the entire record. (dimensionless).
74	DL13	Annual minimum of 30-day moving average flow divided by the median for the entire record. Compute the minimum of a 30-day moving average flow for each year. DL13 is the mean of these values divided by the median for the entire record. (dimensionless).
75	DL14	Low exceedence flows. Compute the 75% exceedence value for the entire flow record. DL14 is the exceedence value divided by the median for the entire record. (dimensionless).

76	DL15	Low exceedence flows. Compute the 90% exceedence value for the entire flow record. DL14 is the exceedence value divided by the median for the entire record (dimensionless).
77	DL16	Low flow pulse duration. Compute the average pulse duration for each year for flow events below a threshold equal to the 25th percentile value for the entire flow record. DL16 is the median of the yearly average durations (number of days).
78	DL17	Variability in low pulse duration. Compute the standard deviation for the yearly average low pulse durations. DL17 is 100 times the standard deviation divided by the mean of the yearly average low pulse durations (percent).
79	D3MIN50	Average annual 3-day minimum divided by Q50.
80	D7MIN50	Average annual 7-day minimum divided by Q50.
81	D30MIN50	Average annual 30-day minimum divided by Q50.
82	D90MIN50	Average annual 90-day minimum divided by Q50.
TIMING		
83	TL1	Julian date of annual minimum. Determine the Julian date that the minimum flow occurs for each water year. Transform the dates to relative values on a circular scale (radians or degrees). Compute the x and y components for each year and average them across all years. Compute the mean angle as the arc tangent of y-mean divided by x-mean. Transform the resultant angle back to Julian date (Julian day).
84	TL2	Variability in Julian date of annual minima. Compute the coefficient of variation for the mean x and y components and convert to a date (Julian day).
85	TL3	Seasonal predictability of low flow. Divide years up into 2-month periods (that is, Oct-Nov, Dec-Jan, and so forth). Count the number of low flow events (flow events with flows \leq 5 year low flow threshold) in each period over the entire flow record. TL3 is the maximum number of low flow events in any one period divided by the total number of low flow events (dimensionless - spatial).
86	MEMINJD	Average Julian date of the seven 1-day minimum discharges in the hydrological year.
87	STDMINJD	Standard deviation of the Julian date of the seven 1-day minimum discharges in the hydrological year.
88	CV7JDMIN	Coefficient of variation of the Julian date of the seven 1-day minimum discharges in the hydrological year.

*La plupart des définitions sont tirées de Olden et Poff (2003), Hersh et Maidment (2006) et de Monk et al. (2006).