

Impact de la méthode de post-traitement sur la période de référence et sur le signal de changement hydrologique.

Pour différents indicateurs hydrologiques : moyenne, médiane, maximum annuel et le débit d'étiage 7-jours.

Analyses faites dans le Cadre du projet crue fréquentielle et en partenariat avec le projet (cQ)



Auteur: Jacinthe Clavet-Gaumont
Collaboratrice : Nathalie Thiémonge
Chargé de projet : René Roy

Ouranos
Janvier 2014

Sommaire

La présente étude vise à évaluer la banque de données (cQ)² afin de prendre certaines décisions face à la nouvelle génération de celle-ci. Deux approches sont utilisées pour évaluer les différences entre les méthodes de post-traitement utilisées. Premièrement une approche multi-modèle hydrologique (SSARR, HSAMI, HYDROTEL, CEQUEAU, HEC-HMS) pour le bassin de la Chute-du-Diable et en deuxième lieu, une analyse multi-bassin versant (Manicouagan (MAN), Godbout (GOD), Moisie (MOI), Magpie (MAG), Au Tonnerre (TON), Romaine (ROM), Natashquan (NAT), Petit Mécatina (MEC) et St-Paul (PAU)) de la région de la Côte-Nord à l'aide du modèle SSARR. Le test de Kolmogorov-Smirnov est celui sélectionné pour définir quelles distributions des débits simulés ont une différence statistiquement significative entre-elles et ainsi d'établir s'il existe un impact à utiliser une méthode plutôt qu'une autre pour l'analyse de variables hydrologiques.

Les différences entre les deux méthodes provenant de la même famille de la correction de biais (CQT et LOC) sont plutôt faibles : d'environ 30% entre les différents modèles hydrologiques et de 6% pour l'ensemble des bassins de la Côte-Nord. D'un autre côté, les résultats obtenus pour les deux méthodes des perturbations (PQT et PDM) dénotent des différences très marquées pour les extrêmes avec 90% de différences significatives et pour les valeurs de tendance centrales, les distributions sont différentes en moyenne dans 30% des cas.

Contributions et remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet (cQ)² un partenariat entre Ouranos, le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), Rio Tinto Alcan et l'IREQ. Merci à tous les collaborateurs : Marco Braun, Barbara Casati, Diane Chaumont, Georges Desrochers, Blaise Gauvin St-Denis, Noël Evora, Catherine Guay, Simon Lachance-Cloutier, James Merleau, Marie Minville, Simon Ricard, Gaétan Roberge, René Roy, Nathalie Thiémonge et Richard Turcotte.

Table des matières

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : METHODOLOGIE	4
CHAPITRE 2 : IMPACT DU POST-TRAITEMENT SUR LES DÉBITS DE LA PÉRIODE DE RÉFÉRENCE. 6	
2.1 La moyenne	6
2.1.1 Observations vs simulations.....	6
2.1.2 Sorties directes vs simulations post-traitées	7
2.1.3 Méthodes de post-traitements vs méthodes de post-traitements	7
2.2 La médiane	9
2.2.1 Observations vs simulations.....	9
2.2.2 Sorties directes vs simulations post-traitées	9
2.2.3 Méthodes de post-traitements vs méthodes de post-traitements	9
2.3 Le maximum annuel.....	11
2.3.1 Observations vs simulations.....	11
2.3.2 Sorties directes vs simulations post-traitées	11
2.3.3 Méthodes de post-traitements vs méthodes de post-traitements	11
2.4 Le débit d'étiage 7 jours.....	13
2.4.1 Observations vs simulations.....	13
2.4.2 Sorties directes vs simulations post-traitées	13
2.4.3 Méthodes de post-traitements vs méthodes de post-traitements	13
CHAPITRE 3 : IMPACT DU POST-TRAITEMENT SUR LE SIGNAL DE CHANGEMENT HYDROLOGIQUE.....	15
3.1 Sorties directes vs simulations post-traitées	15
3.2 Méthodes de post-traitements vs méthodes de post-traitements	15
3.2.1 Famille de la correction de biais (CQT, LOC).....	15
3.2.2 Famille des perturbations (PQT, PDM)	15
CONCLUSION	16
ANNEXE A : FIGURES COMPLÉMENTAIRES AU CHAPITRE 2	20
ANNEXE B : FIGURES COMPLEMENTAIRES AU CHAPITRE 3	26

Liste des figures

- Figure 1 : Enveloppe de l'hydrogramme interannuel moyen des 87 scénarios hydrologiques (en bleu), chaque ligne représente un modèle hydrologique différent et chaque colonne une méthode de post-traitement. La courbe noire est celle des observations. 2
- Figure 2 : Domaine d'étude pour la première approche multi-modèle hydrologique (SSARR, HSAMI, HYDROTEL, CEQUEAU, HEC-HMS) pour le bassin Chute-du-Diable situé dans la région du Saguenay. 4
- Figure 3 : Domaine d'étude pour la seconde approche multi-bassins à l'aide des 9 bassins hydrologiques de la région de la Côte-Nord. De gauche à droite : Manicouagan (MAN), Godbout (GOD), Moisie (MOI), Magpie (MAG), Au Tonnerre (TON), Romaine (ROM), Natashquan (NAT), Petit Mécatina (MEC) et St-Paul (PAU). 5
- Figure 4 : Distribution des moyennes annuelles des 87 simulations hydrologiques pour les observations (OBS), les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT/PDM). L'ombrage gris représente l'intervalle interquartile des observations. Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.... 21
- Figure 5 : Distribution des médianes annuelles des 87 simulations hydrologiques pour les observations (OBS), les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT/PDM). L'ombrage gris représente l'intervalle interquartile des observations. Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.... 23
- Figure 6 : Distribution des maximums annuels des 87 simulations hydrologiques pour les observations (OBS), les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT/PDM). L'ombrage gris représente l'intervalle interquartile des observations. Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.... 24
- Figure 7 : Distribution des débits d'étiage 7 jours annuels des 87 simulations hydrologiques pour les observations (OBS), les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT/PDM). L'ombrage gris représente l'intervalle interquartile des observations. Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.... 25
- Figure 8 : Distribution des différences des moyennes climatiques de la période future avec celles de la période de référence (FUT – REF) pour l'ensemble des 87 simulations hydrologiques selon les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT, PDM). Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR. 26
-

Figure 9 : Distribution des différences des moyennes climatiques des médianes de la période future avec celles de la période de référence (FUT – REF) pour l'ensemble des 87 simulations hydrologiques selon les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT, PDM). Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR..... 27

Figure 10 : Distribution des différences des moyennes climatiques des maximums annuels de la période future avec ceux de la période de référence (FUT – REF) pour l'ensemble des 87 simulations hydrologiques selon les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT, PDM). Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR..... 28

Figure 11 : Distribution des différences des moyennes climatiques des débits d'étiages 7 jours de la période future avec ceux de la période de référence (FUT – REF) pour l'ensemble des 87 simulations hydrologiques selon les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT, PDM). Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR..... 29

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des modèles globaux et régionaux de l'ensemble de données (cQ) ²	1
Tableau 2 : Pourcentage des scénarios hydrologiques avec une différence statistiquement significative entre les distributions de moyennes annuelles. Les tableaux en a) montrent les résultats pour chacun des modèles hydrologiques pour le bassin Chute-du-Diable et ceux en b) montrent les résultats pour chacun des bassins hydrologiques de la Côte-Nord simulé par SSARR.	8
Tableau 3 : Pourcentage des scénarios hydrologiques avec une différence statistiquement significative entre les distributions de médianes annuelles. Les tableaux en a) montrent les résultats pour chacun des modèles hydrologiques pour le bassin Chute-du-Diable et ceux en b) montrent les résultats pour chacun des bassins hydrologiques de la Côte-Nord simulé par SSARR.	10
Tableau 4 : Pourcentage des scénarios hydrologiques avec une différence statistiquement significative entre les distributions de maximums annuels. Les tableaux en a) montrent les résultats pour chacun des modèles hydrologiques pour le bassin Chute-du-Diable et ceux en b) montrent les résultats pour chacun des bassins hydrologiques de la Côte-Nord simulé par SSARR.	12
Tableau 5 : Pourcentage des scénarios hydrologiques avec une différence statistiquement significative entre les distributions de débits d'étiage 7 jours annuelles. Les tableaux en a) montrent les résultats pour chacun des modèles hydrologiques pour le bassin Chute-du-Diable et ceux en b) montrent les résultats pour chacun des bassins hydrologiques de la Côte-Nord simulé par SSARR.	14
Tableau 6 : Différence significative entre les différentes distributions de changement projeté (FUT – REF) des quatre indicateurs à l'étude : moyenne, médiane, maximum annuel et débit d'étiage 7 jours. Les chiffres dans les tableaux représentent a) le nombre de modèle hydrologique (sur 5) et b) le nombre de bassin hydrologique (sur 9).	16
Tableau 7 : Synthèse des résultats du Chapitre 2 sur les différences entre les types de simulations pour la période de référence.	20

Introduction

C'est dans l'optique de présenter un portrait harmonisé des impacts des changements climatiques sur l'hydrologie (Q) au Québec que le projet (cQ)² s'est créé dans un partenariat entre Ouranos, Hydro-Québec, le Centre d'Expertise Hydrique du Québec (CEHQ) et Rio Tinto Alcan. L'un des objectifs principaux de cette collaboration était de partager une base de données de scénarios climatiques, commune aux diverses organisations impliquées. C'est ainsi que la base de données (cQ)² a été construite à l'aide de simulations de modèles globaux provenant de CMIP3 et de simulations de modèles régionaux provenant du projet NARCCAP ainsi que de simulations opérationnelles d'Ouranos (voir la liste des modèles au Tableau 1). Au total, l'ensemble (cQ)² est composé des séries quotidiennes de 87 simulations climatiques pour 305 bassins versants du Québec. Des scénarios dérivés des simulations précédentes font aussi partie de cet ensemble. En effet, il est connu que les sorties d'un modèle climatique sont biaisées lorsque comparées aux observations. Pour corriger ce biais les simulations utilisées sont post-traitées. Selon Chen et al. 2013, il existe deux grandes familles de méthode de post-traitements. Dans la présente étude, quatre différentes approches provenant de ces deux familles sont utilisées, deux méthodes en provenance de la famille de la correction de biais : la correction du biais par les quantiles (CQT), la correction LOCI (LOC) et deux autres provenant de la famille des perturbations : la méthode des perturbations du delta mensuel (PDM) et la méthode des perturbations des quantiles (PQT). Par la suite, les simulations de température et de précipitation corrigées sont utilisées comme intrants aux modèles hydrologiques pour simuler les scénarios hydrologiques de la période de référence et de la période future.

Modèles globaux	Modèles régionaux
CCCMA CGCM3.1	CRCM4
ECHAM5	HRM3
HADCM3	RCM3
CCCMA CGCM3.1 t63	
CNRM CM3	
CSIRO MK3.0	
CSIRO MK3.5	
GFDL CM2.0	
GISS AOM	
INGV ECHAM4	
IPSL CM4	
MIROC3.2 HIRES	
MIROC3.2 MEDRES	
MIUB ECHO G	
MRI CGCM2.3.2a	

Tableau 1 : Liste des modèles globaux et régionaux de l'ensemble de données (cQ)²

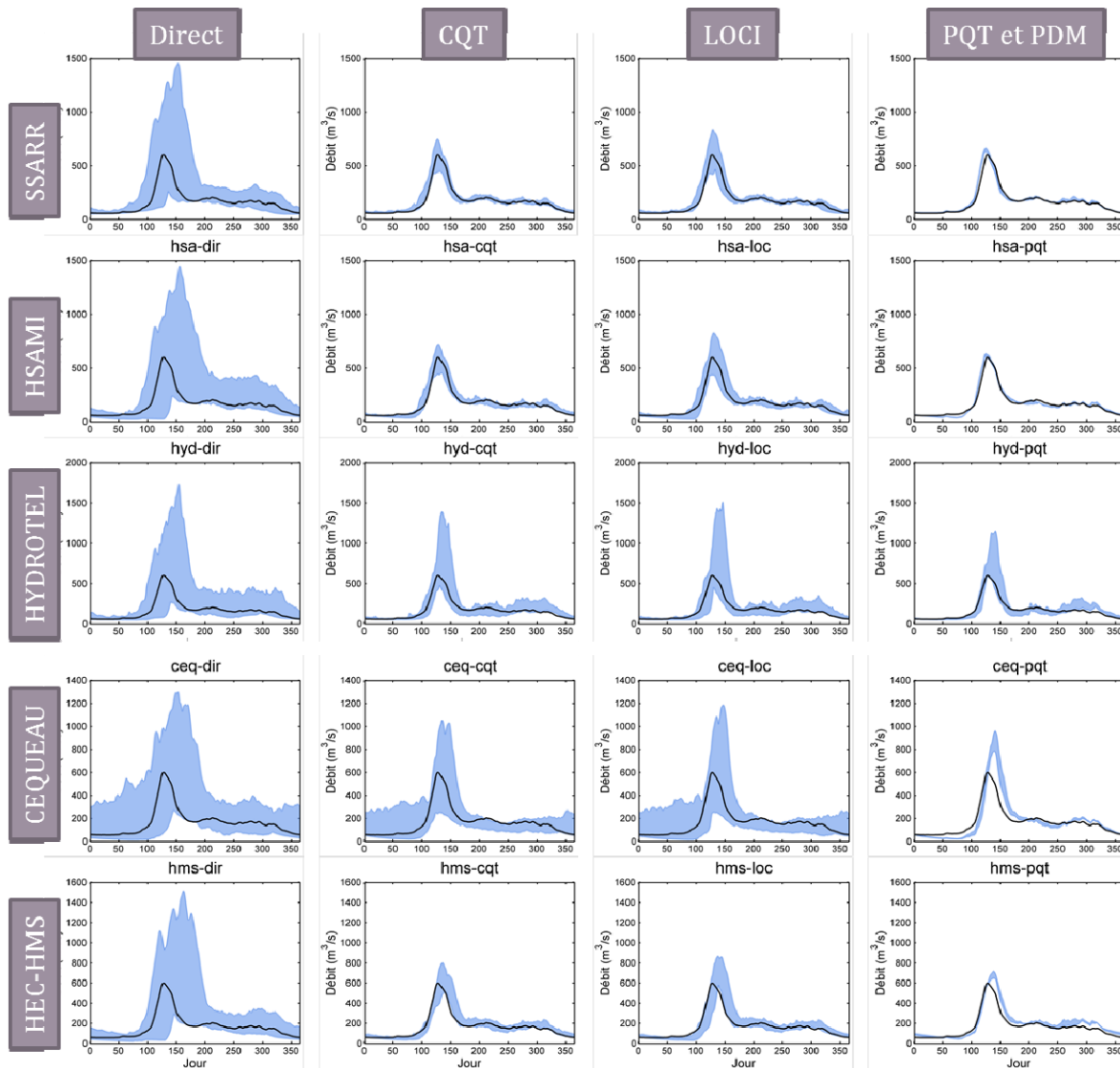


Figure 1 : Enveloppe de l'hydrogramme interannuel moyen des 87 scénarios hydrologiques de Chute-du-Diable (en bleu), chaque ligne représente un modèle hydrologique différent et chaque colonne une méthode de post-traitement. La courbe noire est celle des observations.

Il est connu que les débits obtenus par différentes méthodes de post-traitement peuvent être parfois différents. Il est possible de voir graphiquement ces diverses particularités sur l'hydrogramme simulé par chacune de ces méthodes, mais de quantifier ces différences est une tâche plus laborieuse. En effet, pour un même bassin versant, les débits simulés par plusieurs modèles hydrologiques peuvent être bien différents. La figure 1 le démontre bien en prenant l'exemple du bassin versant de la centrale Chute-du-Diable. Sur cette figure, il est possible d'observer l'enveloppe du cycle interannuel moyen du 1 janvier au 31 décembre des 87 scénarios

hydrologiques en période de référence pour différentes méthodes de post-traitements (colonne) et différents modèles hydrologiques (ligne). Ces résultats sont comparés avec les observations représentés par la courbe noire. Sur cette même image, il est possible d'observer des différences marquées entre les diverses méthodes de post-traitements. Effectivement, une fois post-traité, le débit interannuel simulé est moins variable en comparaison avec les sorties directes du modèle et ainsi, les différents scénarios hydrologiques ont un meilleur consensus entre eux et semblent avoir une meilleure représentation du cycle interannuel observé (courbe noire). Les différences entre les méthodes de post-traitements d'un même modèle hydrologique sont plus difficiles à observer, surtout pour la comparaison des approches d'une même famille de correction. Effectivement, les deux méthodes de la famille de la correction de biais CQT et LOC donnent des résultats similaires vis-à-vis du cycle interannuel. Afin de quantifier si la différence entre les méthodes de post-traitement est statistiquement significative, le test de Kolmogorov-Smirnov est utilisé. Celui-ci est non-paramétrique et quantifie la distance entre deux distributions. Il s'agit d'un test très utile car il est sensible à la localisation, mais aussi à la forme des distributions comparées.

Le but ultime de la présente étude est d'évaluer la banque de donnée (cQ)² et de permettre son amélioration pour la future génération des données. Existe-t-il une méthode de post-traitement à favoriser ? Les différences sont-elles suffisamment marquées entre les différentes méthodes de post-traitement pour en justifier l'utilisation de chacune d'elles ?

Les résultats du test de Kolmogorov-Smirnov sont présentés dans les chapitres suivants selon deux approches, l'une multi-modèle hydrologique (SSARR, HSAMI, HYDROTEL, CEQUEAU et HEC-HMS) pour le bassin Chute-du-Diable et l'autre à l'aide d'un seul modèle hydrologique (SSARR), mais pour plusieurs bassins versants de la Côte-Nord : Manicouagan (MAN), Godbout (GOD), Moisie (MOI), Magpie (MAG), Au Tonnerre (TON), Romaine (ROM), Natashquan (NAT), Petit Mécatina (MEC) et St-Paul (PAU). Les résultats seront montrés pour la période de référence ainsi que pour le signal de changement hydrologique. Par la suite, une analyse comparative des résultats obtenus par les deux approches sera synthétisée afin d'émettre des conclusions robustes et générales.

Chapitre 1 : Méthodologie

Dans le cadre de la présente étude, les données climatiques provenant de l'ensemble (cQ)² sont utilisées. Certaines différences sont observées entre les diverses méthodes de post-traitement et les différents modèles hydrologiques, notamment par rapport à l'intensité de la crue de printemps (Figure 1). Cet aspect confirme qu'il est essentiel d'utiliser plusieurs modèles hydrologiques afin d'émettre des conclusions robustes. Suite à ce raisonnement, l'étude se base sur deux analyses différentes. La première est une analyse multi-modèle hydrologique pour le bassin Chute-du-Diable (Figure 2). Plusieurs indicateurs provenant des débits simulés par SSARR, HSAMI, HYDROTEL, CEQUEAU et HEC-HMS sont comparés entre eux à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov. Deux mesures pour décrire la tendance centrale : la moyenne et la médiane, ainsi que deux mesures pour décrire les extrêmes : le maximum annuel et le débit d'étiage 7 jours, sont calculées afin d'avoir une idée plus complète de la sensibilité des résultats à la méthode de post-traitement.

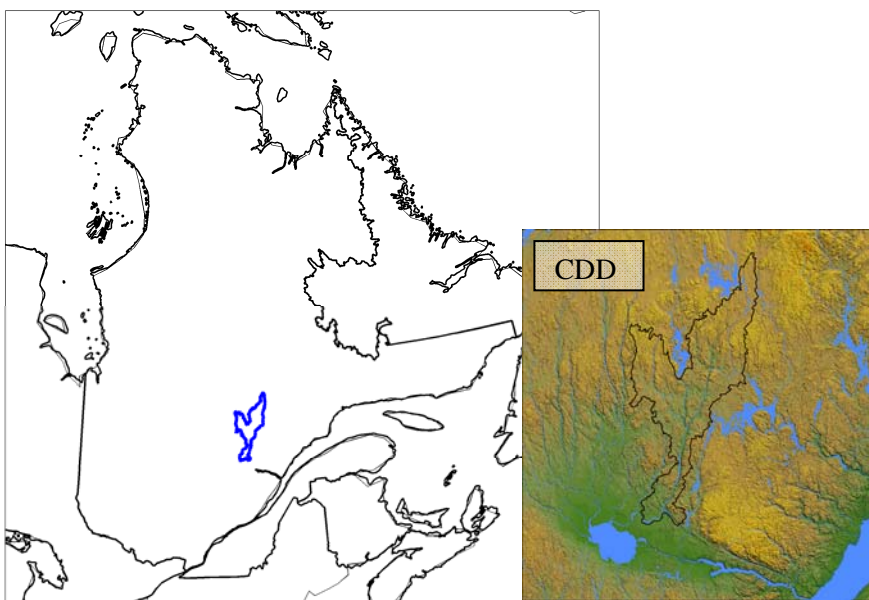


Figure 2 : Domaine d'étude pour la première approche multi-modèle hydrologique (SSARR, HSAMI, HYDROTEL, CEQUEAU, HEC-HMS) pour le bassin Chute-du-Diable situé dans la région du Saguenay, Lac St-Jean.

La deuxième approche calcule les mêmes indicateurs et utilise le même test statistique de Kolmogorov-Smirnov, mais de son côté, elle utilise des données provenant d'un seul modèle hydrologique pour les 9 bassins de la Côte-Nord montrés à la Figure 3 (Godbout, Magpie, Manicouagan, Petit-Mécatina, Moisie, Natashquan, St-Paul, la Romaine et au Tonnerre). Une synthèse des résultats est faite pour tenter de tirer les conclusions communes aux deux approches et qui peut-être seront suffisamment robuste pour être généralisées à l'ensemble des données.

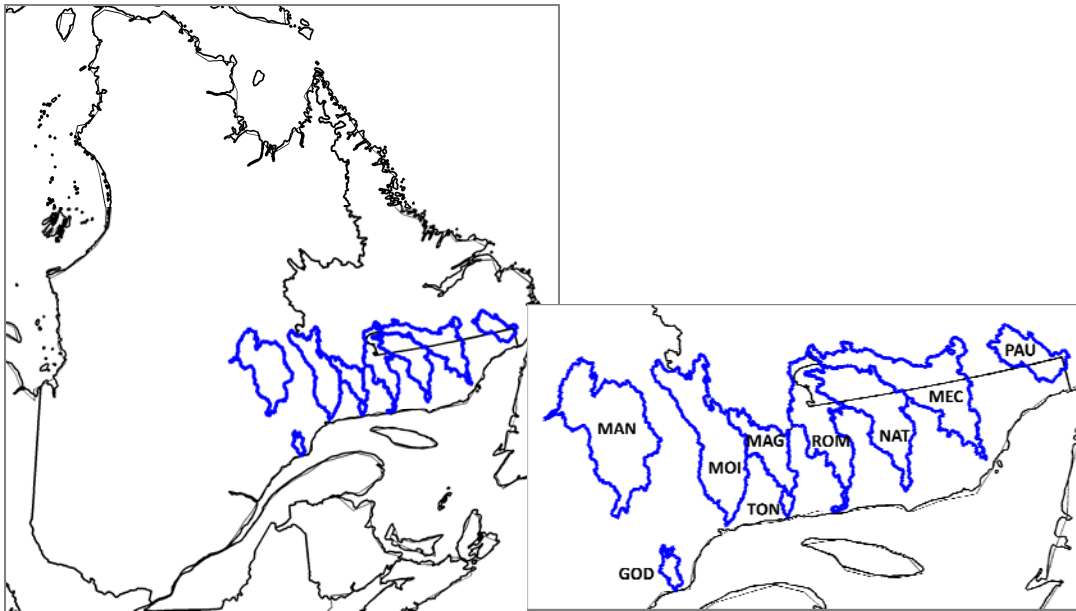


Figure 3 : Domaine d'étude pour la seconde approche multi-bassins à l'aide des 9 bassins hydrologiques de la région de la Côte-Nord. De gauche à droite : Manicouagan (MAN), Godbout (GOD), Moisie (MOI), Magpie (MAG), Au Tonnerre (TON), Romaine (ROM), Natashquan (NAT), Petit Mécatina (MEC) et St-Paul (PAU).

Au Chapitre 2, une analyse sur la période de référence est faite. Pour ce faire, une distribution de valeur annuelle (de moyenne annuelle, médiane annuelle, maximum annuel ou de débit d'étiage 7 jours annuel) est créé pour chacune des 87 simulations. Les différents types de simulations (observations, sorties directes et sorties post-traitées) sont comparées entres-elles à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov. Par la suite les résultats sont compilés pour les 87 scénarios et le pourcentage de simulation significativement différente est compilé dans les tableaux.

Au Chapitre 3, l'intérêt est de comparer les distributions créées par la soustraction des indicateurs futurs avec les indicateurs de la période de référence. Dans ce cas, il y aura une seule distribution avec 87 valeurs composées des différences des moyennes climatiques (moyenne sur 30 ans) des indicateurs futurs avec les moyennes climatiques des indicateurs pour la période de référence (i.e. moyenne des distributions utilisé au Chapitre 2). Les résultats montrés dans les tableaux 12 ne sont pas en pourcentage, mais bien en quantité de modèle hydrologique qui montre des différences significatives. Pour ce qui est du tableau 13, les résultats sont le décompte de bassin hydrologique.

Chapitre 2 : Impact du post-traitement sur certains indicateurs hydrologiques de la période de référence.

Pour chacun des scénarios hydrologiques, la distribution de certains indicateurs hydrologiques (moyenne, médiane, maximum annuel, débit d'étiage 7 jours) est calculée pour chacun des scénarios hydrologiques en période de référence, y compris pour les sorties directes, post-traitées et les observations. Ensuite, les distributions sont comparées entre elles. Dans les tableaux suivants, les résultats du test de Kolmogorov-Smirnov sont présentés. Par exemple, dans le Tableau 2, les pourcentages représentent le nombre de scénarios hydrologiques avec une différence statistiquement significative entre les distributions des moyennes annuelles. En d'autres mots, le chiffre de 62, situé dans la première case signifie que 62% des distributions de moyennes annuelles de la méthode directe sont différentes de la distribution de moyenne annuelle des observations.

Sur ce tableau, il est donc possible de quantifier trois types de différences significatives. En premier lieu, les différences entre les observations et les simulations du modèle hydrologiques, sont montrées à la première ligne. En deuxième lieu, les différences entre les sorties directes (sans correction de biais) et les méthodes de post-traitements sont visibles à la deuxième ligne et finalement, les deux dernières lignes, montrent le pourcentage de simulations hydrologiques ayant des différences marquées entre les diverses méthodes de post-traitement. Dans ce chapitre, plusieurs analyses concernant ces trois types de différences sont présentées pour quatre différents indicateurs hydrologiques : la moyenne, la médiane, le maximum annuel et le débit d'étiage de 7-jours. Pour chacun des indicateurs deux tableaux seront analysés, les tableaux bleus sont ceux de la première approche multi-modèles hydrologiques et les tableaux verts pour la seconde approche multi-bassins.

2.1 La moyenne

2.1.1 Observations vs simulations

La première ligne de chacun des sous-tableaux montre le pourcentage de scénarios hydrologiques dont la distribution des débits est significativement différente de celle des observations selon le test de Kolmogorov-Smirnov. En analysant les résultats de la première approche multi-modèle (Tableau 2a), il est en premier lieu possible de constater que les sorties directes (sans correction de biais) détiennent plus de différence significative avec les observations que les autres méthodes de post-traitements. En d'autres mots, une fois le biais corrigé, il semblerait que les distributions de moyenne annuelle soit plus semblables à la distribution de moyennes annuelles observée. En effet, sans post-traitement, les sorties directes de SSARR sont significativement différentes des observations pour 62% des scénarios hydrologiques en comparaison à seulement 3% de scénarios hydrologiques significativement différents pour les données post-traitées. Les mêmes conclusions découlent pour les autres modèles hydrologiques (HSAMI : 89% et 26%, HYDROTEL : 92% et 43%, CEQUEAU 67% et 5%, HEC-HMS 78% et 6%). Au Tableau 2b, en se basant simplement sur les résultats du modèle SSARR pour 9 bassins de la Côte-Nord, les mêmes résultats émanent pour 4 bassins de l'ensemble où les différences sont plus nombreuses pour la comparaison des observations avec les sorties directes : TON : 65% et 15%, PAU : 80% et 1%, MAG : 76% et 1%, ROM : 69% et 17%.

Dans le cas de la période de référence, la simulation PQT et PDM est la même, car il s'agit des débits simulés à l'aide des données météorologiques comme intrants. Il est ainsi possible de quantifier la performance du modèle hydrologique en observant la dernière case de cette ligne qui compare cette simulation aux observations. En ce qui concerne SSARR, HSAMI et HEC-HMS qui sont tous des modèles globaux, il existe une seule simulation PQT et PDM. Ainsi, dans la dernière case de la ligne, seulement des valeurs de 0 ou 100% peuvent être assignées. En d'autres mots, la simulation des perturbations sera semblable ou significativement différente à celle des observations. Par contre pour les modèles distribués et semi-distribués HYDROTEL et CEQUEAU, la simulation PQT et PDM pourra avoir de différentes valeurs dépendant de la résolution du modèle climatique utilisée pour fournir les intrants au modèle. Ainsi, différentes valeurs peuvent être assignées dans cette case. En général, les modèles hydrologiques sont capables de bien représenter les observations avec 0% de différence significative pour SSARR, HSAMI, CEQUEAU et HEC-HMS (Tableau 2a). Tant qu'à HYDROTEL, ses distributions PQT et PDM sont différentes significativement des observations dans 40% des cas. En ce qui concerne l'analyse sur la Côte-Nord (Tableau 2b), le modèle SSARR représente bien les distributions de moyennes annuelles pour 5 bassins versants : TON, PAU, MAG, ROM, NAT.

2.1.2 Sorties directes vs simulations post-traitées

La deuxième ligne des tableaux représente les différences entre les distributions des moyennes annuelles des sorties directes (non-corrigée) et celles des différentes méthodes de post-traitement. En général, les moyennes annuelles des simulations post-traitées sont significativement différentes de celles de la méthode directe. Les différences sont plus marquées pour HYDROTEL (80%), suivit d'HSAMI (75%), d'HEC-HMS (73%), de CEQUEAU (68%) et finalement de SSARR (63%). En moyenne pour l'ensemble des modèles hydrologiques, la distribution des moyennes annuelles est différente pour 72% des simulations avec post-traitements en comparaison avec les données dont le biais n'a pas été corrigé. En ce qui concerne l'analyse des différents bassins de la Côte-Nord (Tableau 2b), il est possible d'arriver à la même conclusion. Effectivement, en moyenne, 70% des simulations hydrologiques ont des résultats qui sont significativement différents.

2.1.3 Méthodes de post-traitements vs méthodes de post-traitements

Les dernières lignes du tableau comprennent les résultats des comparaisons entre les diverses méthodes de post-traitement. Il existe très peu de différence entre les méthodes de post-traitements pour la distribution des moyennes annuelles (Tableau 2a). Seul le modèle HEC-HMS montre des différences un peu plus marquées de 15%. Alors qu'en moyenne pour l'ensemble des autres modèles hydrologiques, seulement 3% des simulations sont significativement différentes. Du côté de l'analyse des bassins de la Côte-Nord (Tableau 2b), les différences sont tout aussi petites et de l'ordre de 4% en moyenne.

De plus, en regardant les résultats qui comparent les deux méthodes provenant de la même famille de correction, c'est-à-dire la correction de biais (CQT et LOC), il est possible de dénoter une très faible différence de 3% pour HEC-HMS et de 0% pour l'ensemble des autres modèles hydrologiques. Il est ainsi possible de conclure qu'à la lumière de ces résultats, il n'y aura aucun impact à utiliser la méthode CQT plutôt que LOC dans un contexte d'étude de la moyenne. Pour les bassins de la Côte-Nord, les résultats sont similaires avec une différence de 0% pour l'ensemble des bassins, sauf pour MEC où une différence de 4% est observée.

a)

SSARR	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	HSAMI	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		62	3	5	0	OBS		89	33	46	0
DIR			64	64	62	DIR			74	76	74
CQT				0	3	CQT				0	0
LOC					3	LOC					0
PQT/PDM						PQT/PDM					

HYDROTEL	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	CEQUEAU	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		92	43	46	40	OBS		67	9	6	0
DIR			79	76	83	DIR			64	72	69
CQT				0	0	CQT				0	16
LOC					0	LOC					16
PQT/PDM						PQT/PDM					

HEC-HMS	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		78	10	7	0
DIR			71	66	83
CQT				3	34
LOC					38
PQT/PDM					

b)

TON	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	GOD	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	PAU	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		65	16	28	0	OBS		66	100	89	100	OBS		80	0	4	0
DIR			76	82	59	DIR			71	70	67	DIR			94	90	83
CQT				0	4	CQT				0	7	CQT				0	0
LOC					11	LOC					22	LOC					7
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

MAG	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	ROM	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	NAT	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		76	0	4	0	OBS		69	23	29	0	OBS		61	59	55	0
DIR			67	70	73	DIR			60	61	61	DIR			77	81	75
CQT				0	0	CQT				0	0	CQT				0	0
LOC					0	LOC					0	LOC					1
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

MOI	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	MEC	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	MAN	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		52	54	51	100	OBS		59	12	11	100	OBS		54	78	55	100
DIR			60	60	77	DIR			69	64	66	DIR			58	55	61
CQT				0	14	CQT				4	0	CQT				0	2
LOC					19	LOC					8	LOC					7
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

Tableau 2 : Pourcentage des scénarios hydrologiques avec une différence statistiquement significative entre les distributions de moyennes annuelles. Les tableaux en a) montrent les résultats pour chacun des modèles hydrologiques pour le bassin Chute-du-Diable et ceux en b) montrent les résultats pour chacun des bassins hydrologiques de la Côte-Nord simulé par SSARR.

2.2 La médiane

2.2.1 Observations vs simulations

En observant la première ligne des sous-tableaux du Tableau 3a, il est possible de noter que dans le cas du modèle SSARR, HSAMI et CEQUEAU, une fois post-traité les médianes simulées ressemblent plus à celles observées. En effet, SSARR dénote que 49% des scénarios hydrologiques sont significativement différents des observations en comparaison à 2% des scénarios post-traités, alors que pour HSAMI les différences significatives passe 70% à 0% et de 48% à 13% pour CEQUEAU. En ce qui concerne les deux autres modèles hydrologiques (HYDROTEL et HEC-HMS), il ne semble pas y avoir une meilleure représentation de la distribution des médianes observées après la correction du biais. Pour l'analyse sur la Côte-Nord, les résultats du Tableau 3b sont partagés. Une amélioration de la représentation des médianes observées est visible seulement pour deux bassins (ROM, NAT). En sommaire des deux approches, il ne semble pas exister un signal clair montrant l'amélioration après post-traitement pour représenter la distribution des médianes.

Tout comme les résultats obtenus pour la moyenne, si l'on observe les résultats comparant les observations avec la méthodes PQT et PDM, il est possible de constater que les modèles hydrologiques sont généralement capables de bien représenter les observations avec 0% de différence significative pour SSARR, HSAMI, CEQUEAU et HEC-HMS. Tant qu'à HYDROTEL, ses distributions PQT et PDM sont différentes significativement des observations dans 18% des cas. Dans le cas des bassins de la Côte-Nord, seulement ROM et NAT offre des observations reconstituées qui représentent bien les observations.

2.2.2 Sorties directes vs simulations post-traitées

Les résultats de la comparaison des distributions des sorties directes avec les données post-traitées se retrouvent à la deuxième ligne. Les résultats démontrent qu'en général il existe une différence significative entre ces deux types de données. En effet, 63% des scénarios hydrologiques post-traités de l'approche multi-modèle sont différents des sorties directes. Tant qu'à la seconde approche, les mêmes conclusions sont remarquées, avec 67% de simulations significativement différentes.

2.2.3 Méthodes de post-traitements vs méthodes de post-traitements

Finalement, en ce qui concerne la comparaison des méthodes de post-traitements entres elles, les dernières lignes du Tableau 3a nous indiquent qu'il est impossible d'émettre une conclusion commune à l'ensemble des modèles hydrologiques. En effet, le modèle SSARR et HSAMI ont des différences très faibles entres les méthodes de post-traitements de 5% en moyenne, tandis que les autres modèles hydrologiques HYDROTEL, CEQUEAU et HEC-HMS ont des différences plus marquées de 36% en moyenne. De l'angle de la deuxième analyse (Tableau 3b) simulé avec SSARR, il est possible de constater que les différences sont faibles pour l'ensemble des bassins (2%), mais il faut garder en tête que ce résultat peut être causé tout simplement par le choix du modèle hydrologique.

a)

SSA	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	HSA	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		49	0	5	0	OBS		70	0	0	0
DIR			54	53	53	DIR			70	74	78
CQT				7	0	CQT				0	0
LOC					6	LOC					15
PQT/PDM						PQT/PDM					

HYD	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	CEQ	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		67	68	94	18	OBS		48	6	33	0
DIR			66	57	61	DIR			39	52	51
CQT				13	6	CQT				17	7
LOC					43	LOC					15
PQT/PDM						PQT/PDM					

HMS	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		78	72	78	0
DIR			76	74	84
CQT				30	79
LOC					83
PQT/PDM					

b)

TON	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	GOD	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	PAU	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		76	70	65	100	OBS		49	73	72	100	OBS		55	69	70	100
DIR			55	52	57	DIR			70	59	61	DIR			80	81	65
CQT				0	4	CQT				2	0	CQT				2	0
LOC					2	LOC					10	LOC					11
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

MAG	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	ROM	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	NAT	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		72	30	34	100	OBS		65	0	0	0	OBS		71	0	0	0
DIR			78	75	65	DIR			67	69	78	DIR			73	71	75
CQT				0	0	CQT				0	0	CQT				0	0
LOC					0	LOC					11	LOC					4
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

MOI	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	MEC	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	MAN	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		76	100	100	100	OBS		61	94	88	100	OBS		76	100	100	100
DIR			63	78	67	DIR			61	67	69	DIR			63	63	49
CQT				0	0	CQT				0	0	CQT				0	0
LOC					0	LOC					0	LOC					4
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

Tableau 3 : Pourcentage des scénarios hydrologiques avec une différence statistiquement significative entre les distributions de médianes annuelles. Les tableaux en a) montrent les résultats pour chacun des modèles hydrologiques pour le bassin Chute-du-Diable et ceux en b) montrent les résultats pour chacun des bassins hydrologiques de la Côte-Nord simulé par SSARR.

2.3 Le maximum annuel

2.3.1 Observations vs simulations

Il est possible de voir au Tableau 4a qu'il n'est pas clair qu'il existe une amélioration pour bien représenter les distributions de maximums annuels observés lorsque les données sont post-traitées. En effet, pour la majorité des simulations, le pourcentage de simulations hydrologiques avec une différence significative en comparaison avec les observations est très élevé et parfois les sorties directes ont de meilleures performances pour représenter les observations que les données avec le biais corrigé : SSARR 67% pour les sorties directes et 86% pour les données post-traitées, HSAMI 75% et 88%, HYDROTEL 85% et 80%, CEQUEAU 69% et 78%. Seulement le modèle HEC-HMS (71% et 18%) montre une amélioration significative de la représentation des maximums annuels observés après le post-traitement. Les résultats du Tableau 4b viennent corroborer ces premiers résultats et confirment que dans le cas des maximums annuels, il ne semble pas exister une amélioration à représenter les observations une fois que les données sont post-traitées. Il est possible que ce soit causé par le fait que les modèles hydrologiques ne soient pas en mesure de bien représenter les extrêmes si leur calibration n'est pas faite en conséquence. Dans ce cas, une amélioration apportée par le post-traitement ne peut pas ressortir.

2.3.2 Sorties directes vs simulations post-traitées

Tout comme les résultats obtenus pour les mesures de tendances centrales (Section 2.1 et 2.2), les résultats démontrent qu'en général il existe une différence significative entre les sorties directes et les données post-traitées, avec 65% des simulations du bassin Chute-du-Diable significativement différentes. En ce qui concerne l'analyse sur la Côte-Nord, une différence significative de 64% est observée.

2.3.3 Méthodes de post-traitements vs méthodes de post-traitements

En moyenne, les différentes méthodes de post-traitements sont significativement différentes entre elles pour 14% des simulations hydrologiques provenant des différents modèles hydrologiques pour le bassin Chute-du-Diable. En ce qui concerne les bassins de la Côte-Nord, en moyenne, 23% des simulations des différentes méthodes de post-traitements sont significativement différentes entre-elles. Les différences observées entre les deux méthodes provenant de la famille de la correction de biais (CQT et LOC) donnent des différences plutôt faibles pour tous les modèles hydrologiques (6%) sauf pour HSAMI où le nombre de simulations différentes est un peu plus important (24%). Les résultats de la seconde approche multi-bassins indiquent une différence marquée de 18%. En résumé, lors de l'étude de la tendance centrale (moyenne et médiane) les différences entre les deux méthodes de correction de biais CQT et LOC étaient très faibles, pour une analyse des maximums annuels, il est plus évident qu'il existe un réel impact au choix de l'une ou l'autre de ces méthodes.

a)

SSA	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	HSA	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		67	95	63	100	OBS		75	100	63	100
DIR			63	60	52	DIR			68	68	59
CQT				6	20	CQT				24	13
LOC					11	LOC					30
PQT/PDM						PQT/PDM					

HYD	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	CEQ	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		85	80	94	66	OBS		69	77	77	80
DIR			68	76	69	DIR			61	64	68
CQT				8	16	CQT				3	2
LOC					32	LOC					18
PQT/PDM						PQT/PDM					

HMS	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		71	32	21	0
DIR			66	69	61
CQT				8	10
LOC					15
PQT/PDM					

b)

TON	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	GOD	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	PAU	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		61	100	94	100	OBS		87	100	100	100	OBS		84	99	65	100
DIR			64	63	53	DIR			72	59	76	DIR			73	65	69
CQT				18	11	CQT				12	18	CQT				29	14
LOC					17	LOC					31	LOC					29
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

MAG	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	ROM	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	NAT	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		63	81	59	0	OBS		75	98	77	0	OBS		80	100	90	100
DIR			49	65	58	DIR			61	61	58	DIR			46	58	52
CQT				17	16	CQT				16	34	CQT				19	16
LOC					25	LOC					49	LOC					37
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

MOI	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	MEC	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	MAN	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		73	4	31	0	OBS		41	16	28	100	OBS		58	84	60	100
DIR			81	65	78	DIR			55	58	73	DIR			72	65	75
CQT				11	23	CQT				30	1	CQT				12	11
LOC					49	LOC					43	LOC					41
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

Tableau 4 : Pourcentage des scénarios hydrologiques avec une différence statistiquement significative entre les distributions de maximums annuels. Les tableaux en a) montrent les résultats pour chacun des modèles hydrologiques pour le bassin Chute-du-Diable et ceux en b) montrent les résultats pour chacun des bassins hydrologiques de la Côte-Nord simulé par SSARR.

2.4 Le débit d'étiage 7 jours

2.4.1 Observations vs simulations

Les différences entre les observations et les autres simulations visibles à la première ligne du Tableau 5a sont généralement énormes (71%) avant et après la correction du biais. Il est toutefois possible de constater une amélioration de la bonne représentation des débits d'étiages de 7 jours pour le modèle HSAMI et HEC-HMS avec des différences significatives de 70% pour les sorties directes en comparaison à 14% pour les autres méthodes. D'ailleurs, seulement ces deux modèles offrent une bonne représentation des débits observés reconstitués (simulations PQT et PDM, représentant les débits simulés à partir d'observations météorologiques).

Les résultats de la seconde approche visible au Tableau 5b dénotent des différences tout aussi marquées de 87% en moyenne lorsque comparés avec les observations. Une amélioration de la représentation des observations après le post-traitement est visible seulement pour le bassin MAG.

2.4.2 Sorties directes vs simulations post-traitées

Tout comme pour les indicateurs précédents, le débit d'étiage 7 jours ne fait pas exception. Les différences sont bien marquées entre les sorties directes des modèles et les données post-traitées. En effet, 63% des simulations sont différentes pour l'approche multi-modèle hydrologique. En ce qui a trait à la deuxième approche, les résultats sur la Côte-Nord sont similaires avec 77% de différence.

2.4.3 Méthodes de post-traitements vs méthodes de post-traitements

Dans le cas de cet indicateur à l'étude, les différences entre les méthodes de post-traitements sont plus importantes et de l'ordre de 36%, elles le sont aussi pour les deux méthodes provenant de la même famille de la correction de biais (CQT et LOC) 31%. Ces conclusions se confirment avec les résultats de la seconde approche qui démontrent des différences plus marquées de 32% entre les méthodes de post-traitements ainsi qu'une différence de 29% entre les deux méthodes de la famille de correction de biais (CQT et LOC).

a)

SSA	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	HSA	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		100	100	100	100	OBS		77	0	44	0
DIR			66	66	97	DIR			59	53	75
CQT				10	62	CQT				48	1
LOC					71	LOC					40
PQT/PDM						PQT/PDM					

HYD	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	CEQ	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		100	100	100	100	OBS		98	100	100	100
DIR			51	39	63	DIR			61	53	60
CQT				31	16	CQT				49	7
LOC					26	LOC					53
PQT/PDM						PQT/PDM					

HMS	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		63	14	28	0
DIR			66	63	67
CQT				16	44
LOC					69
PQT/PDM					

b)

TON	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	GOD	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	PAU	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		99	100	100	100	OBS		96	100	100	100	OBS		100	100	100	100
DIR			73	87	61	DIR			72	89	60	DIR			88	86	67
CQT				16	6	CQT				30	17	CQT				51	39
LOC					49	LOC					53	LOC					53
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

MAG	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	ROM	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	NAT	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		83	14	40	0	OBS		90	100	51	100	OBS		66	66	51	100
DIR			76	94	75	DIR			87	90	82	DIR			84	86	87
CQT				10	1	CQT				45	34	CQT				36	54
LOC					36	LOC					58	LOC					54
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

MOI	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	MEC	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM	MAN	OBS	DIR	CQT	LOC	PQT/PDM
OBS		87	100	100	100	OBS		100	100	100	100	OBS		100	100	100	100
DIR			77	89	66	DIR			84	94	80	DIR			42	71	37
CQT				25	7	CQT				27	0	CQT				19	10
LOC					53	LOC					42	LOC					41
PQT/PDM						PQT/PDM						PQT/PDM					

Tableau 5 : Pourcentage des scénarios hydrologiques avec une différence statistiquement significative entre les distributions de débits d'étiage 7 jours annuelles. Les tableaux en a) montrent les résultats pour chacun des modèles hydrologiques pour le bassin Chute-du-Diable et ceux en b) montrent les résultats pour chacun des bassins hydrologiques de la Côte-Nord simulé par SSARR.

Chapitre 3 : Impact du post-traitement sur le signal de changement hydrologique.

Dans les sous-tableaux du Tableau 6a, il est possible de voir la quantité de modèles hydrologiques avec une différence significative entre les différentes distributions des différences entre les moyennes climatiques futures des différents indicateurs (moyenne, médiane, maximum, débit d'étiage 7 jours) avec ceux de la période de référence. Quant à lui, le Tableau 6b présente le nombre de bassins hydrologiques avec une différence significative pour les mêmes indicateurs hydrologiques.

3.1 Sorties directes vs simulations post-traitées

À la première ligne des sous-tableaux, il est possible de quantifier la différence entre le signal de changement climatique de la méthode directe avec les autres méthodes de post-traitements. Pour la médiane, le maximum annuel ainsi que le débit d'étiage de 7 jours, la méthode directe est significativement différente pour 63% des cas. Les résultats obtenus pour la moyenne sont beaucoup plus faibles avec 10% de différence significative. Tant qu'aux résultats de la seconde approche visibles au Tableau 6b, l'ensemble des indicateurs donnent des résultats similaires avec 61% de différence significative.

3.2 Méthodes de post-traitements vs méthodes de post-traitements

Pour l'analyse multi-modèle hydrologique du bassin Chute-du-Diable, les différences entre l'ensemble des méthodes de post-traitement pour les valeurs de tendance centrale sont plutôt faibles de 17%. Les extrêmes (maximum annuel et débit d'étiage 7 jours) ont tant qu'à eux des différences plus marquées de 58%. La seconde approche donne sensiblement le même résultat (57%) indépendamment du type d'indicateur étudié.

3.2.1 Famille de la correction de biais (CQT, LOC)

Les différences entre ces deux méthodes de post-traitements issues de la même famille de la correction de biais sont plutôt faibles. Effectivement, il existe 30% de différences significatives entre CQT et LOC pour l'analyse multi-modèle. L'analyse sur la Côte-Nord montre une différence encore plus faible de 6%.

3.2.2 Famille des perturbations (PQT, PDM)

En ce qui concerne les deux méthodes provenant de la famille des perturbations, les différences sont bien marquées pour l'analyse des extrêmes (maximum annuel et le débit d'étiage 7-jours) avec 80% des modèles hydrologiques ayant une différence significative. En ce qui concerne la seconde approche, les différences sont de 100%. Ces résultats ne sont pas surprenant, car contrairement à PQT, PDM n'effectue pas de correction des quantiles et il est ainsi intuitif que les résultats de ces deux approches soient différents pour reproduire les extrêmes.

Dans le cas des valeurs centrales (moyenne et médiane), les différences sont moins marquées. Pour la première approche elles sont de 10% et de 50% pour la seconde.

a)

Moy	DIR	CQT	LOC	PQT	PDM	Med	DIR	CQT	LOC	PQT	PDM
DIR		0	1	0	1	DIR		4	3	5	4
CQT			2	0	0	CQT			0	1	2
LOC				0	3	LOC				0	1
PQT					0	PQT					1
PDM						PDM					

Max	DIR	CQT	LOC	PQT	PDM	Q2-7	DIR	CQT	LOC	PQT	PDM
DIR		0	5	3	1	DIR		2	3	4	4
CQT			2	0	4	CQT			2	1	4
LOC				2	5	LOC				3	4
PQT					5	PQT					3
PDM						PDM					

b)

Moy	DIR	CQT	LOC	PQT	PDM	Med	DIR	CQT	LOC	PQT	PDM
DIR		1	1	9	5	DIR		2	1	6	7
CQT			0	7	4	CQT			0	8	7
LOC				9	2	LOC				8	7
PQT					9	PQT					0
PDM						PDM					

Max	DIR	CQT	LOC	PQT	PDM	Q2-7	DIR	CQT	LOC	PQT	PDM
DIR		6	6	7	6	DIR		7	5	9	9
CQT			1	6	4	CQT			1	1	8
LOC				7	3	LOC				4	8
PQT					9	PQT					1
PDM						PDM					

Tableau 6 : Différence significative entre les différentes distributions de changement projeté (FUT – REF) des quatre indicateurs à l'étude : moyenne, médiane, maximum annuel et débit d'étiage 7 jours. Les chiffres dans les tableaux représentent a) le nombre de modèle hydrologique (sur 5) et b) le nombre de bassin hydrologique (sur 9).

Conclusion

La présente étude visait à évaluer la banque de données (cQ)² afin de prendre certaines décisions face à la nouvelle génération de celle-ci. Deux approches ont été utilisées pour évaluer les différences entre les méthodes de post-traitement utilisées. Premièrement une approche multi-modèle hydrologique (SSARR, HSAMI, HYDROTEL, CEQUEAU, HEC-HMS) pour le bassin de la Chute-du-Diable et en deuxième lieu, une analyse multi-bassin versant (Manicouagan (MAN), Godbout (GOD), Moisie (MOI), Magpie (MAG), Au Tonnerre (TON), Romaine (ROM), Natashquan (NAT), Petit Mécatina (MEC) et St-Paul (PAU)) de la région de la Côte-Nord à l'aide du modèle SSARR. Le test de Kolmogorov-Smirnov est celui sélectionné pour définir quelles distributions des débits simulés ont une différence statistiquement significative entre-elles et ainsi d'établir s'il existe un impact à utiliser une méthode plutôt qu'une autre pour l'analyse de variables hydrologiques. À la lumière des résultats précédents, voici les principales conclusions.

La première partie des résultats s'est intéressé à la période de référence et à quatre indicateurs hydrologiques (moyenne, médiane, maximum annuel et débit d'étiage 7 jours). À partir de ces résultats, le post-traitement des données semble essentiel. En effet, dans 68% des cas en moyenne, les scénarios hydrologiques simulés avec les sorties directes sont significativement différents de ceux simulés avec des données post-traitées. Il serait toutefois intéressant de faire une analyse complémentaire concernant le 32% restant pour qui aucune différence significative n'est observée. Il est légitime de se demander s'il s'agit toujours de la même simulation hydrologique qui donne des résultats similaires indépendamment de l'indicateur, du modèle hydrologique ou de la méthode de post-traitement. Une analyse plus approfondie à ce sujet serait nécessaire. En deuxième lieu, si l'on compare les simulations post-traitées entre-elles, il est possible de voir que pour une analyse de tendance centrale (moyenne et médiane) les différences sont plutôt faibles de 9% en moyenne et qu'au contraire, pour les extrêmes (maximum annuel et débit d'étiage 7 jours) il serait plus important de choisir adéquatement la méthode de post-traitement, car les différences s'élèvent à 27% en moyenne.

Le but ultime du projet (cQ)² est d'évaluer l'impact des changements climatiques sur l'hydrologie québécoise, donc l'emphase des conclusions sera mise sur cette partie du travail. Plusieurs études en contexte de changement climatique n'effectuent aucune correction de biais et pose plutôt l'hypothèse que lorsqu'on s'intéresse au changement dans le futur relatif à la période de référence, le biais propre à chacune des périodes s'annule. Toutefois, à la lumière des résultats de la présente étude, il a été démontré qu'il existe bel et bien une différence significative entre les sorties directes et les données post-traitées (Tableau 6). En effet, les résultats montrent que le biais ne s'annule pas à tout coup, ou ne s'annule pas pour tous les indicateurs. Une importante constatation de cette étude est la nécessité d'effectuer une correction de biais non seulement pour la période de référence, mais aussi dans le cadre d'études d'impact de changement climatique sur certaines variables hydrologiques. L'importance du post-traitement ayant été démontré, il est ensuite essentiel de choisir la bonne méthode. Dans les résultats montrés précédemment, il est indiqué que les différences entre les deux méthodes provenant de la même famille de la correction de biais (CQT et LOC) sont plutôt faibles. Effectivement, des différences de 30% sont calculées entre les différents modèles hydrologiques et de 6% pour l'ensemble des bassins de la Côte-Nord. Une analyse plus poussée sur un territoire plus vaste pourrait aider à émettre des conclusions plus robustes, mais à la lumière de ces résultats préliminaires, il pourrait être envisageable de sélectionner une seule de ces deux approches étant donné que celles-ci donnent des résultats plutôt similaires et qu'il ne semble

pas avoir de valeur ajoutée à utiliser les deux. D'un autre côté, si l'on analyse les résultats obtenus par les deux méthodes des perturbations (PQT et PDM) les différences sont très marquées pour les extrêmes avec 90% de différences significatives. En ce qui concerne les valeurs de tendance centrales, les distributions sont différentes en moyenne dans 30% des cas. Dans le cas échéant, les méthodes provenant de la famille des perturbations dénotent des différences plus marquées, surtout pour les extrêmes. Il pourrait aussi dans cette situation être envisageable de se questionner sur la validité d'utiliser les deux approches. Effectivement, des questionnements sur le raisonnement physique derrière l'application des méthodes s'impliquent et une méthode corrigeant les quantiles (PQT) obtiendra probablement de meilleurs résultats pour une étude sur les extrêmes.

Pour le futur, des analyses plus approfondies doivent être entreprises pour confirmer la robustesse des résultats présentés dans la présente étude. Si les conclusions obtenues sur un plus grand échantillonnage de bassins sont consistant, il faudrait envisager l'exclusion de certaines méthodes de post-traitement.

Références bibliographiques

Chen, J., Brissette, F. P., Chaumont, D., & Braun, M. (2013). Performance and uncertainty evaluation of empirical downscaling methods in quantifying the climate change impacts on hydrology over two North American river basins. *Journal of Hydrology*, 479, 200–214. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.11.062

Annexe A : Figures complémentaires au Chapitre 2

Types de comparaisons		Approche 1	Approche 2
		Multi-modèles hydrologiques pour le bassin Chute-du-Diable	Multi-bassins pour la région de la Côte-Nord simulé par SSARR
Observations	Moyenne	35%	40%
VS	Médiane	25%	65%
Simulations post-traitées	Maximum annuel	70%	70%
	Débit d'étiage 7 jours	66%	86%
Sorties directes	Moyenne	72%	70%
VS	Médiane	63%	67%
Simulations post-traitées	Maximum annuel	65%	64%
	Débit d'étiage 7 jours	63%	77%
Simulations post-traitées	Moyenne	8%	4%
	Médiane	21%	2%
VS	Maximum annuel	14%	24%
Simulations post-traitées	Débit d'étiage 7 jours	36%	32%

Tableau 7 : Synthèse des résultats du Chapitre 2 sur les différences entre les types de simulations pour la période de référence.

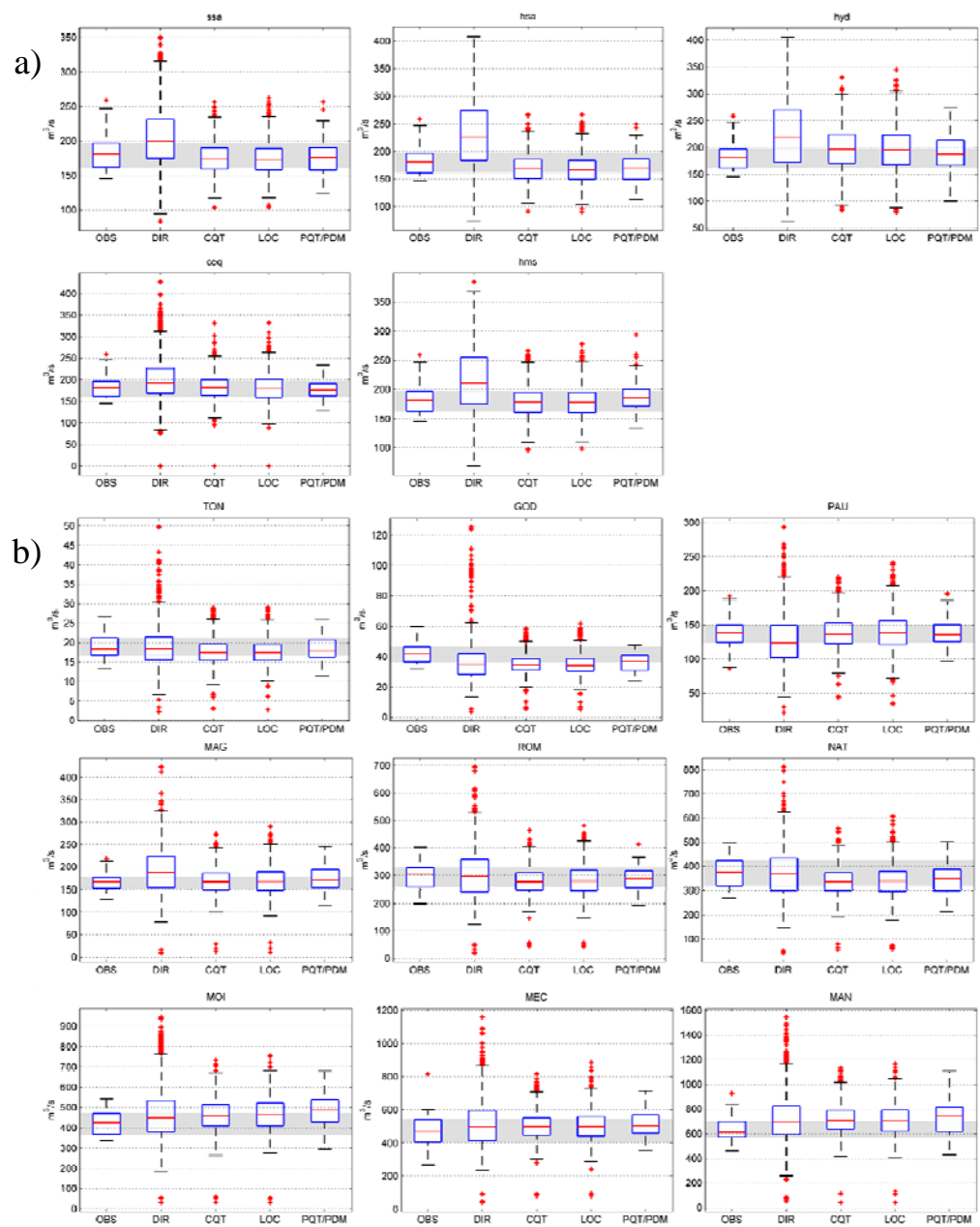


Figure 4 : Distribution des moyennes annuelles des 87 simulations hydrologiques pour les observations (OBS), les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT/PDM). L'ombrage gris représente l'intervalle interquartile des observations. Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.

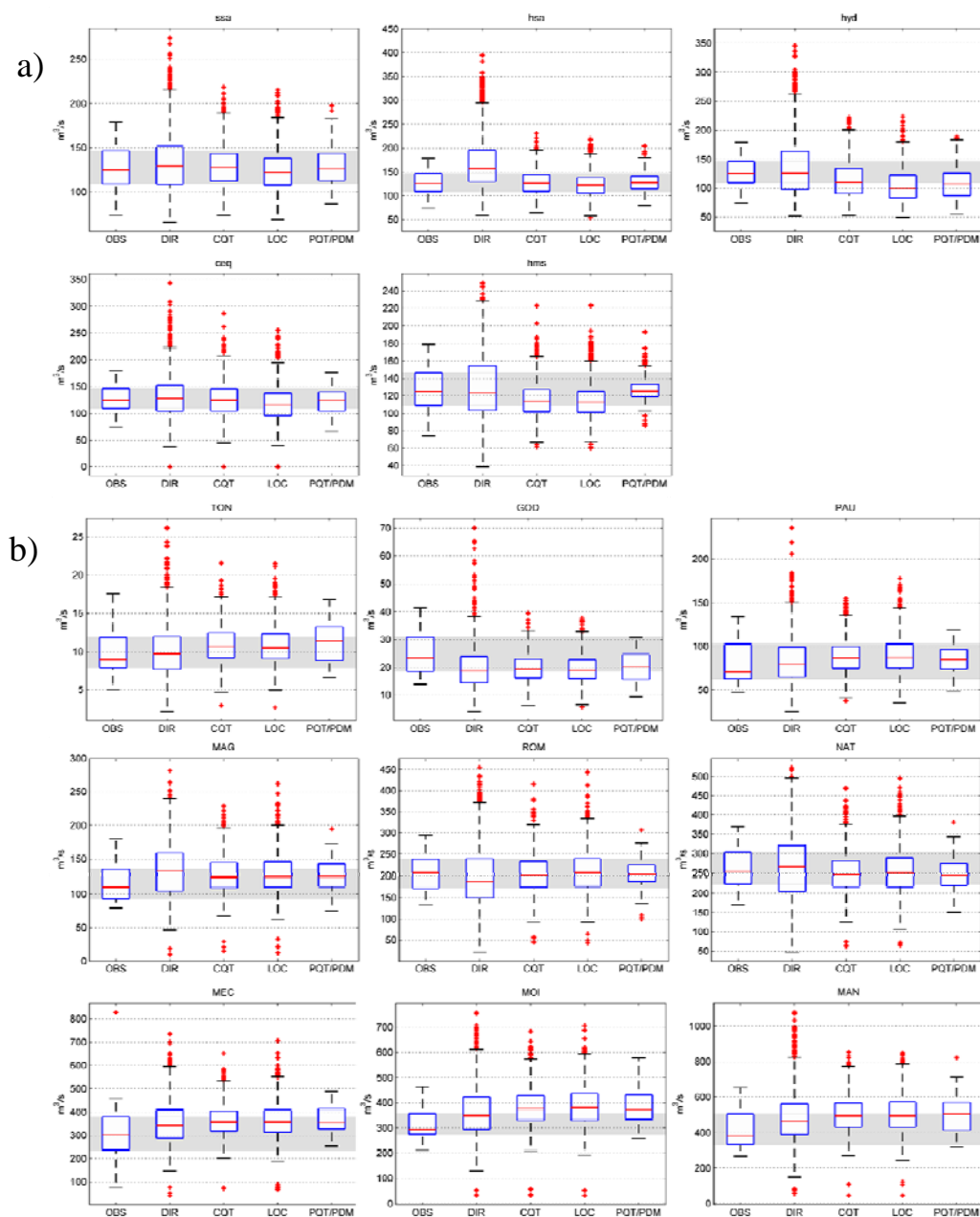


Figure 5 : Distribution des médianes annuelles des 87 simulations hydrologiques pour les observations (OBS), les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT/PDM). L'ombrage gris représente l'intervalle interquartile des observations. Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.

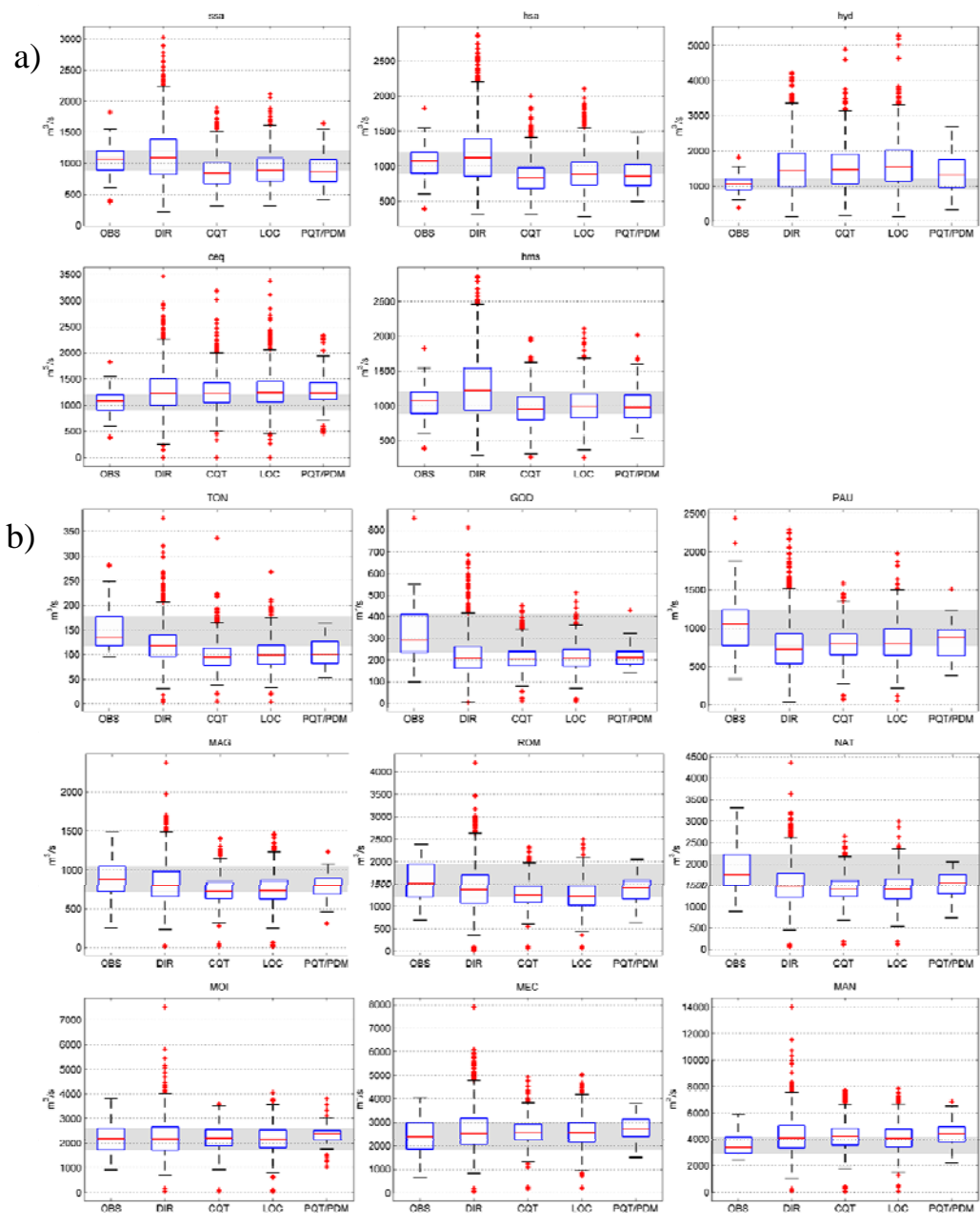


Figure 6 : Distribution des maximums annuels des 87 simulations hydrologiques pour les observations (OBS), les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT/PDM). L'ombrage gris représente l'intervalle interquartile des observations. Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.

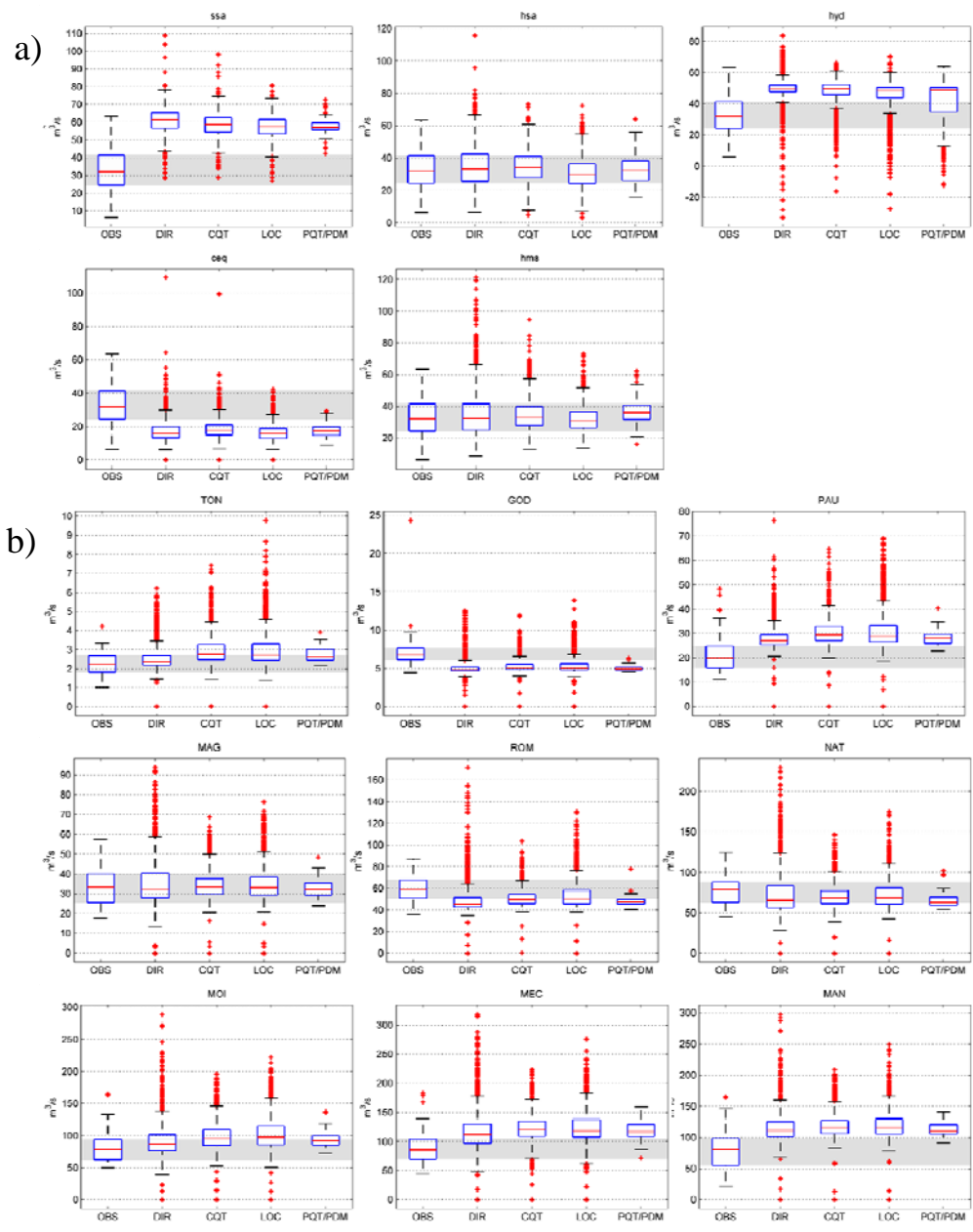


Figure 7 : Distribution des débits d'étéage 7 jours annuels des 87 simulations hydrologiques pour les observations (OBS), les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT/PDM). L'ombrage gris représente l'intervalle interquartile des observations. Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.

Annexe B : Figures complémentaires au Chapitre 3

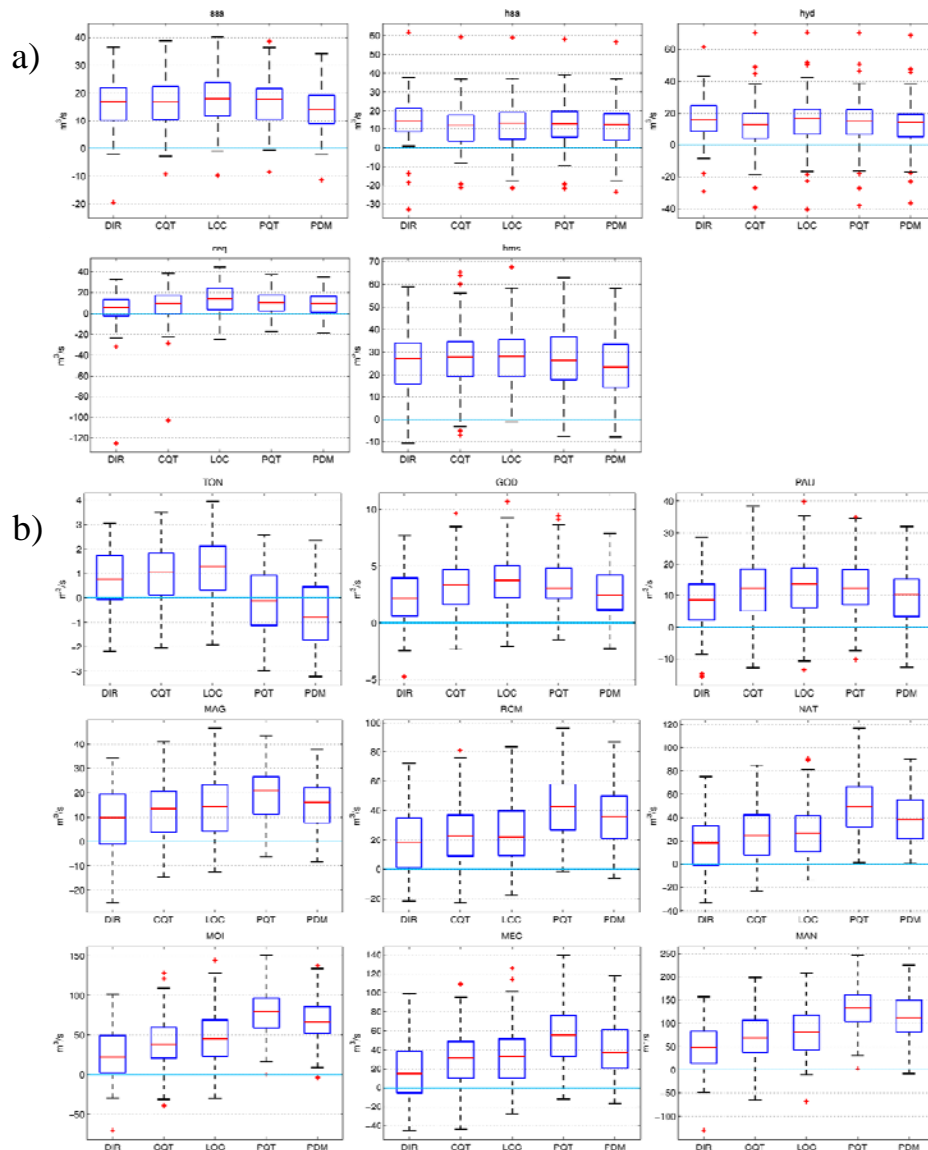


Figure 8 : Distribution des différences des moyennes climatiques de la période future avec celles de la période de référence (FUT – REF) pour l’ensemble des 87 simulations hydrologiques selon les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT, PDM). Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.

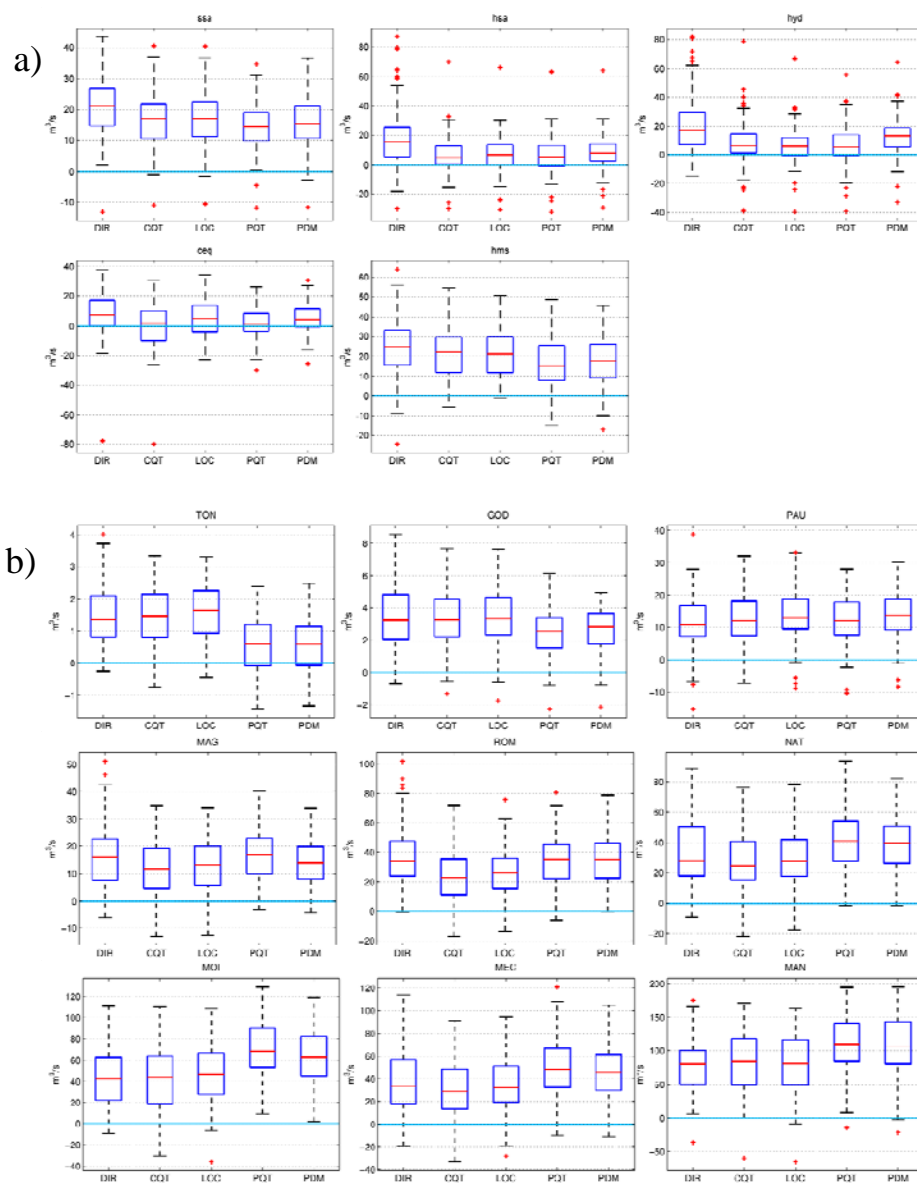


Figure 9 : Distribution des différences des moyennes climatiques des médianes de la période future avec celles de la période de référence (FUT – REF) pour l'ensemble des 87 simulations hydrologiques selon les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT, PDM). Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.

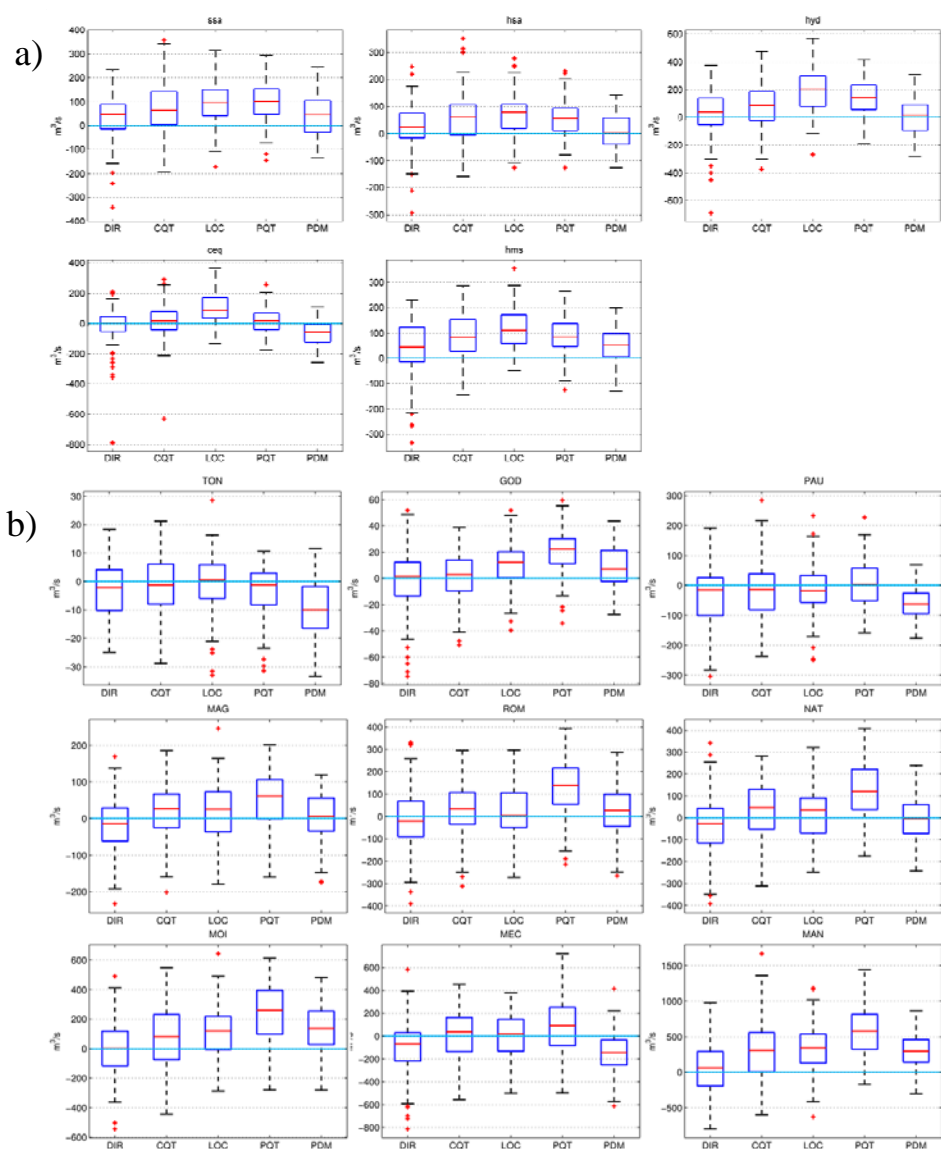


Figure 10 : Distribution des différences des moyennes climatiques des maximums annuels de la période future avec ceux de la période de référence (FUT – REF) pour l’ensemble des 87 simulations hydrologiques selon les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT, PDM). Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.

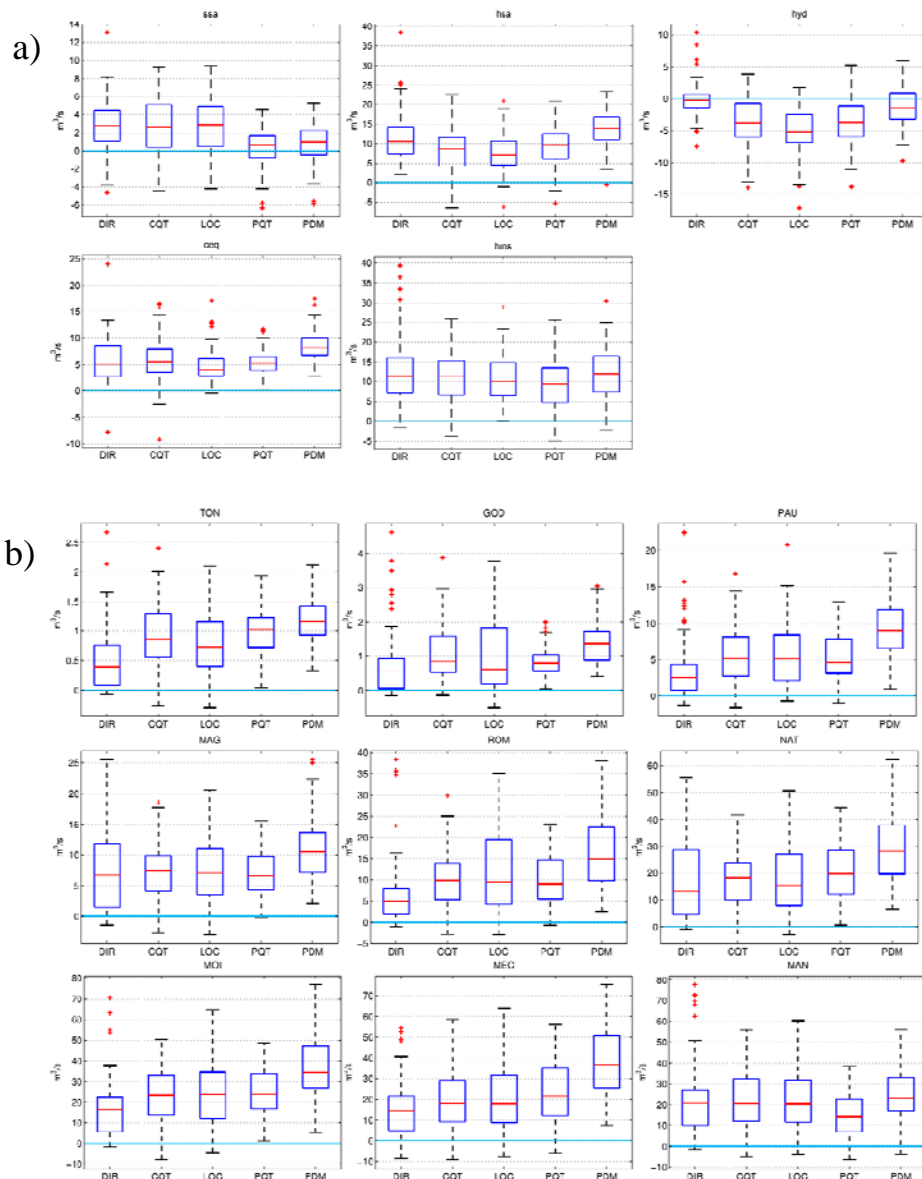


Figure 11 : Distribution des différences des moyennes climatiques des débits d'étiages 7 jours de la période future avec ceux de la période de référence (FUT – REF) pour l'ensemble des 87 simulations hydrologiques selon les sorties directes (DIR) et les méthodes de post-traitement (CQT, LOC, PQT, PDM). Les boxplots sont montrés pour les deux différentes approches, en a) pour différents modèles hydrologiques simulant le bassin Chute-du-Diable et en b) pour différents bassins de la Côte-Nord simulés par SSARR.