

*Validation du MRCC en climat actuel
(1961–1999) : les quantiles à 10 et 90%
pour l'écoulement annuel*

Rapport de recherche No R1070

Juin 2009

Rapport de recherche

Projet RDC-Incertitude

ÉVALUATION ET PRISE EN COMPTE DES
INCERTITUDES POUR LES PRÉCIPITATIONS ET LES
ÉCOULEMENTS SIMULÉS PAR LE MODÈLE
RÉGIONAL CANADIEN DU CLIMAT (MRCC)

*Validation du MRCC en climat actuel (1961–1999) :
les quantiles à 10 et 90% pour l'écoulement annuel*

Par

Karine Dion, Mériem Saïd et Anne-Catherine Favre

Rapport de recherche No R1070
INRS-Eau, Terre et Environnement

17 juin 2009

TABLE DES MATIÈRES

Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
1 Introduction	1
1.1 Données utilisées	1
1.2 Problématique	2
2 Intervalles de confiance pour les quantiles à 10 et à 90%	5
3 Analyse comparative des quantiles	8
3.1 Régression linéaire entre les quantiles	8
3.2 Étude des relations en moyenne et en variance	10
4 Conclusions	12
Annexes	14
A Compléments à la section 1	15
A.1 Caractéristiques des séries observées	15
A.2 Comparaison des quantiles empiriques	16
B Compléments à la section 2	27
B.1 Un peu de théorie sur l'estimation des intervalles de confiance par <i>bootstrap</i>	27
B.2 Résultats des intervalles de confiance	31
C Compléments à la section 3.1	36
D Compléments à la section 3.2	39
Références	60

LISTE DES TABLEAUX

1.1	Simulations du MRCC en fonction du pilote et du domaine.	2
3.1	Paramètres estimés et seuils des droites de régression ajustées entre les Q_{10} des observations et les Q_{10} des simulations.	9
3.2	Paramètres estimés et seuils des droites de régression ajustées entre les Q_{90} des observations et les Q_{90} des simulations.	9
A.1	Observations disponibles et manquantes de l'écoulement annuel pour les 21 bassins versants de la péninsule Québec/Labrador.	15
B.1	Intervalles de confiance à 95% (mm/j) des Q_{10} sur le domaine AMNO pour les 21 bassins.	32
B.2	Intervalles de confiance à 95% (mm/j) des Q_{90} sur le domaine AMNO pour les 21 bassins.	33
B.3	Intervalles de confiance à 95% (mm/j) des Q_{10} sur le domaine QC pour les 21 bassins.	34
B.4	Intervalles de confiance à 95% (mm/j) des Q_{90} sur le domaine QC pour les 21 bassins.	35

LISTE DES FIGURES

1.1	Carte des bassins versants de la péninsule Québec/Labrador	1
1.2	Les deux quantiles (Q_{10} et Q_{90}) des observations et des simulations pour les 21 bassins et les domaines QC et AMNO	4
2.1	Intervalles de confiance à 95% des Q_{10} des observations et simulations pour les 21 bassins et les domaines QC et AMNO	6
2.2	Intervalles de confiance à 95% des Q_{90} des observations et simulations pour les 21 bassins et les domaines QC et AMNO	7
3.1	Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>ARN</i>	11
A.1	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>ARN</i>	16
A.2	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>BAL</i>	17
A.3	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>BEL</i>	17
A.4	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>BOM</i>	18
A.5	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>CAN</i>	18
A.6	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>CHU</i>	19
A.7	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>FEU</i>	19
A.8	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>GEO</i>	20
A.9	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>GRB</i>	20
A.10	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>LGR</i>	21
A.11	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>MAN</i>	21
A.12	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>MEL</i>	22
A.13	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>MOI</i>	22
A.14	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>NAT</i>	23

A.15	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>PYR</i>	23
A.16	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>RDO</i>	24
A.17	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>ROM</i>	24
A.18	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>RUP</i>	25
A.19	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>SAG</i>	25
A.20	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>STM</i>	26
A.21	Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin <i>WAS</i>	26
B.1	Histogramme des <i>bootstrap</i> , intervalles de confiance à 95% et valeur estimée du Q_{10} des observations	30
C.1	Régression linéaire entre les Q_{10} des simulations et les Q_{10} des observations pour les 21 bassins	37
C.2	Régression linéaire entre les Q_{90} des simulations et les Q_{90} des observations pour les 21 bassins	38
D.1	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>BAL</i>	40
D.2	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>BEL</i>	41
D.3	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>BOM</i>	42
D.4	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>CAN</i>	43
D.5	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>CHU</i>	44
D.6	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>FEU</i>	45
D.7	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>GEO</i>	46
D.8	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>GRB</i>	47
D.9	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>LGR</i>	48
D.10	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>MAN</i>	49

D.11	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>MEL</i>	50
D.12	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>MOI</i>	51
D.13	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>NAT</i>	52
D.14	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>PYR</i>	53
D.15	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>RDO</i>	54
D.16	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>ROM</i>	55
D.17	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>RUP</i>	56
D.18	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>SAG</i>	57
D.19	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>STM</i>	58
D.20	Comparaison des trois relations entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin <i>WAS</i>	59

1 Introduction

1.1 Données utilisées

Dans ce rapport, nous nous intéressons à la comparaison de certains quantiles empiriques pour plusieurs simulations du MRCC et pour les 21 bassins versants de la péninsule Québec/Labrador présentés dans la figure 1.1.

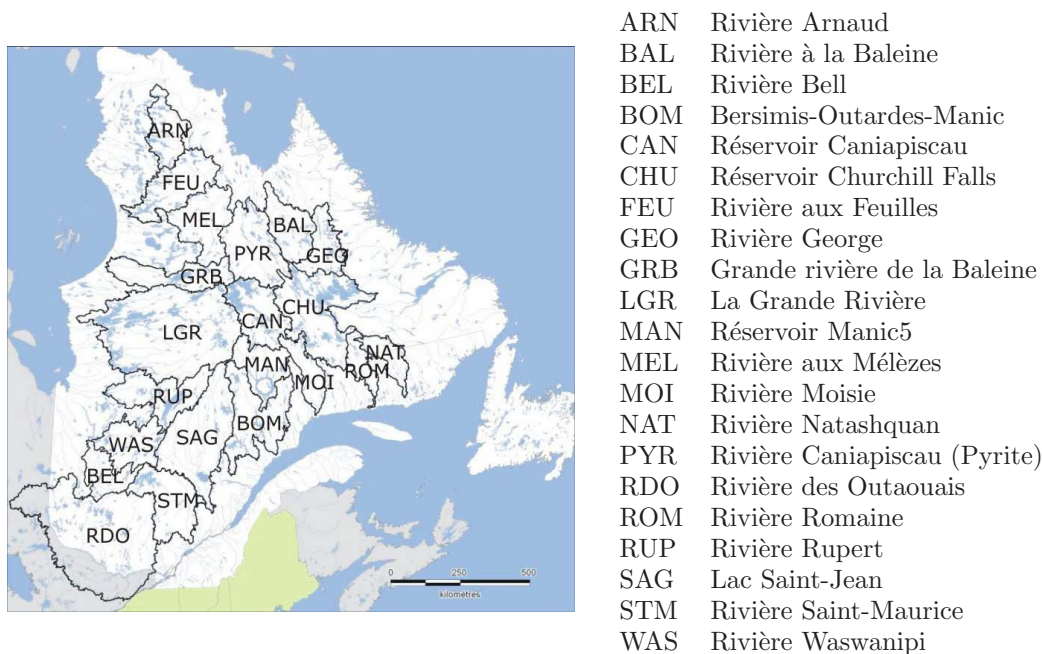


FIG. 1.1 – Carte des bassins versants de la péninsule Québec/Labrador

Nous étudions dans ce rapport les six simulations du MRCC en climat actuel (1961–1999) présentées dans le tableau 1.1, à savoir *acy*, *acz*, *adi*, *acw*, *acx* et *ade*. Toutes les séries sont issues du MRCC_V4.1.1 à l’exception de la simulation *adi* qui provient du MRCC_V4.2.0; nous pouvons cependant considérer que ces deux versions sont équivalentes par leurs configurations expérimentales. Pour les simulations pilotées par ERA40, les deux séries indiquées correspondent à la simulation initiale et à sa jumelle. Une description plus détaillée des caractéristiques (pilotes, domaines, jumelles) des différentes simulations est présentée ci-dessous.

Toutes les simulations à l’étude ont été pilotées à leurs frontières par les champs atmosphériques de réanalyses globales. Les réanalyses ERA40 proviennent de ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecasts ReAnalyses*; Uppala *et al.*, 2005). Les réanalyses NCEP sont issues de NCEP/NCAR (*National*

TAB. 1.1 – Simulations du MRCC en fonction du pilote et du domaine.

Pilote	Domaine	
	QC	AMNO
ERA40	acy-acz	acw-acx
NCEP	adi	ade

Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research; Kalnay *et al.*, 1996). Toutes les réanalyses utilisées sont disponibles publiquement sur une grille globale régulière de 2.5×2.5 degrés de latitude-longitude.

Le petit domaine (QC) est centré sur le Québec (112×88 points de grille) avec une résolution horizontale de 45 km (vrai à 60°N) du 1er janvier 1957 au 31 décembre 2002. Le grand domaine (AMNO) couvre l'Amérique du Nord (201×193 points de grille) avec une résolution horizontale de 45 km (vrai à 60°N) du 1er janvier 1958 au 31 décembre 2000.

La plupart des sorties du MRCC sont obtenues en démarrant la simulation au 01/01/1958. Les années 1958 à 1960 sont considérées comme une période “de chauffe” du modèle et sont donc par la suite exclues des analyses. Pour une configuration donnée du MRCC, une simulation “jumelle” est obtenue en démarrant la simulation un mois plus tôt, soit au 01/12/1957, puis en excluant des analyses toute la période antérieure au 01/01/1961. Des simulations jumelles diffèrent donc uniquement par le mois de démarrage de la simulation et leur comparaison permet ainsi d'évaluer la variabilité interne du modèle.

Pour toutes les simulations du tableau 1.1, un pilotage spectral a été appliqué aux vents de grande échelle (Riette et Caya, 2002) à l'intérieur du domaine régional, afin de maintenir la circulation à grande échelle du MRCC près de celle du pilote.

1.2 Problématique

La question centrale à laquelle nous voulons répondre est de savoir si le MRCC est capable de reproduire certains quantiles “extrêmes” et, en particulier, les quantiles à 10 et 90% associés respectivement aux écoulements faibles et forts¹. Nous nous interrogeons également sur l'effet éventuel du pilote et du domaine sur la reproduction des quantiles, ainsi que sur l'importance de la variabilité interne qui sera étudiée par le biais des “jumelles”.

¹Comme nous disposons de séries observées et simulées couvrant une période d'au plus 39 ans, il ne nous semble pas possible d'étudier des quantiles “plus extrêmes”.

Remarque 1.1. *Les séries observées ne sont pas complètes pour tous les bassins (voir annexe A.1), et possèdent un nombre d'observations couvrant 17 à 39 années. Nous calculons toujours les quantiles empiriques des simulations sur les périodes concomitantes avec les séries observées afin que les comparaisons des quantiles des observations et des simulations soient pertinentes.*

Nous débutons nos analyses par une comparaison graphique des quantiles empiriques à 10% et 90% (Q_{10} et Q_{90} , respectivement) pour les 21 bassins. Tout d'abord définissons la notion de quantile, soient x_1, x_2, \dots, x_n , un échantillon de taille n et p une proportion entre 0% et 100%. Le quantile empirique Q_p est donc la valeur telle que la proportion p des observations soient plus petites que Q_p .

La figure 1.2 présente ces deux quantiles² pour les séries observées et simulées en distinguant les deux domaines. Nous remarquons que sur le petit domaine (QC) les quantiles des simulations semblent similaires aux quantiles des observations, tandis que sur le grand domaine (AMNO) les différences entre les quantiles augmentent. En effet, pour plusieurs bassins, les simulations sur le domaine AMNO possèdent des quantiles empiriques inférieurs aux quantiles des observations. Nous observons également que les simulations pilotées par NCEP conduisent à des quantiles inférieurs aux séries pilotées par ERA40.

Une étude complémentaire de l'ensemble des quantiles, présentée à l'annexe A, conduit aux mêmes conclusions. En effet, les figures A.1 à A.21 montrent que les simulations du MRCC sous-estiment généralement les quantiles des observations, sauf pour le bassin *RDO* sur le domaine QC. Également, la sous-estimation des observations augmente avec les simulations sur le domaine AMNO et ce pour tous les bassins. Nous remarquons également que les queues des distributions des observations et des simulations s'éloignent généralement d'une distribution normale. Notons que des problèmes de normalité, causés par des données extrêmes dans les queues de distribution, sont détectés pour certains bassins (*BAL*, *MEL* et *MAN*).

Pour répondre à ces interrogations, nous exposons dans la section 2, l'étude des intervalles de confiance à 95% obtenus par *bootstrap* pour les quantiles empiriques Q_{10} et Q_{90} . Dans la section 3, nous présentons une analyse par régressions linéaires entre les quantiles des simulations et les quantiles des observations et une étude des relations en moyenne et en variance entre les quantiles observés et simulés. Finalement, la section 4 dresse les principales conclusions de cette étude.

²Nous avons utilisé la fonction `prctile` disponible par défaut dans `Matlab` pour estimer les quantiles empiriques Q_{10} et Q_{90} .

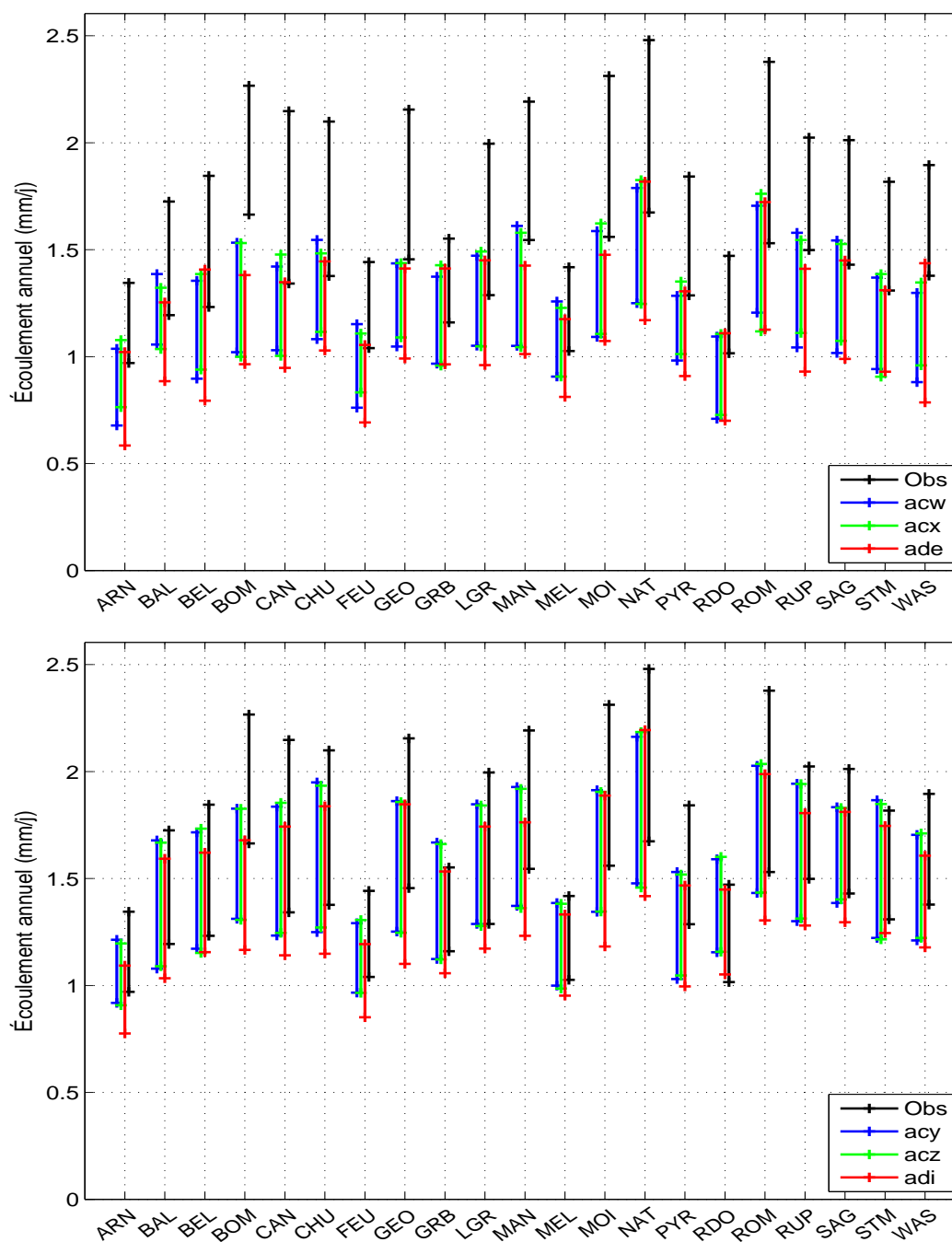


FIG. 1.2 – Les deux quantiles (Q_{10} et Q_{90}) des observations et des simulations pour les 21 bassins et les domaines AMNO (haut) et QC (bas)

2 Intervalles de confiance pour les quantiles à 10 et à 90%

Cette section est consacrée à l'étude des intervalles de confiance pour les quantiles empiriques Q_{10} et Q_{90} . [Ferro et al. \(2005\)](#) proposent d'estimer les intervalles de confiance à 95% des quantiles empiriques par *bootstrap*³.

Les figures [2.1](#) et [2.2](#) présentent donc ces intervalles de confiance respectivement pour les Q_{10} et Q_{90} . Les intervalles de confiance des réanalyses sur le domaine QC semblent similaires aux intervalles des observations, sauf pour certains bassins (*BOM*, *CAN*, *MAN*, *MOI*, *NAT* et *PYR*). Sur le domaine AMNO, les intervalles de confiance pour les deux quantiles à l'étude sont généralement différents (ils ne se recoupent pas), de ceux obtenus pour la série observée sauf pour les bassins *GRB* et *MEL*.

Dans une moindre mesure, le pilote semble influencer légèrement la capacité du MRCC à reproduire les quantiles des observations. En effet, les intervalles de confiance des simulations pilotées par NCEP présentent plus de différences avec les intervalles de confiance des observations que les simulations pilotées par ERA. Dans l'annexe [B.2](#), les tableaux [B.3](#) à [B.2](#) exposent les bornes inférieures et supérieures de ces intervalles de confiance par simulation et par bassin.

³Nous avons utilisé la fonction `bootci` de `Matlab` pour estimer les intervalles de confiance par *bootstrap*. Les différentes méthodes d'estimation de ces intervalles sont brièvement exposées dans l'annexe [B.1](#).

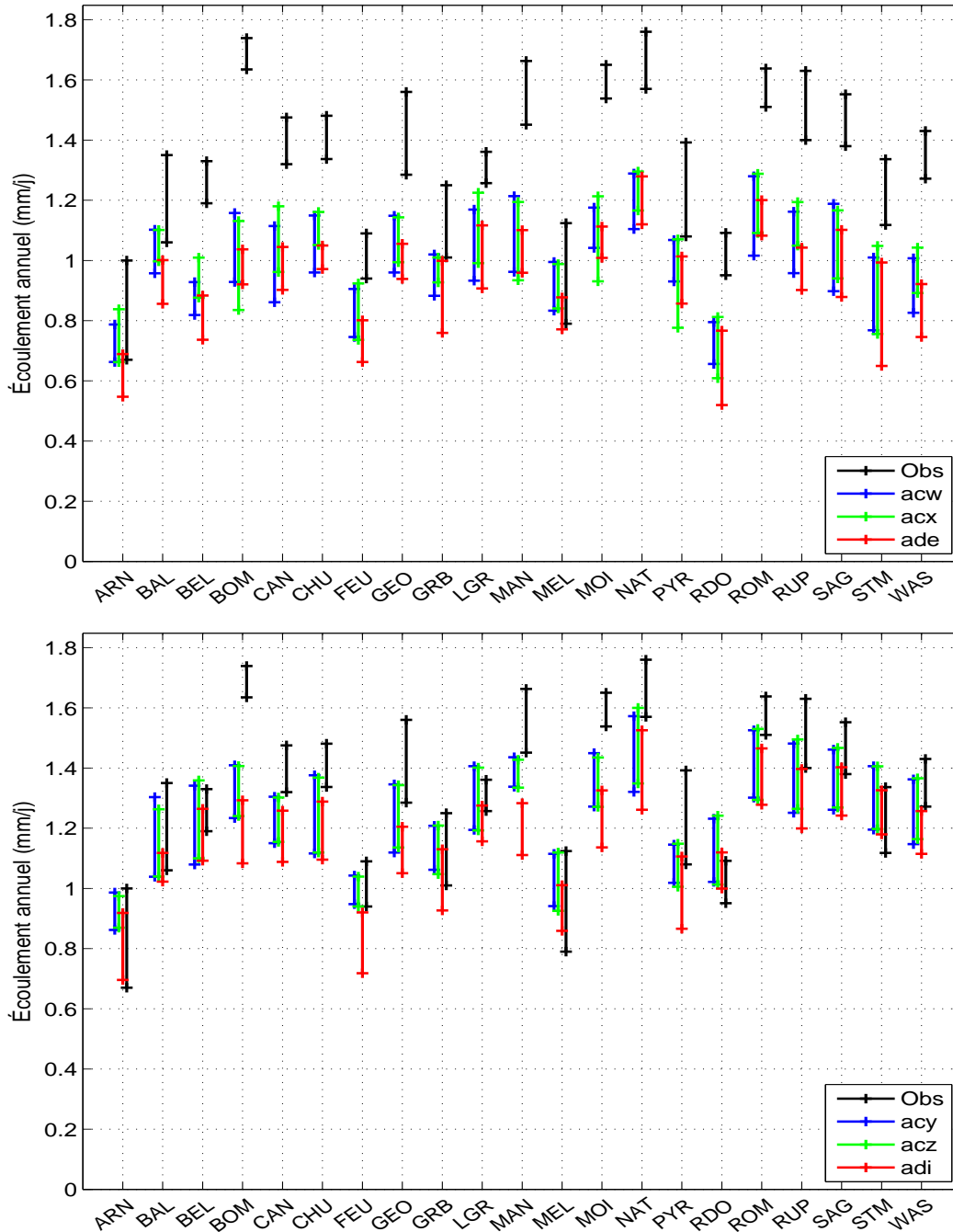


FIG. 2.1 – Intervalles de confiance à 95% des Q_{10} des observations et simulations pour les 21 bassins et les domaines AMNO (haut) et QC (bas)

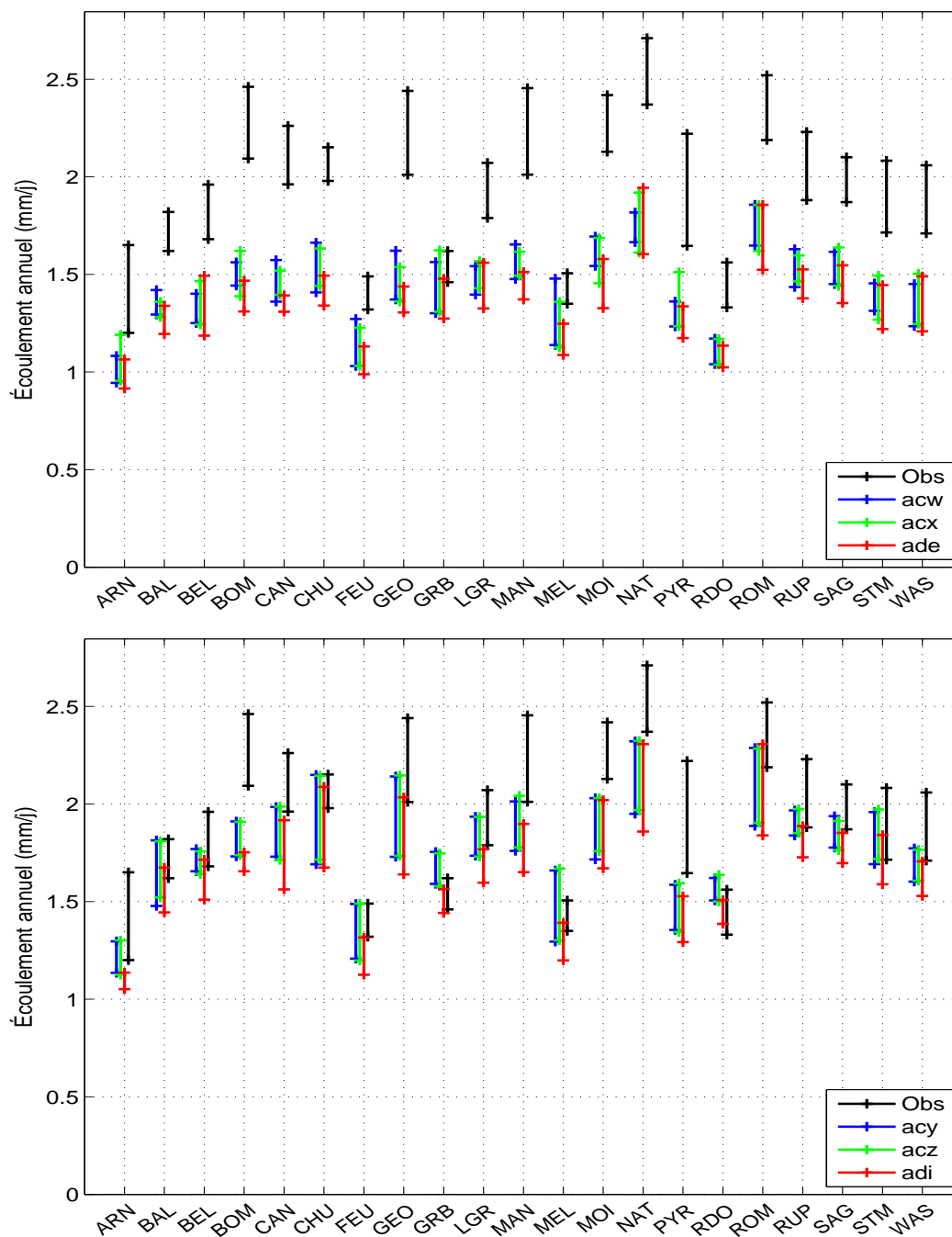


FIG. 2.2 – Intervalles de confiance à 95% des Q_{90} des observations et simulations pour les 21 bassins et les domaines AMNO (haut) et QC (bas)

3 Analyse comparative des quantiles

Dans cette section, nous étudions la capacité des simulations issues du MRCC à reproduire les deux quantiles empiriques (Q_{10} et Q_{90}) des observations à l'aide de deux types de comparaisons, soit par des régressions linéaires entre les quantiles des simulations et les quantiles des observations (section 3.1), soit par des relations en moyenne et en variance entre les quantiles des observations et des simulations (section 3.2).

3.1 Régression linéaire entre les quantiles des simulations et les quantiles des observations

Afin d'étudier le lien entre les quantiles du MRCC et les quantiles des observations nous effectuons une régression linéaire⁴ entre ces deux quantiles. Pour cela, nous ajustons une droite de régression sous la forme $y = \alpha + \beta x + \varepsilon$ où x représente le vecteur observé et y le vecteur simulé. Nous testons les hypothèses suivantes pour chacune des droites de régression ajustées :

$$\begin{aligned} \mathcal{H}_0 : \alpha = 0 \text{ vs } \mathcal{H}_1 : \alpha \neq 0 \\ \mathcal{H}_0 : \beta = 1 \text{ vs } \mathcal{H}_1 : \beta \neq 1. \end{aligned}$$

Pour ce faire, nous avons utilisé les statistiques respectives suivantes :

$$\begin{aligned} t_\alpha &= \frac{\alpha}{s/\sqrt{n}} \\ t_\beta &= \frac{\beta - 1}{s/\sqrt{n}}; \end{aligned}$$

où $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$. Nous rejetons l'hypothèse nulle (\mathcal{H}_0) au seuil α si la statistique est supérieure en valeur absolue au quantile $1 - \alpha/2$ d'une loi de Student à n degrés de liberté.

Les tableaux 3.1 et 3.2 résument les pentes, les ordonnées à l'origine et les seuils des tests. Notons que les cellules en jaune indiquent que nous rejetons l'hypothèse nulle au seuil $\alpha = 5\%$.

Nous remarquons que seules deux ordonnées à l'origine ne sont pas significativement différentes de zéro, soit pour les séries **acw** et **ade** des quantiles empiriques Q_{10} . De plus, toutes les pentes sont significativement inférieures à la pente unitaire

⁴Pour cette étude, nous avons utilisé la fonction `glmfit` disponible par défaut dans Matlab.

quels que soient le domaine et les séries du MRCC. Les simulations du MRCC sous-estiment donc toutes les observations et présentent un biais systématique quant à l'ordonnée.

Les figures C.1 et C.2 de l'annexe C présentent les quantiles des simulations du MRCC *vs* les quantiles des observations pour les 21 bassins sous la forme de nuage de points ainsi que la droite de régression qui a été ajustée.

TAB. 3.1 – Paramètres estimés et seuils des droites de régression ajustées entre les Q_{10} des observations et les Q_{10} des simulations.

	AMNO			QC		
	acw	acx	ade	acy	acz	adi
α	0.25	0.35	0.15	0.36	0.36	0.34
seuil	0.06	0.00	0.21	0.00	0.00	0.02
β	0.55	0.49	0.57	0.64	0.65	0.60
seuil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

TAB. 3.2 – Paramètres estimés et seuils des droites de régression ajustées entre les Q_{90} des observations et les Q_{90} des simulations.

	AMNO			QC		
	acw	acx	ade	acy	acz	adi
α	0.41	0.39	0.44	0.51	0.49	0.31
seuil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
β	0.52	0.54	0.48	0.65	0.65	0.71
seuil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

3.2 Étude des relations en moyenne et en variance entre les quantiles des observations et les quantiles des simulations

Nous analysons ici trois relations possibles, entre les quantiles des observations et les quantiles du MRCC. Ces relations sont proposées par [Ferro et al. \(2005\)](#) et sont définies comme suit :

$$\mathcal{H}_0 : Q_o - Q_s = 0 \quad (3.1)$$

$$\mathcal{H}_L : (Q_o - \mu_o) - (Q_s - \mu_s) = 0 \quad (3.2)$$

$$\mathcal{H}_{LE} : \frac{Q_o - \mu_o}{\sigma_o} - \frac{Q_s - \mu_s}{\sigma_s} = 0; \quad (3.3)$$

où Q_o et Q_s sont les quantiles des séries observées et simulées, respectivement, μ_o et μ_s sont estimés par les médianes des séries et σ_o et σ_s représentent les écarts interquartiles estimés. La première relation (3.1) étudie la différence entre chaque quantile $Q(p\%)$ des observations et des simulations. La seconde (3.2) montre la différence entre chaque quantile $Q(p\%)$ lorsque nous enlevons leurs biais respectifs. Finalement la relation (3.3) établit la différence entre chaque quantile $Q(p\%)$ lorsque nous les centrons et les réduisons.

La figure 3.1 illustre ces trois relations graphiquement pour le bassin *ARN* et pour chacune des simulations. Les figures D.1 à D.20 de l'annexe D présentent ces trois différences pour les 20 bassins restants.

Les différences entre les quantiles des observations et des simulations sont plus grandes sur le domaine AMNO que sur le domaine QC, quelle que soit la relation à l'étude. Les simulations du MRCC pilotées par NCEP conduisent généralement à une plus grande différence entre les quantiles que les simulations pilotées par ERA40.

La relation (3.1) est le plus près de zéro, cela indique que la comparaison optimale pour les analyses est celle de la différence entre les quantiles observés et simulés, sans les centrer et les réduire. En effet, lorsque nous enlevons le biais ou nous centrons et réduisons les quantiles, les courbes représentant ces relations ((3.2) et (3.3)) s'éloignent de zéro. Finalement, les quantiles des observations sont généralement supérieurs aux quantiles des simulations sauf pour les bassins *GRB* et *RDO*.

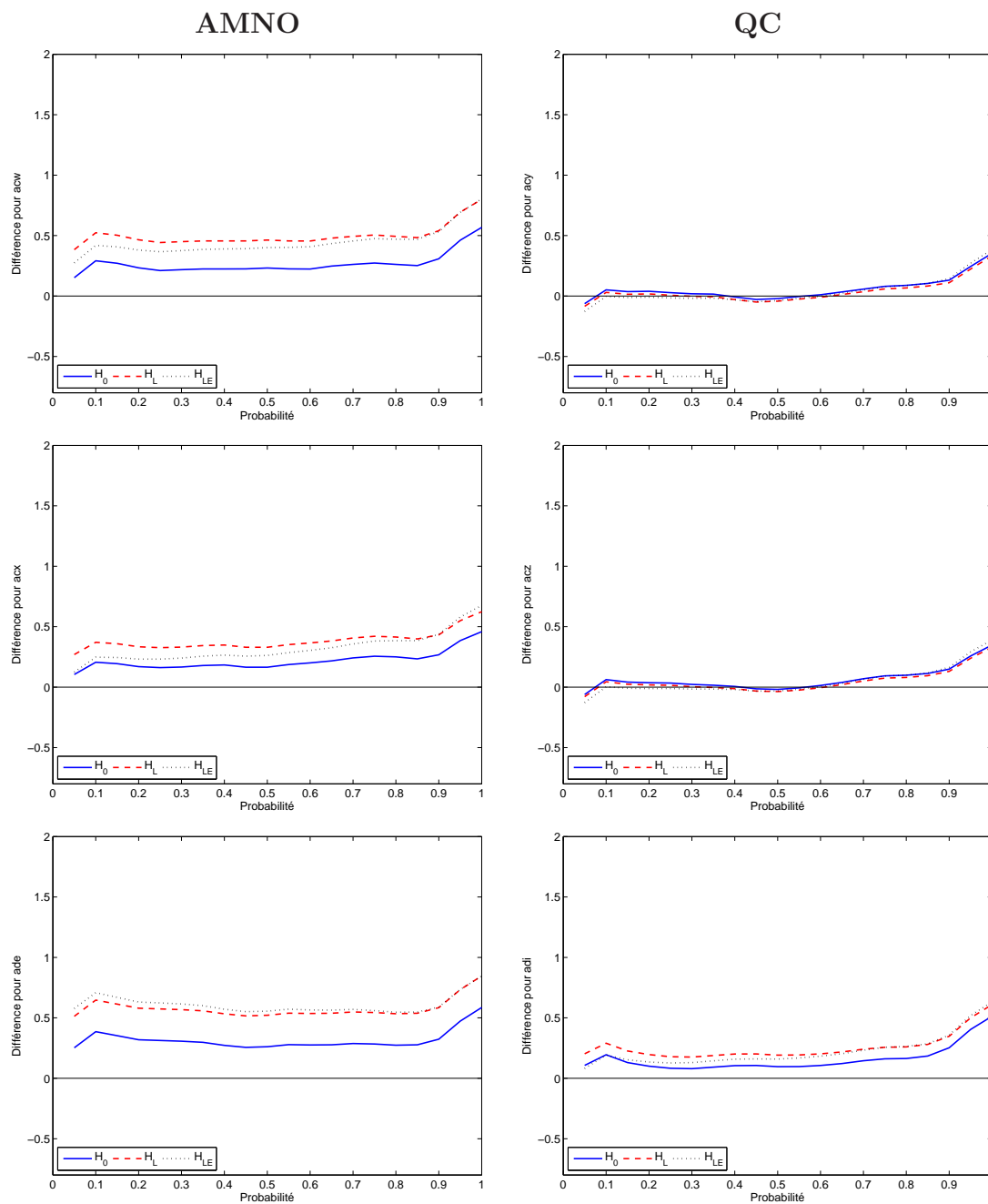


FIG. 3.1 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *ARN*

4 Conclusions

Il semble que le domaine (QC *vs* AMNO) influence la capacité des simulations du MRCC à reproduire les écoulements extrêmes observés de façon prépondérante. Dans une moindre mesure, le pilote joue un rôle. En effet, les simulations pilotées par les réanalyses NCEP semblent avoir plus de difficulté à reproduire les écoulements observés que les simulations pilotées par ERA40 (voir la figure 1.2).

Les simulations sous-estiment généralement les écoulements observés, quel que soit le quantile étudié, exception faite du bassin *RDO*, sur le domaine QC, où le comportement inverse est observé. L'étude des quantiles empiriques pour les observations et toutes les simulations ainsi que pour tous les bassins (voir les figures de l'annexe A.2) indique en outre que les distributions s'éloignent de la normalité dans leurs queues, et donc pour les quantiles extrêmes (inférieurs ou supérieurs).

L'étude des intervalles de confiance pour les quantiles empiriques Q_{10} et Q_{90} des observations et des simulations confirme les résultats précédents, c'est-à-dire que les quantiles des observations à 10% et 90% semblent mieux reproduits par les simulations sur le domaine QC et, dans une moindre mesure, pilotées par ERA40 (voir les figures de la section 2 et les tableaux de l'annexe B.2).

L'analyse des droites de régression entre les quantiles des simulations et les quantiles des observations montre que les quantiles des observations sont généralement supérieurs aux quantiles des simulations (voir les tableaux 3.1 et 3.2 de la section 3.1 et les figures de l'annexe C).

L'étude des trois relations entre les quantiles des observations et les quantiles du MRCC en moyenne et en variance préconisée par Ferro *et al.* (2005) montre qu'il n'est pas nécessaire d'enlever le biais et de réduire les quantiles pour les comparer (voir les figures de l'annexe D). Cette analyse confirme également qu'à la fois le domaine et le pilote influencent la reproduction des écoulements observés.

Une comparaison plus formelle des quantiles empiriques serait intéressante, mais à notre connaissance, ces tests n'existent pas dans la littérature.

Remerciements

Ce rapport de recherche concerne le projet RDCPJ 363679-07 intitulé “Évaluation et prise en compte des incertitudes pour les précipitations et les écoulements simulés par le Modèle Régional Canadien du Climat (MRCC)”. Ce projet est financé conjointement par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), par Ouranos, consortium sur la climatologie régionale et l’adaptation aux changements climatiques et par Hydro-Québec.

Les données du MRCC ont été générées et fournies par Ouranos.

Annexes

A Compléments à la section 1

A.1 Caractéristiques des séries observées

Le tableau A.1 présente le détail des années manquantes dans les séries observées des 21 bassins versants de la péninsule Québec/Labrador ainsi que la plus longue série continue.

TAB. A.1 – Observations disponibles et manquantes de l'écoulement annuel pour les 21 bassins versants de la péninsule Québec/Labrador.

Bassin	Nombre d'observations	Années manquantes	Série la plus longue
<i>ARN</i>	20	61, 62, 83-99	1963-1982
<i>BAL</i>	36	61, 62, 99	1963-1998
<i>BEL</i>	36	61, 62, 97	1963-1996
<i>BOM</i>	39		1961-1999
<i>CAN</i>	39		1961-1999
<i>CHU</i>	39		1961-1999
<i>FEU</i>	23	61, 62, 83, 87-99	1963-1982
<i>GEO</i>	30	61, 62, 70, 71, 88, 90, 95, 98, 99	1972-1987
<i>GRB</i>	39		1961-1999
<i>LGR</i>	39		1961-1999
<i>MAN</i>	39		1961-1999
<i>MEL</i>	29	61, 62, 82, 83, 91, 92, 96-99	1963-1981
<i>MOI</i>	33	61-65, 67	1968-1999
<i>NAT</i>	37	61, 62	1963-1999
<i>PYR</i>	17	61-81, 99	1982-1998
<i>RDO</i>	31	61-68	1969-1999
<i>ROM</i>	39		1961-1999
<i>RUP</i>	38	98	1961-1997
<i>SAG</i>	39		1961-1999
<i>STM</i>	28	61-65, 94-99	1966-1993
<i>WAS</i>	32	61-67	1968-1999

A.2 Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations

Nous comparons les quantiles des simulations du MRCC et les quantiles des observations pour chacun des bassins par domaine. Pour ce faire, nous avons utilisé la fonction `normplot` disponible par défaut dans Matlab.

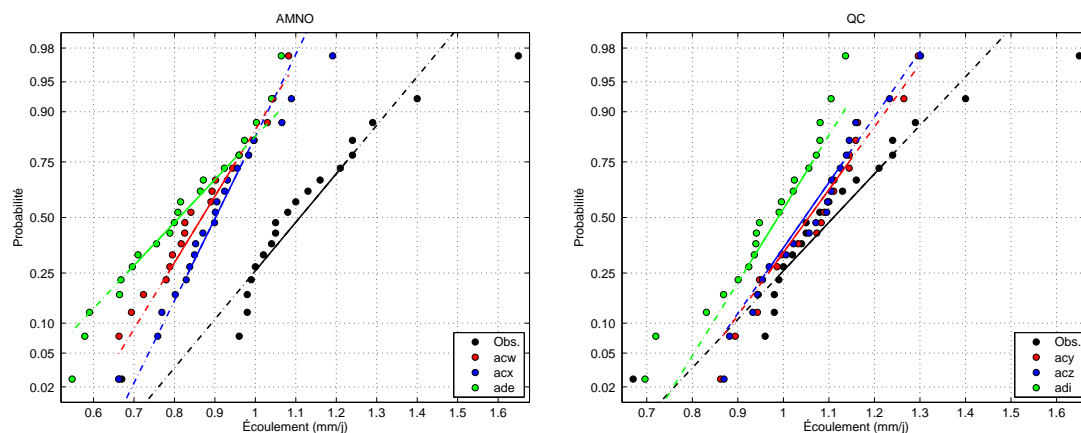


FIG. A.1 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *ARN*

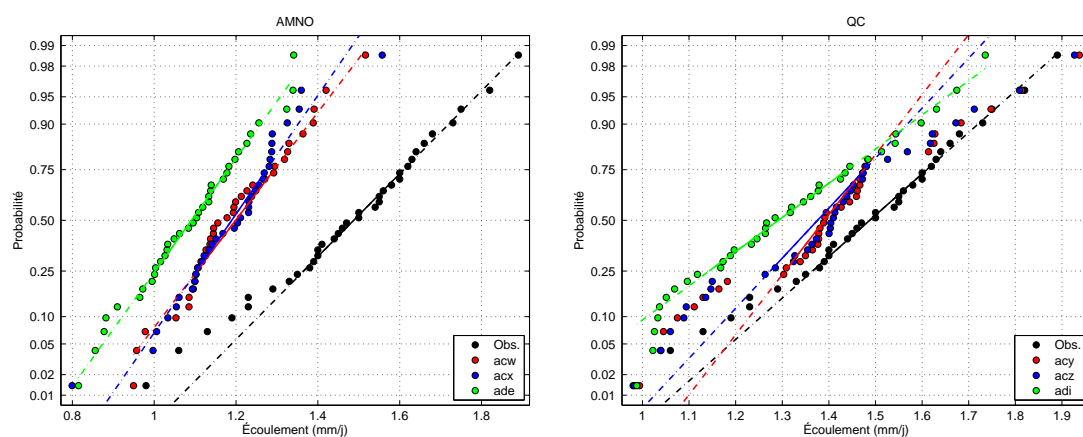


FIG. A.2 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *BAL*

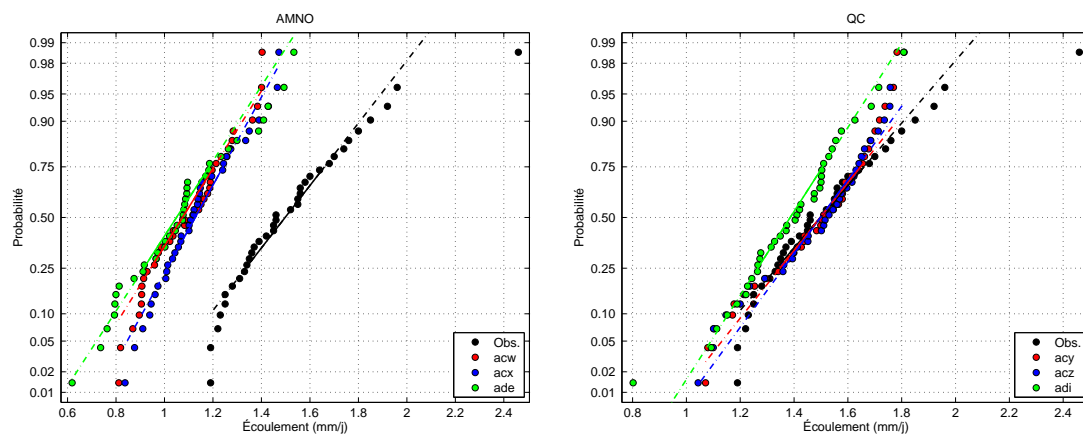


FIG. A.3 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *BEL*

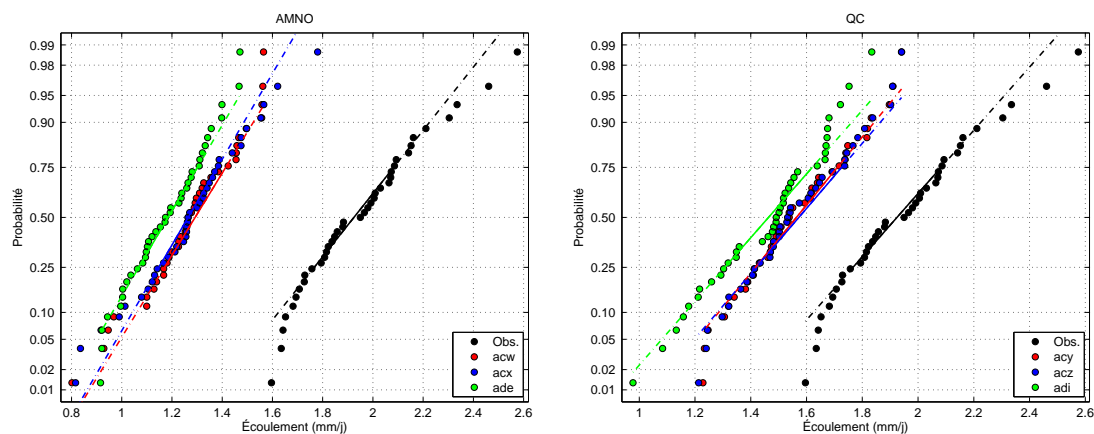


FIG. A.4 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *BOM*

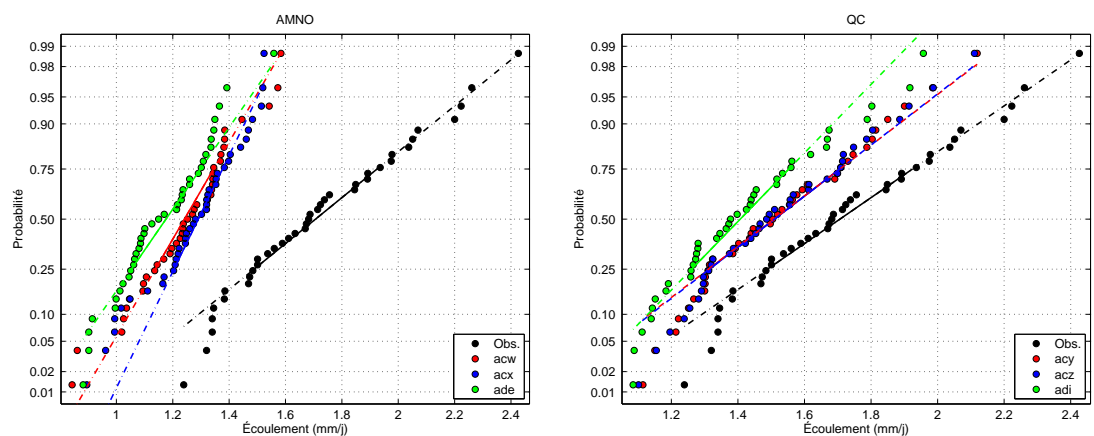


FIG. A.5 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *CAN*

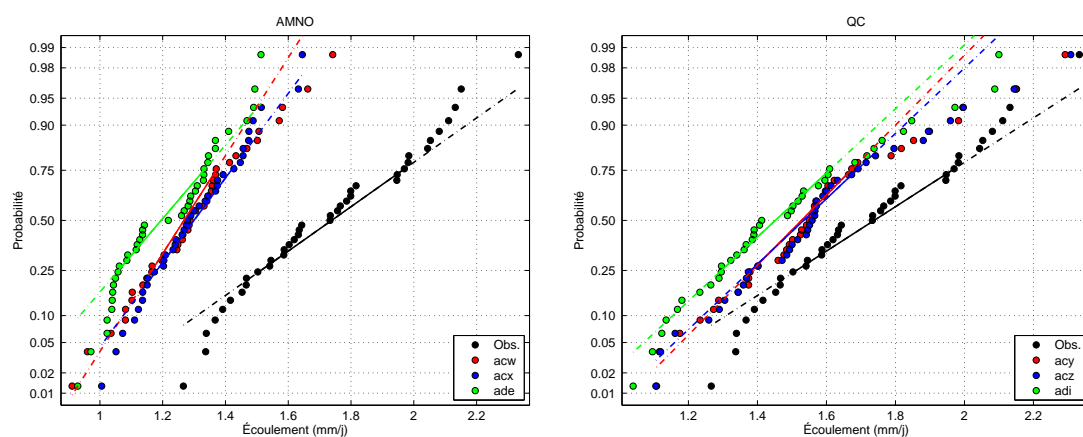


FIG. A.6 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *CHU*

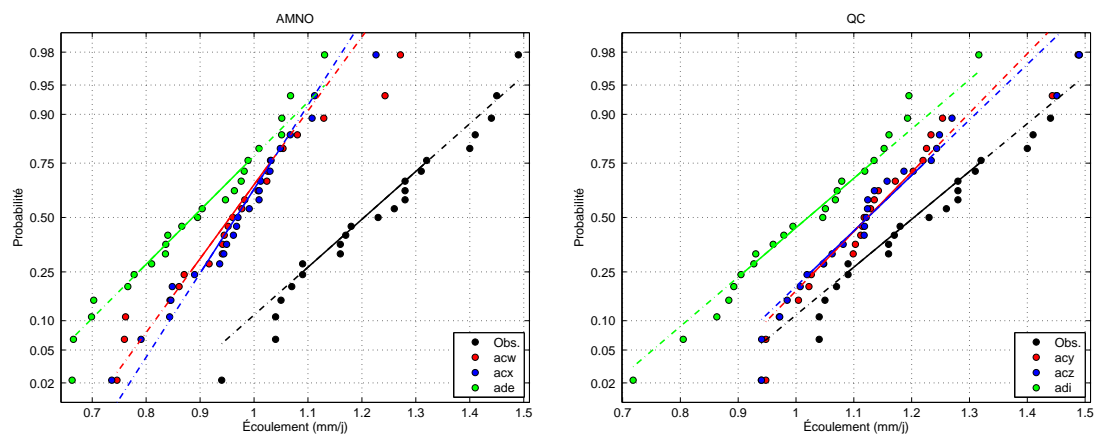


FIG. A.7 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *FEU*

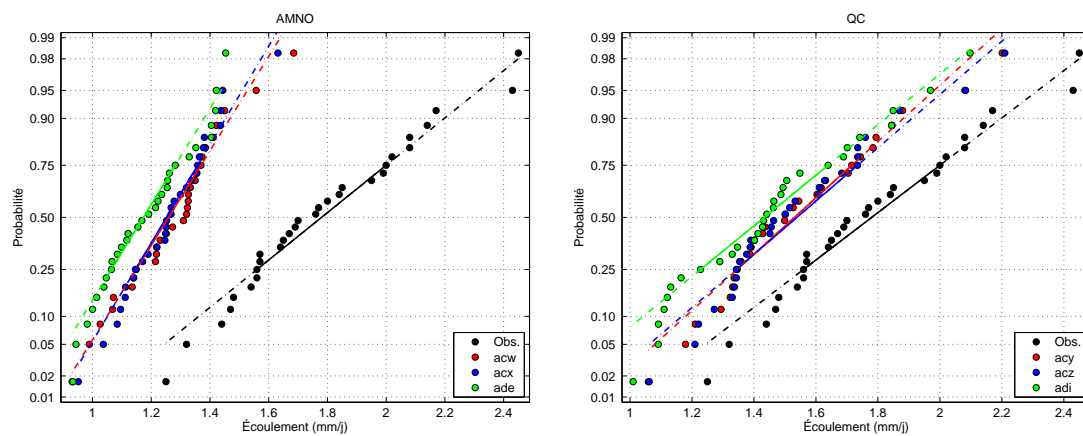


FIG. A.8 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *GEO*

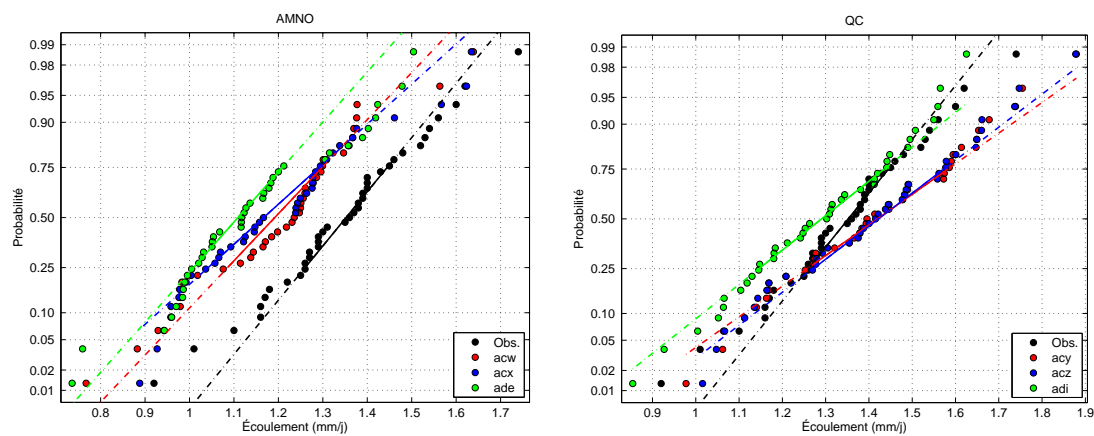


FIG. A.9 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *GRB*

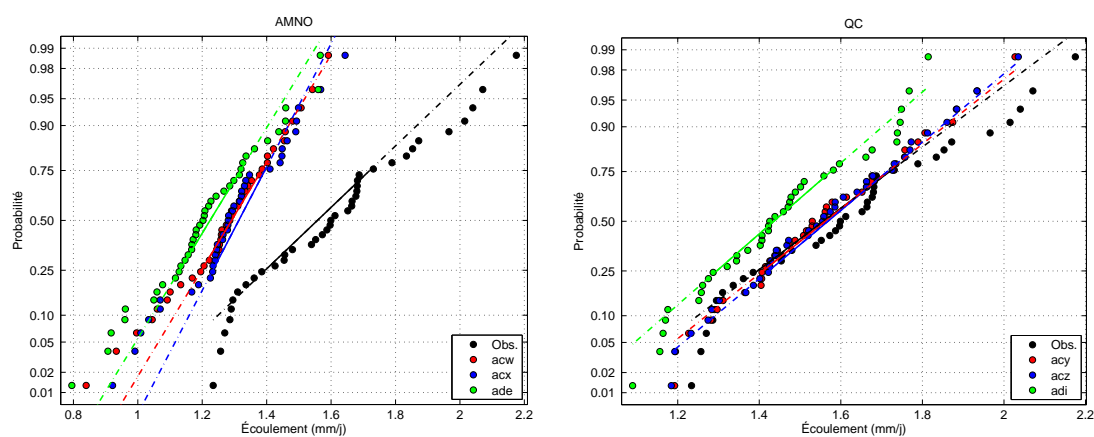


FIG. A.10 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *LGR*

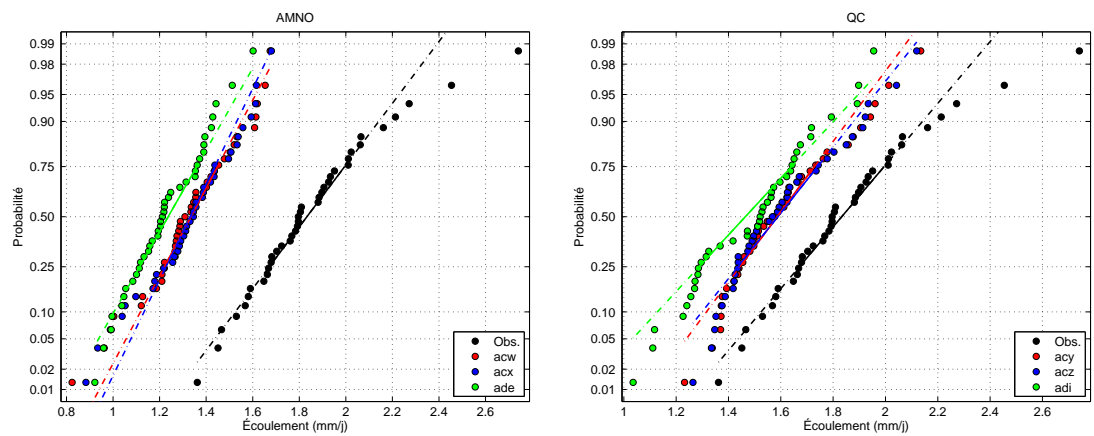


FIG. A.11 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *MAN*

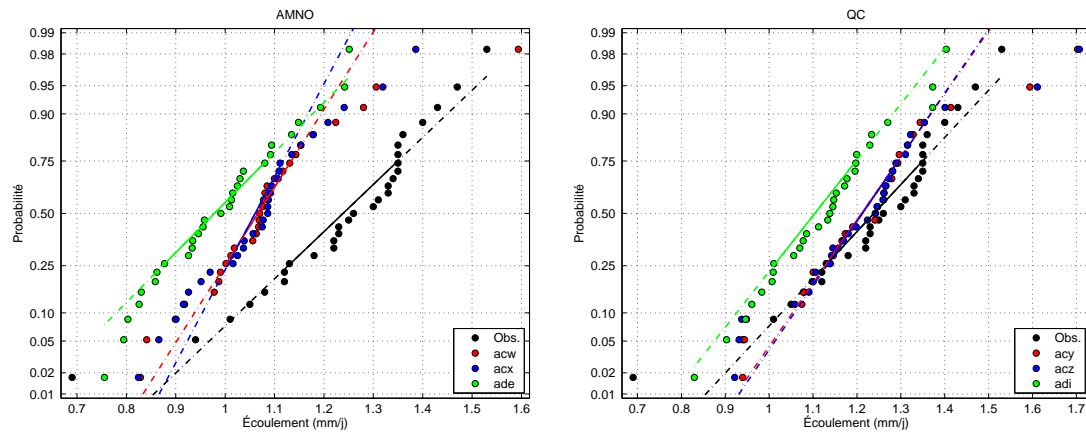


FIG. A.12 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *MEL*

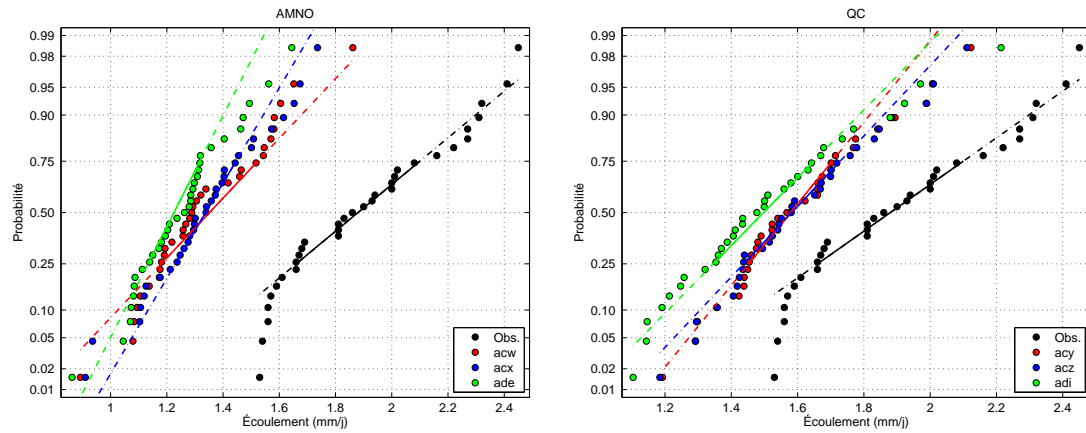


FIG. A.13 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *MOI*

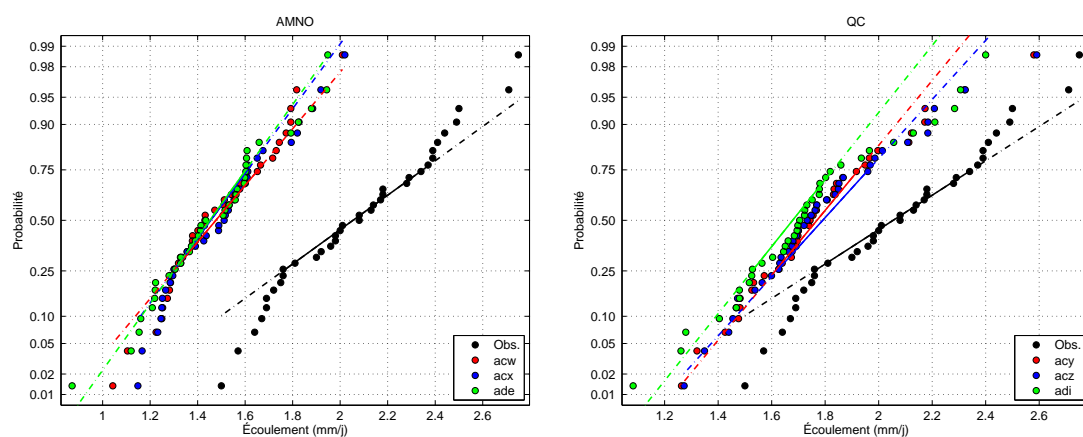


FIG. A.14 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *NAT*

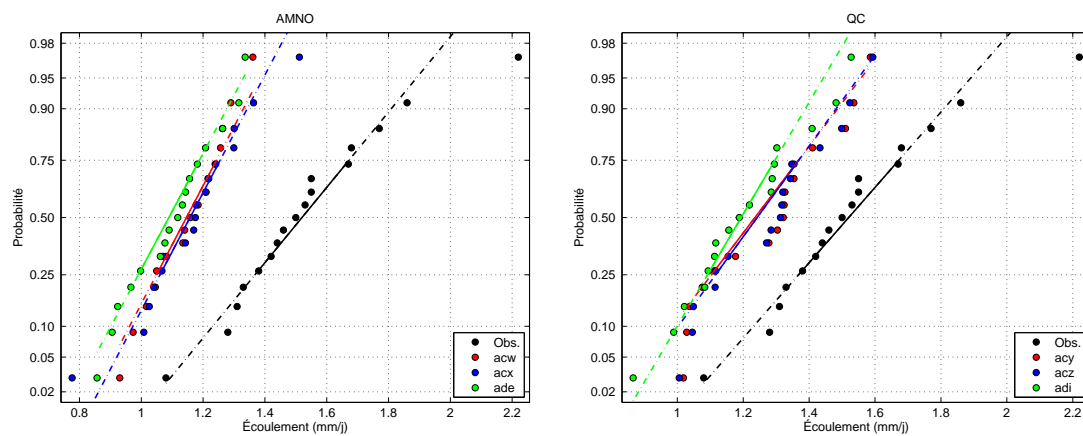


FIG. A.15 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *PYR*

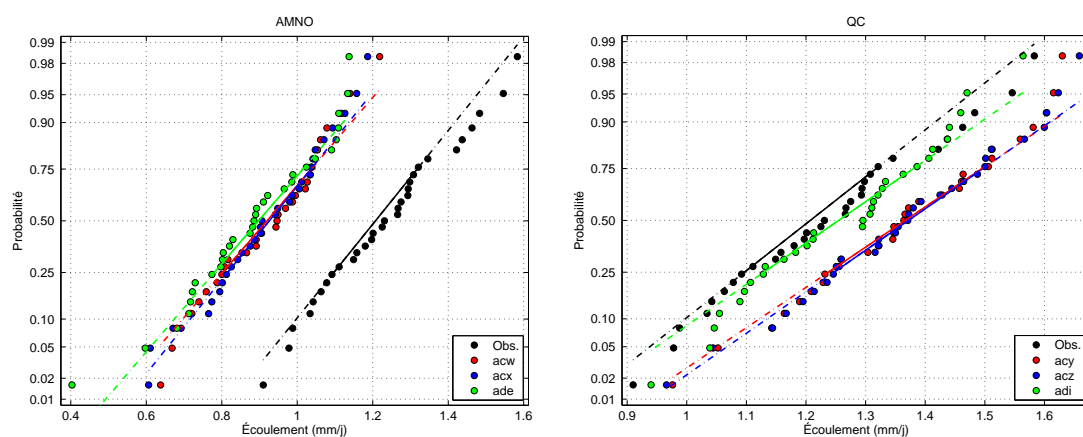


FIG. A.16 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *RDO*

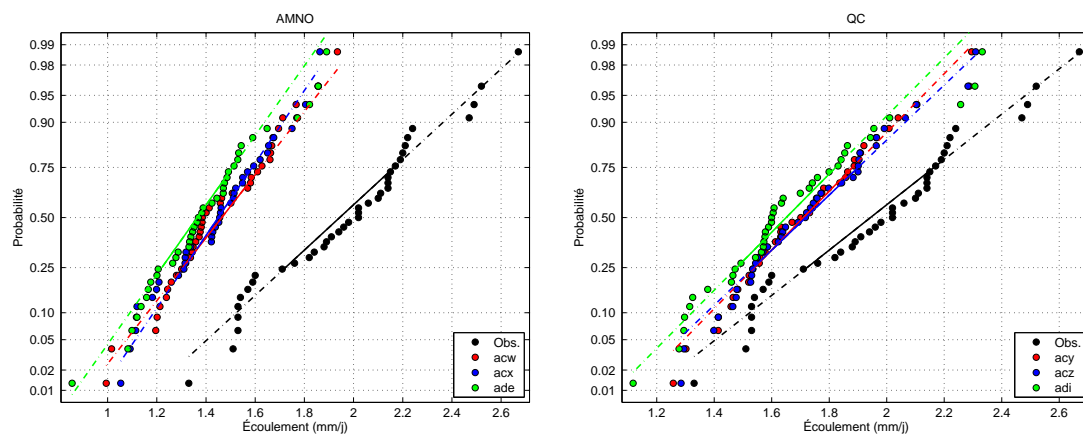


FIG. A.17 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *ROM*

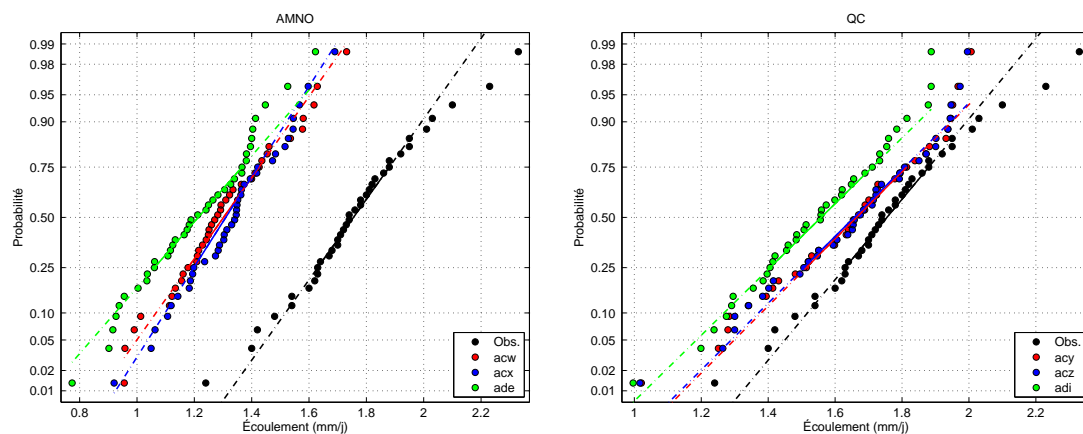


FIG. A.18 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *RUP*

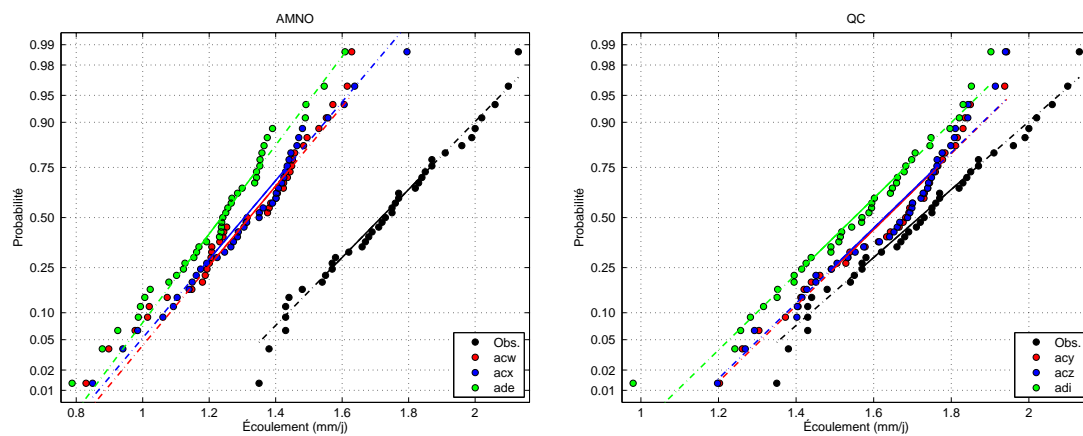


FIG. A.19 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *SAG*

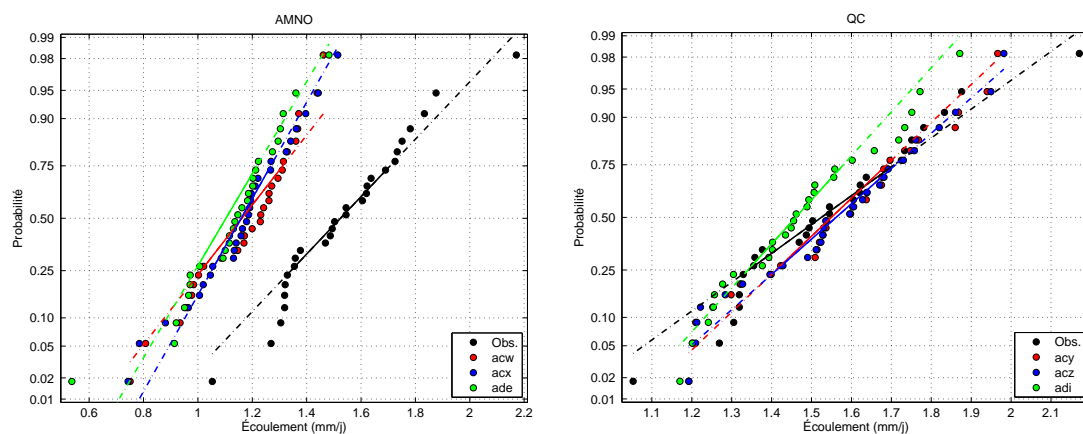


FIG. A.20 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *STM*

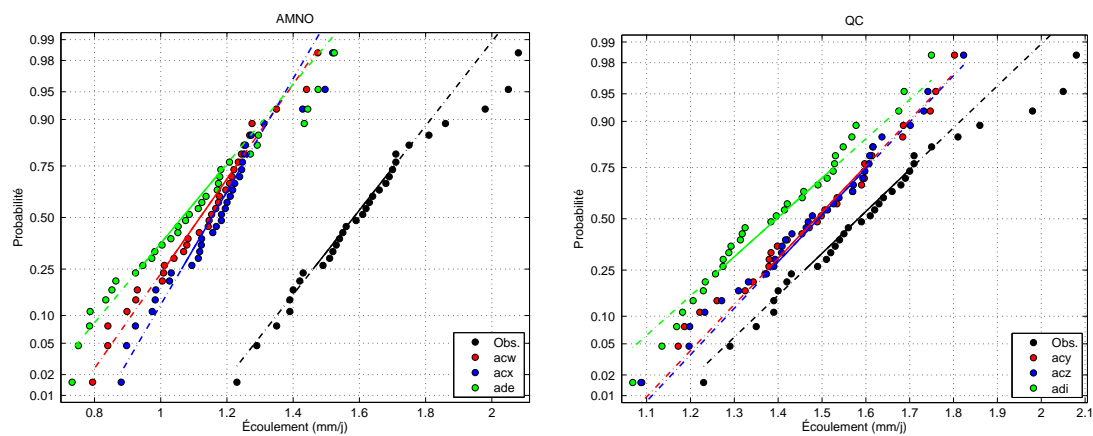


FIG. A.21 – Comparaison des quantiles empiriques des simulations et des observations pour le bassin *WAS*

B Compléments à la section 2

B.1 Un peu de théorie sur l'estimation des intervalles de confiance par *bootstrap*

Soit $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_n)$ l'échantillon initial et soient $\mathbf{X}^*(1), \dots, \mathbf{X}^*(B)$ des échantillons *bootstrap* obtenus en effectuant m^5 tirages aléatoires avec remise dans l'échantillon initial. Le nombre B de répétitions est déterminé selon la complexité des problèmes, la symétrie de la distribution de l'échantillon et la taille de celui-ci. Selon Davinson et Hinkley (1997), au moins 1000 répétitions *bootstrap* sont nécessaires dans la plupart des applications. Notons que plus le nombre de répétitions est grand, plus la statistique est précise.

Soit θ le paramètre d'intérêt et soit $\hat{\theta} = s(\mathbf{X})$ un estimateur de θ basé sur l'échantillon initial \mathbf{X} . Pour construire un intervalle de confiance pour θ par *bootstrap*, nous calculons tout d'abord les estimateurs de θ associés à chaque échantillon *bootstrap*, soit $\hat{\theta}^*(b) = s\{\mathbf{X}^*(b)\}$, $b = 1, \dots, B$. Il existe alors plusieurs méthodes pour construire un intervalle de confiance pour θ à partir de $\hat{\theta}^*(1), \dots, \hat{\theta}^*(B)$. Nous décrivons ci-dessus les méthodes qui existent comme options pour la fonction `bootci` de Matlab.

1. **Intervalle de confiance basé sur les percentiles** (option `per`).

L'intervalle de confiance de niveau $1-\alpha$, disons $\{\hat{\theta}_{(\alpha/2)}^*; \hat{\theta}_{(1-\alpha/2)}^*\}$, est construit en utilisant les percentiles empiriques d'ordres $\alpha/2$ et $(1-\alpha/2)$ associés à la série $\hat{\theta}^*(1), \dots, \hat{\theta}^*(B)$ des estimateurs *bootstrap* du paramètre d'intérêt θ . Il s'agit de l'intervalle le plus intuitif et il peut être utilisé lorsque les données ont subi une transformation vers la normalité et lorsque la distribution de $\hat{\theta}^*(b)$ est asymétrique. Toutefois, il ne tient pas compte du biais éventuel de $\hat{\theta}$ ni des cas de figure où l'écart-type de $\hat{\theta}$ dépend de θ .

2. **Intervalle de confiance basé sur les percentiles corrigés pour le biais**⁶ (option `cper`).

Si la distribution de l'estimateur $\hat{\theta}$ est asymétrique, nous pouvons corriger l'intervalle précédent pour le biais. Pour calculer cet intervalle de confiance, Dragieva (2008) propose de déterminer la proportion p^7 de valeurs $\hat{\theta}^*(b)$

⁵Généralement pour le *bootstrap* classique $m = n$, mais il est possible d'utiliser le procédé du *bootstrap* modifié ($m \neq n$) défini par Swanepoel (1986).

⁶*Bias corrected percentile confidence interval*.

⁷La proportion p est le coefficient d'asymétrie.

inférieures à $\hat{\theta}$, soit

$$p = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B \mathbf{1}_{[\hat{\theta}^*(b) < \hat{\theta}]},$$

où $\mathbf{1}_{[E]}$ désigne la variable indicatrice valant 1 [resp., 0] si l'événement E s'est produit [resp., ne s'est pas produit]. L'intervalle de confiance, disons $\{\hat{\theta}_{(\alpha_1)}^*; \hat{\theta}_{(\alpha_2)}^*\}$, est ensuite déterminé en calculant

$$\begin{cases} \alpha_1 = \Phi(z_1), & \text{avec } z_1 = 2z_0 + z_{\alpha/2}, \\ \alpha_2 = \Phi(z_2), & \text{avec } z_2 = 2z_0 + z_{1-\alpha/2}, \end{cases}$$

où $z_0 = \Phi^{-1}(p)$ est le percentile d'ordre p associé à la loi normale standard. Cet intervalle de confiance est corrigé pour le biais et sera légèrement plus large que l'intervalle obtenu par la méthode précédente (option `per`). Toutefois, il ne tient pas compte des changements possibles de l'écart-type de $\hat{\theta}$.

3. Intervalle de confiance *bootstrap* accéléré avec correction du biais⁸ (option `bca`).

Cette méthode corrige pour le biais et tient compte d'un éventuel changement de l'erreur standard de $\hat{\theta}$ lorsque θ varie. L'intervalle de confiance, disons $\{\hat{\theta}_{(\alpha_1)}^*; \hat{\theta}_{(\alpha_2)}^*\}$, est déterminé en calculant

$$\begin{cases} \alpha_1 = \Phi(z_1), & \text{avec } z_1 = z_0 + \frac{z_0 + z_{\alpha/2}}{1 - a(z_0 + z_{\alpha/2})}, \\ \alpha_2 = \Phi(z_2), & \text{avec } z_2 = z_0 + \frac{z_0 + z_{1-\alpha/2}}{1 - a(z_0 + z_{1-\alpha/2})}. \end{cases}$$

où z_0 est calculé de la même façon que dans la méthode précédente (option `cper`), $z_{\alpha/2}$ et $z_{1-\alpha/2}$ sont les quantiles d'ordres $\alpha/2$ et $1 - \alpha/2$, respectivement, de la distribution normale standard et la constante d'accélération a est estimée par

$$a = \frac{\sum_{b=1}^B \{\hat{\theta}^*(b) - \bar{\theta}^*\}^3}{6 \left[\sum_{b=1}^B \{\hat{\theta}^*(b) - \bar{\theta}^*\}^2 \right]^{3/2}},$$

où $\bar{\theta}^* = \sum_{b=1}^B \hat{\theta}^*(b)/B$ est la moyenne empirique des estimateurs *bootstrap*. La constante d'accélération a mesure donc l'asymétrie de la distribution de ces estimateurs. Cette méthode permet de corriger l'intervalle de confiance pour le biais et elle est performance lorsque l'écart-type de $\hat{\theta}$ dépend de θ . Toutefois il est nécessaire d'effectuer un grand nombre B de répétitions

⁸*Bias corrected and accelerated confidence interval.*

bootstrap pour qu'il soit fiable et précis.

4. **Intervalle de confiance par approximation normale avec biais et erreur standard estimés par *bootstrap***⁹ (option norm).

Pour le calcul de cet intervalle de confiance, nous devons supposer que $\hat{\theta}$ est l'estimateur du maximum de vraisemblance de θ . Dans ce cas la statistique $\hat{\theta} - \theta$ suit approximativement une loi normale quand la taille de l'échantillon est suffisamment grande. L'intervalle de confiance de niveau $1 - \alpha$ est donné par

$$\left\{ \hat{\theta} - \widehat{biais}_B - z_{(1-\alpha/2)} \times \widehat{se}_B; \hat{\theta} - \widehat{biais}_B + z_{(1-\alpha/2)} \times \widehat{se}_B \right\},$$

où $z_{\alpha/2}$ et $z_{1-\alpha/2}$ sont les quantiles d'ordres $\alpha/2$ et $1 - \alpha/2$, respectivement, de la distribution normale standard et avec

$$\widehat{biais}_B = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B \hat{\theta}^*(b)$$

et

$$\widehat{se}_B = \left[\frac{1}{B-1} \sum_{b=1}^B \left\{ \hat{\theta}^*(b) - \widehat{biais}_B \right\}^2 \right]^{1/2}.$$

Notons que cet intervalle de confiance est corrigé pour le biais et qu'il est précis si $\hat{\theta}$ est distribué suivant une loi normale. Il est en outre facile à interpréter et ne nécessite pas un grand nombre de répétitions pour être efficace. Toutefois il ne respecte pas les transformations vers une loi normale. Notons en outre que, même si l'estimateur du maximum de vraisemblance $\hat{\theta}$ appartient nécessairement à l'espace-paramètre associé à θ , il n'en va toujours de même pour l'intervalle de confiance décrit ci-dessus¹⁰. Notons finalement que cet intervalle est peu précis lorsque l'écart-type de $\hat{\theta}$ dépend de θ .

La figure B.1 présente les histogrammes des tirages *bootstrap* et les intervalles de confiance à 95% obtenus par les quatre méthodes énumérées précédemment pour trois bassins (*ARN*, *BAL* et *ROM*). Au vu de ces figures, nous avons retenu la méthode du percentile, car *a priori*, nous pouvons considérer que nos séries ne présentent pas de biais et parce qu'elle constitue la méthode la plus intuitive.

⁹Normal approximated interval with bootstrapped bias and standard error.

¹⁰Par exemple, le quantile à 10% associé aux écoulements annuels moyens est toujours positif, mais la borne inférieure de l'intervalle de confiance peut être négative.

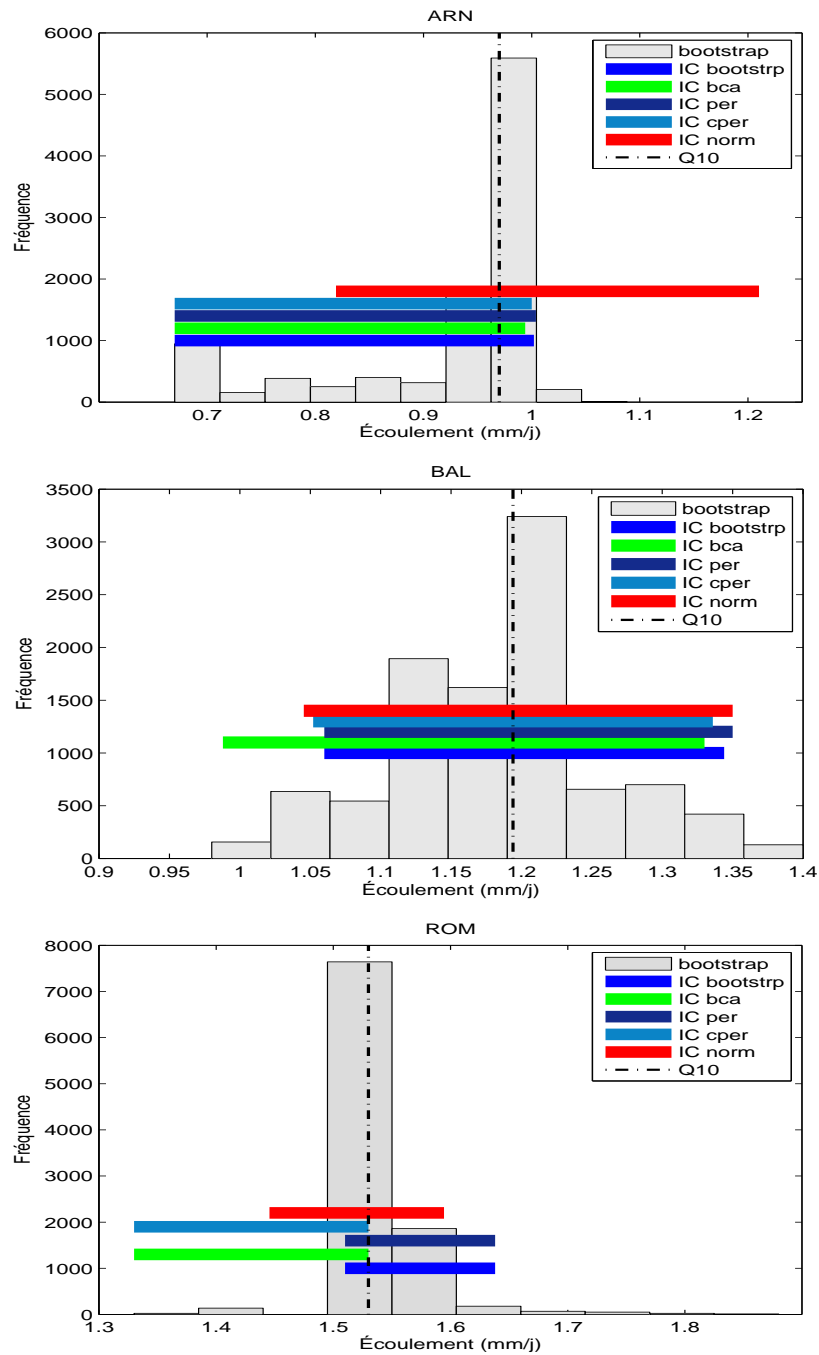


FIG. B.1 – Histogramme des *bootstrap*, intervalles de confiance à 95% et valeur estimée du Q_{10} des observations

B.2 Résultats des intervalles de confiance

L'article de [Ferro et al. \(2005\)](#) propose de calculer les intervalles de confiance à 95% pour chacun des quantiles à l'étude. Pour cela, nous avons utilisé la fonction `bootci` de Matlab comme suit :

```
ci=bootci(10000,{@prctile,acy(:,idBassin),10},'type','per')
```

Dans cet exemple, cette fonction calcule par *bootstrap* un intervalle de confiance basé sur les percentiles du quantile Q_{10} de la série `acy` selon le bassin à l'étude.

Les tableaux [B.3](#) à [B.2](#) résument ces intervalles par domaine et par bassin. Notons que les cellules en jaune indiquent que les intervalles de confiance de la série simulée sont significativement différents (ne se recoupent pas) des intervalles des observations.

TAB. B.1 – Intervalles de confiance à 95% (mm/j) des Q_{10} sur le domaine AMNO pour les 21 bassins.

	Obs		acw		acx		ade	
	0.025	0.975	0.025	0.975	0.025	0.975	0.025	0.975
<i>ARN</i>	0.67	1.00	0.66	0.79	0.66	0.84	0.55	0.69
<i>BAL</i>	1.06	1.35	0.96	1.10	1.00	1.10	0.86	1.00
<i>BEL</i>	1.19	1.33	0.82	0.93	0.88	1.01	0.74	0.88
<i>BOM</i>	1.64	1.74	0.93	1.16	0.84	1.13	0.99	1.04
<i>CAN</i>	1.32	1.48	0.86	1.11	0.96	1.18	0.90	1.04
<i>CHU</i>	1.34	1.48	0.96	1.15	1.05	1.16	0.97	1.05
<i>FEU</i>	0.94	1.09	0.76	0.91	0.74	0.92	0.66	0.80
<i>GEO</i>	1.29	1.56	0.96	1.15	0.99	1.14	0.94	1.06
<i>GRB</i>	1.01	1.25	0.88	1.02	0.93	1.01	0.76	1.00
<i>LGR</i>	1.26	1.36	0.93	1.16	0.99	1.23	0.91	1.12
<i>MAN</i>	1.45	1.66	0.96	1.21	0.83	1.19	0.96	1.10
<i>MEL</i>	0.79	1.12	0.83	0.99	0.84	0.99	0.77	0.88
<i>MOI</i>	1.54	1.65	1.04	1.18	0.93	1.21	1.01	1.11
<i>NAT</i>	1.57	1.76	1.10	1.29	1.17	1.30	1.12	1.28
<i>PYR</i>	1.08	1.39	0.93	1.07	0.78	1.07	0.86	1.01
<i>RDO</i>	0.95	1.09	0.66	0.80	0.61	0.81	0.52	0.77
<i>ROM</i>	1.51	1.64	1.02	1.28	1.09	1.29	1.08	1.20
<i>RUP</i>	1.40	1.63	0.96	1.16	1.05	1.19	0.90	1.04
<i>SAG</i>	1.38	1.55	0.90	1.18	0.94	1.17	0.88	1.10
<i>STM</i>	1.12	1.34	0.77	1.01	0.76	1.05	0.65	0.99
<i>WAS</i>	1.27	1.43	0.83	1.01	0.89	1.04	0.75	0.92

TAB. B.2 – Intervalles de confiance à 95% (mm/j) des Q_{90} sur le domaine AMNO pour les 21 bassins.

	Obs		acw		acx		ade	
	0.025	0.975	0.025	0.975	0.025	0.975	0.025	0.975
<i>ARN</i>	1.20	1.65	0.94	1.08	0.96	1.19	0.91	1.06
<i>BAL</i>	1.62	1.82	1.29	1.42	1.28	1.36	1.19	1.34
<i>BEL</i>	1.68	1.96	1.25	1.40	1.24	1.47	1.19	1.49
<i>BOM</i>	2.09	2.46	1.44	1.56	1.39	1.62	1.31	1.47
<i>CAN</i>	1.96	2.26	1.36	1.57	1.40	1.52	1.31	1.39
<i>CHU</i>	1.98	2.15	1.41	1.66	1.44	1.63	1.34	1.49
<i>FEU</i>	1.32	1.49	1.03	1.27	1.03	1.23	0.99	1.13
<i>GEO</i>	2.01	2.44	1.37	1.62	1.36	1.54	1.31	1.44
<i>GRB</i>	1.46	1.62	1.30	1.56	1.31	1.63	1.23	1.48
<i>LGR</i>	1.79	2.07	1.40	1.54	1.43	1.57	1.33	1.56
<i>MAN</i>	2.01	2.45	1.48	1.65	1.49	1.62	1.37	1.51
<i>MEL</i>	1.35	1.51	1.14	1.48	1.13	1.36	1.09	1.25
<i>MOI</i>	2.13	2.42	1.54	1.69	1.45	1.69	1.33	1.58
<i>NAT</i>	2.37	2.71	1.66	1.82	1.61	1.92	1.60	1.94
<i>PYR</i>	1.65	2.22	1.23	1.36	1.23	1.51	1.17	1.34
<i>RDO</i>	1.33	1.56	1.04	1.17	1.04	1.17	1.02	1.14
<i>ROM</i>	2.19	2.52	1.65	1.86	1.62	1.86	1.52	1.86
<i>RUP</i>	1.88	2.23	1.44	1.63	1.46	1.60	1.38	1.53
<i>SAG</i>	1.87	2.10	1.45	1.62	1.44	1.64	1.36	1.55
<i>STM</i>	1.71	2.08	1.31	1.45	1.27	1.49	1.22	1.45
<i>WAS</i>	1.71	2.06	1.23	1.45	1.25	1.50	1.21	1.49

TAB. B.3 – Intervalles de confiance à 95% (mm/j) des Q_{10} sur le domaine QC pour les 21 bassins.

	Obs		acy		acz		adi	
	0.025	0.975	0.025	0.975	0.025	0.975	0.025	0.975
<i>ARN</i>	0.67	1.00	0.86	0.99	0.87	0.97	0.70	0.92
<i>BAL</i>	1.06	1.35	1.04	1.30	1.04	1.26	1.02	1.12
<i>BEL</i>	1.19	1.33	1.08	1.34	1.10	1.36	1.09	1.26
<i>BOM</i>	1.64	1.74	1.23	1.41	1.24	1.41	1.08	1.29
<i>CAN</i>	1.32	1.48	1.15	1.31	1.15	1.30	1.09	1.26
<i>CHU</i>	1.34	1.48	1.12	1.38	1.12	1.37	1.10	1.29
<i>FEU</i>	0.94	1.09	0.95	1.04	0.94	1.04	0.72	0.92
<i>GEO</i>	1.29	1.56	1.12	1.35	1.14	1.34	1.05	1.21
<i>GRB</i>	1.01	1.25	1.06	1.21	1.05	1.21	0.93	1.13
<i>LGR</i>	1.26	1.36	1.19	1.41	1.19	1.40	1.16	1.28
<i>MAN</i>	1.45	1.66	1.34	1.44	1.33	1.43	1.11	1.28
<i>MEL</i>	0.79	1.12	0.94	1.11	0.93	1.12	0.86	1.01
<i>MOI</i>	1.54	1.65	1.27	1.45	1.27	1.44	1.14	1.33
<i>NAT</i>	1.57	1.76	1.32	1.57	1.35	1.60	1.26	1.53
<i>PYR</i>	1.08	1.39	1.02	1.15	1.01	1.15	0.86	1.11
<i>RDO</i>	0.95	1.09	1.02	1.23	1.01	1.24	1.00	1.12
<i>ROM</i>	1.51	1.64	1.30	1.53	1.29	1.53	1.28	1.47
<i>RUP</i>	1.40	1.63	1.25	1.48	1.26	1.50	1.20	1.40
<i>SAG</i>	1.38	1.55	1.26	1.46	1.27	1.47	1.24	1.40
<i>STM</i>	1.12	1.34	1.20	1.41	1.20	1.41	1.18	1.33
<i>WAS</i>	1.27	1.43	1.15	1.36	1.16	1.37	1.11	1.26

TAB. B.4 – Intervalles de confiance à 95% (mm/j) des Q_{90} sur le domaine QC pour les 21 bassins.

	Obs		acy		acz		adi	
	0.025	0.975	0.025	0.975	0.025	0.975	0.025	0.975
<i>ARN</i>	1.20	1.65	1.13	1.30	1.13	1.30	1.05	1.14
<i>BAL</i>	1.62	1.82	1.48	1.81	1.52	1.81	1.44	1.67
<i>BEL</i>	1.68	1.96	1.66	1.77	1.65	1.76	1.51	1.71
<i>BOM</i>	2.09	2.46	1.73	1.91	1.74	1.91	1.66	1.75
<i>CAN</i>	1.96	2.26	1.73	1.98	1.71	1.99	1.56	1.92
<i>CHU</i>	1.98	2.15	1.69	2.15	1.71	2.14	1.67	2.08
<i>FEU</i>	1.32	1.49	1.21	1.49	1.20	1.49	1.13	1.32
<i>GEO</i>	2.01	2.44	1.73	2.14	1.73	2.15	1.64	2.03
<i>GRB</i>	1.46	1.62	1.59	1.75	1.58	1.75	1.44	1.56
<i>LGR</i>	1.79	2.07	1.74	1.93	1.73	1.93	1.60	1.77
<i>MAN</i>	2.01	2.46	1.76	2.01	1.78	2.04	1.65	1.90
<i>MEL</i>	1.35	1.51	1.30	1.66	1.30	1.67	1.20	1.39
<i>MOI</i>	2.13	2.42	1.72	2.03	1.76	2.03	1.67	2.01
<i>NAT</i>	2.37	2.71	1.95	2.32	1.97	2.32	1.86	2.31
<i>PYR</i>	1.65	2.22	1.35	1.59	1.34	1.59	1.29	1.53
<i>RDO</i>	1.33	1.56	1.51	1.62	1.50	1.64	1.39	1.51
<i>ROM</i>	2.19	2.52	1.89	2.29	1.90	2.28	1.84	2.31
<i>RUP</i>	1.88	2.23	1.84	1.97	1.85	1.97	1.73	1.89
<i>SAG</i>	1.87	2.10	1.78	1.94	1.76	1.91	1.70	1.85
<i>STM</i>	1.71	2.08	1.69	1.96	1.72	1.97	1.59	1.84
<i>WAS</i>	1.71	2.06	1.60	1.77	1.61	1.77	1.53	1.71

C Compléments à la section 3.1

Les figures C.1 à C.2 présentent l'étude des régressions linéaires entre les quantiles des observations et les quantiles des simulations ainsi que l'estimation de la pente et de l'ordonnée à l'origine (également les seuils respectifs). La ligne verte montre cette droite de régression ajustée et le trait tireté bleu illustre une droite de régression de pente $\beta = 1$.

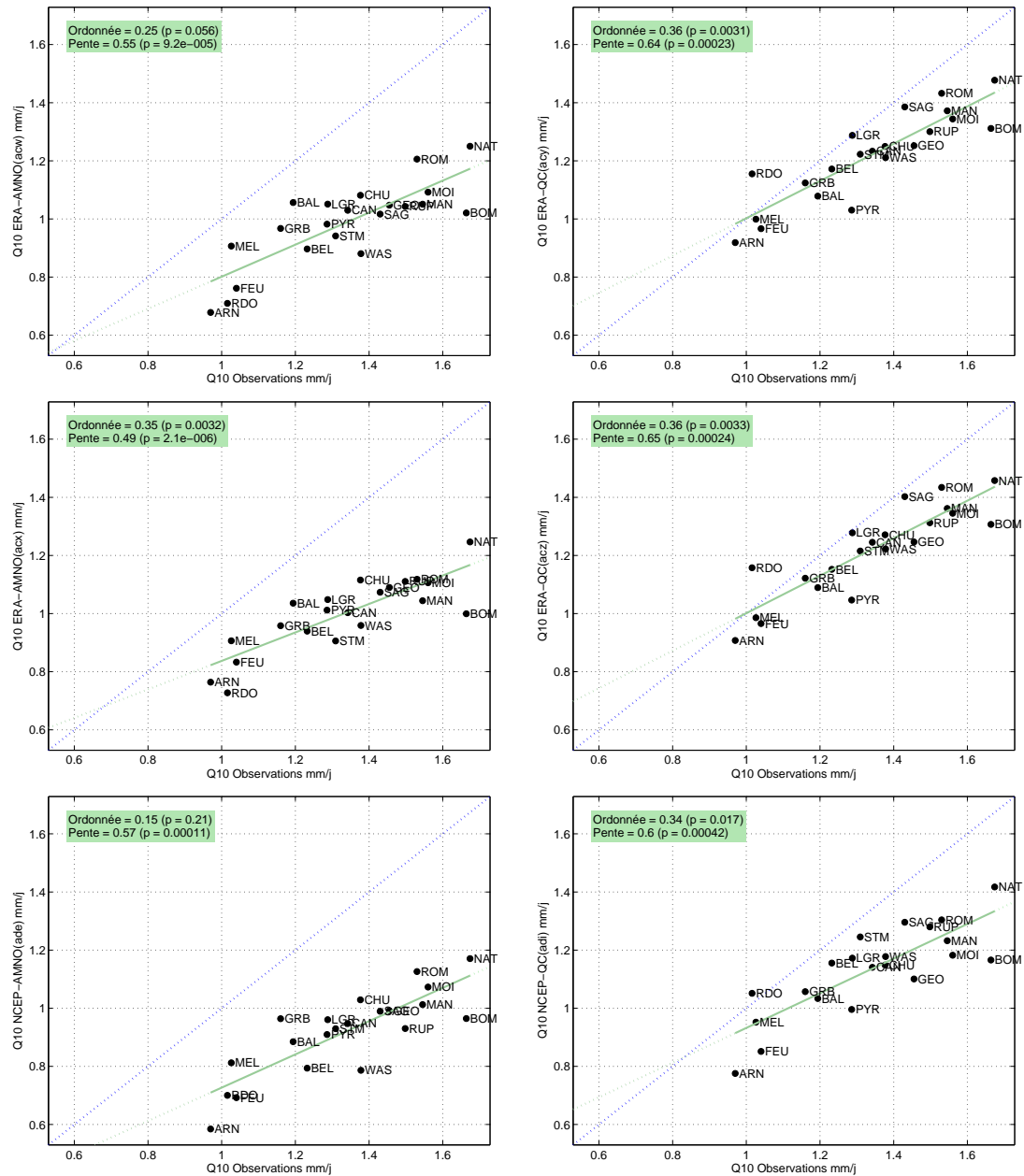


FIG. C.1 – Régression linéaire entre les Q_{10} des simulations et les Q_{10} des observations pour les 21 bassins

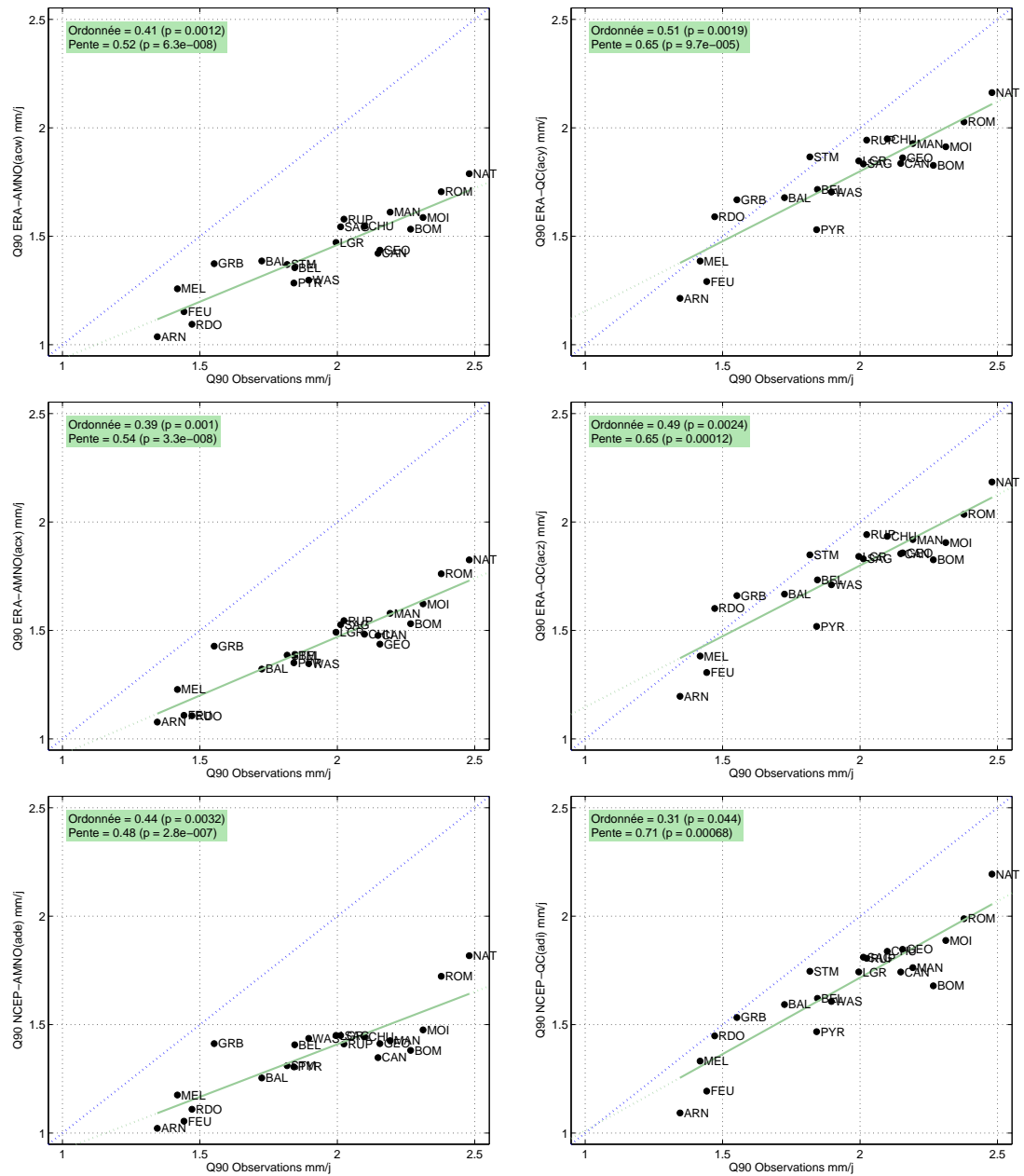


FIG. C.2 – Régression linéaire entre les Q_{90} des simulations et les Q_{90} des observations pour les 21 bassins

D Compléments à la section 3.2

Les figures D.1 à D.20 présentent l'analyse des relations en moyenne et en variance proposées par Ferro *et al.* (2005). La ligne continue bleue représente la première relation (3.1) qui étudie la différence entre chaque quantile $Q(p\%)$ des observations et des simulations. Le trait tireté rouge montre la relation (3.2) qui modélise la différence entre les quantiles $Q(p\%)$ lorsque nous enlevons leurs biais respectifs. Finalement, la ligne en pointillé noire illustre la relation (3.3) qui représente la différence entre chaque quantile $Q(p\%)$ lorsque nous les centrons et les réduisons.

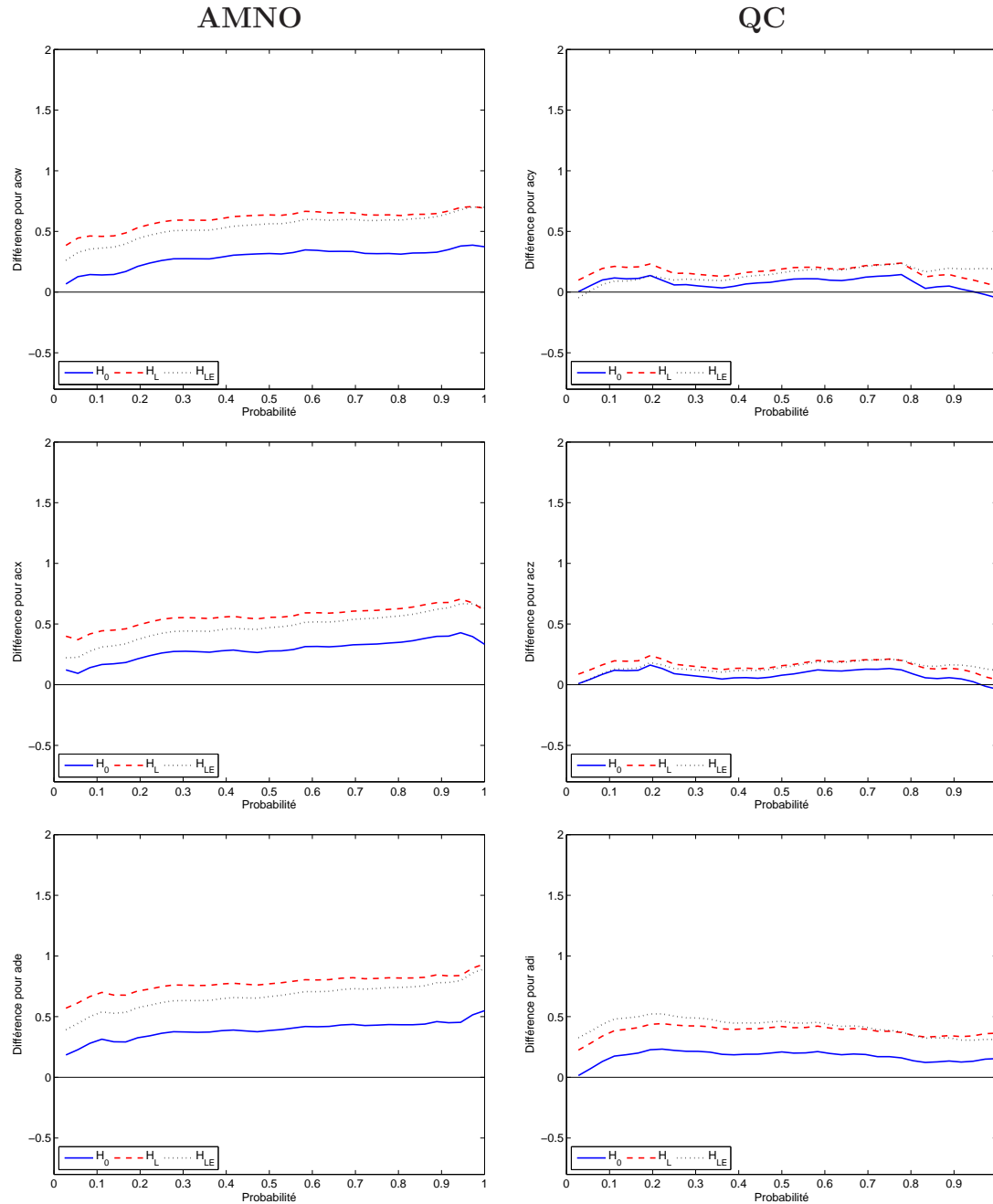


FIG. D.1 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *BAL*

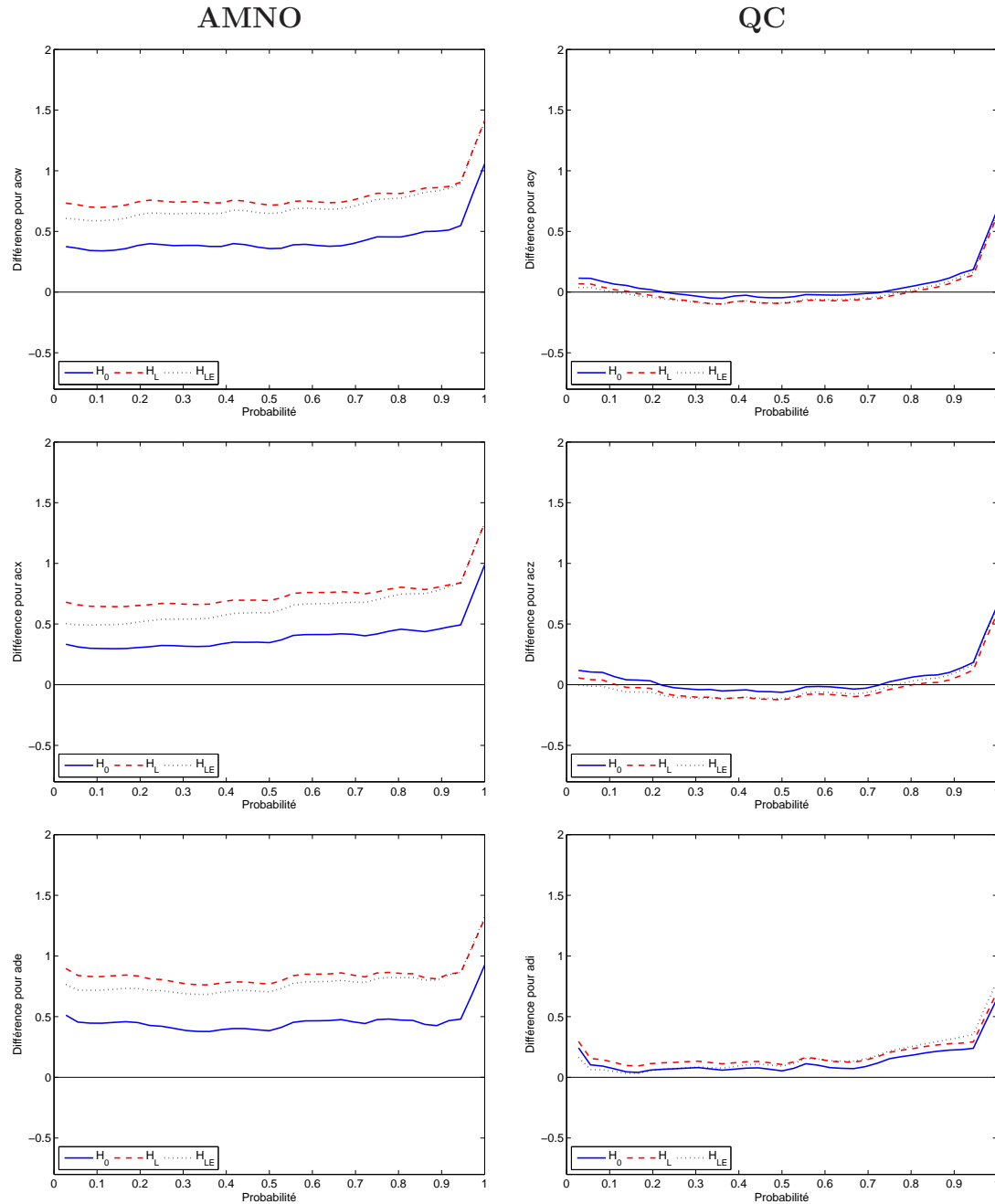


FIG. D.2 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *BEL*

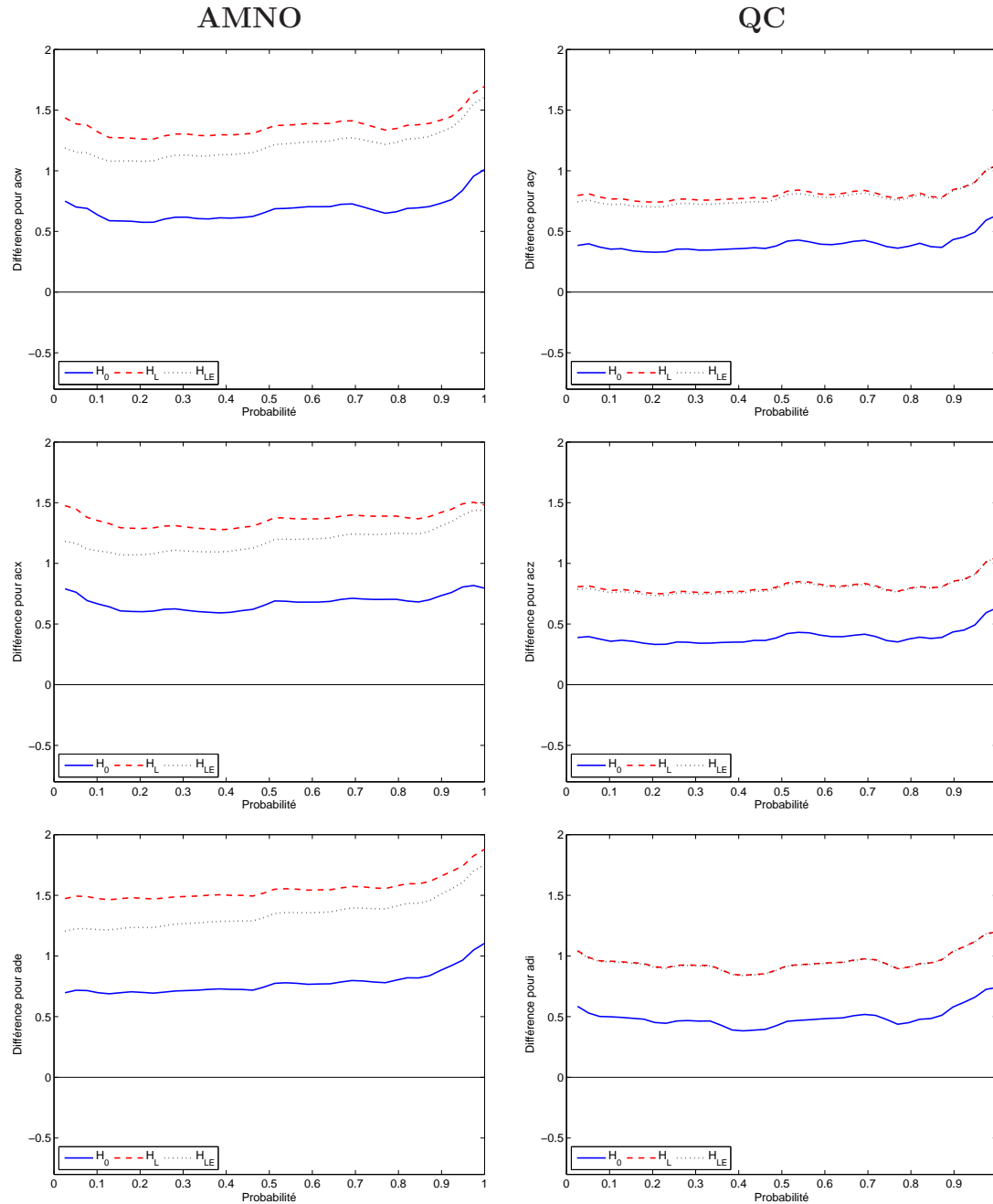


FIG. D.3 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *BOM*

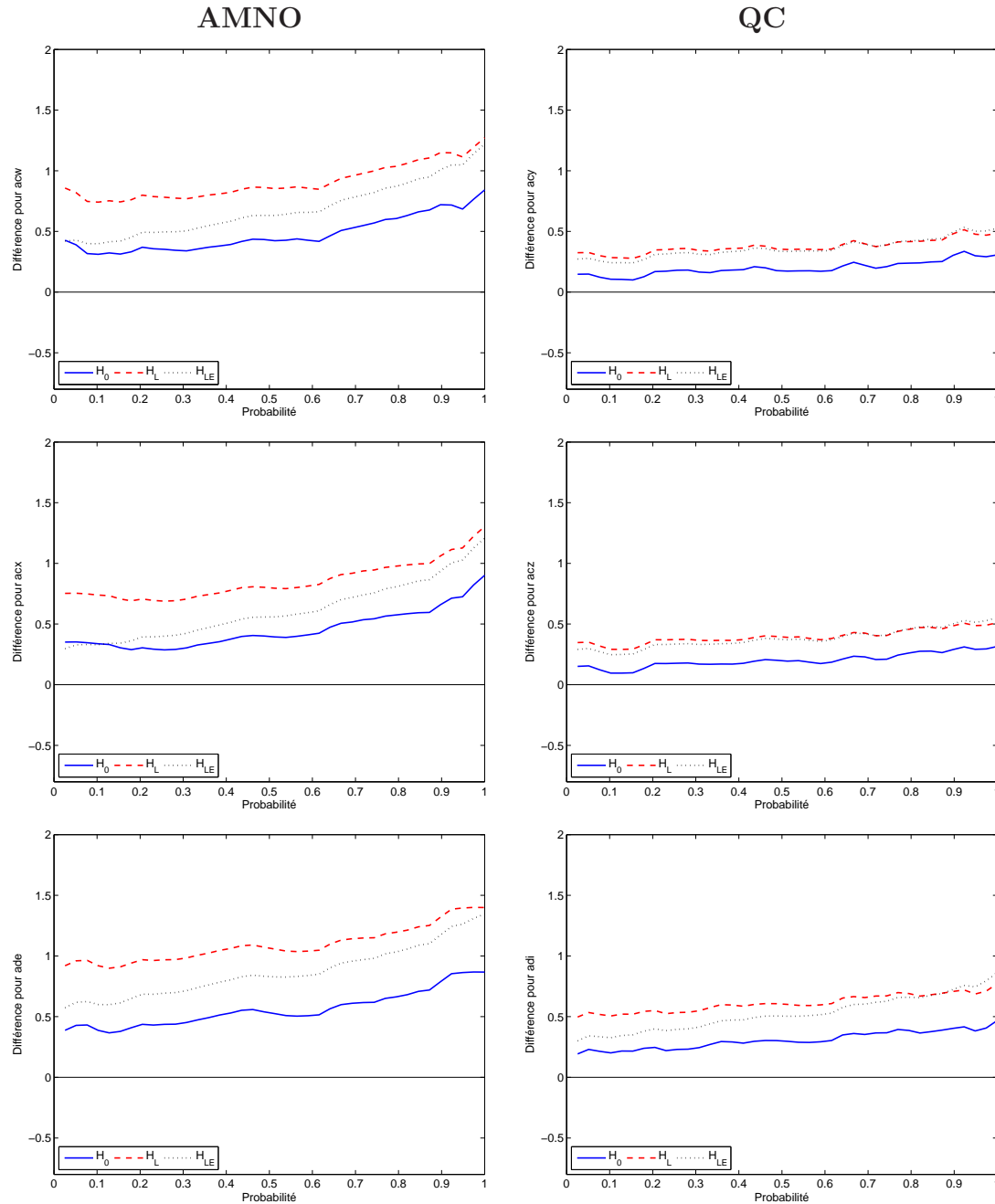


FIG. D.4 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *CAN*

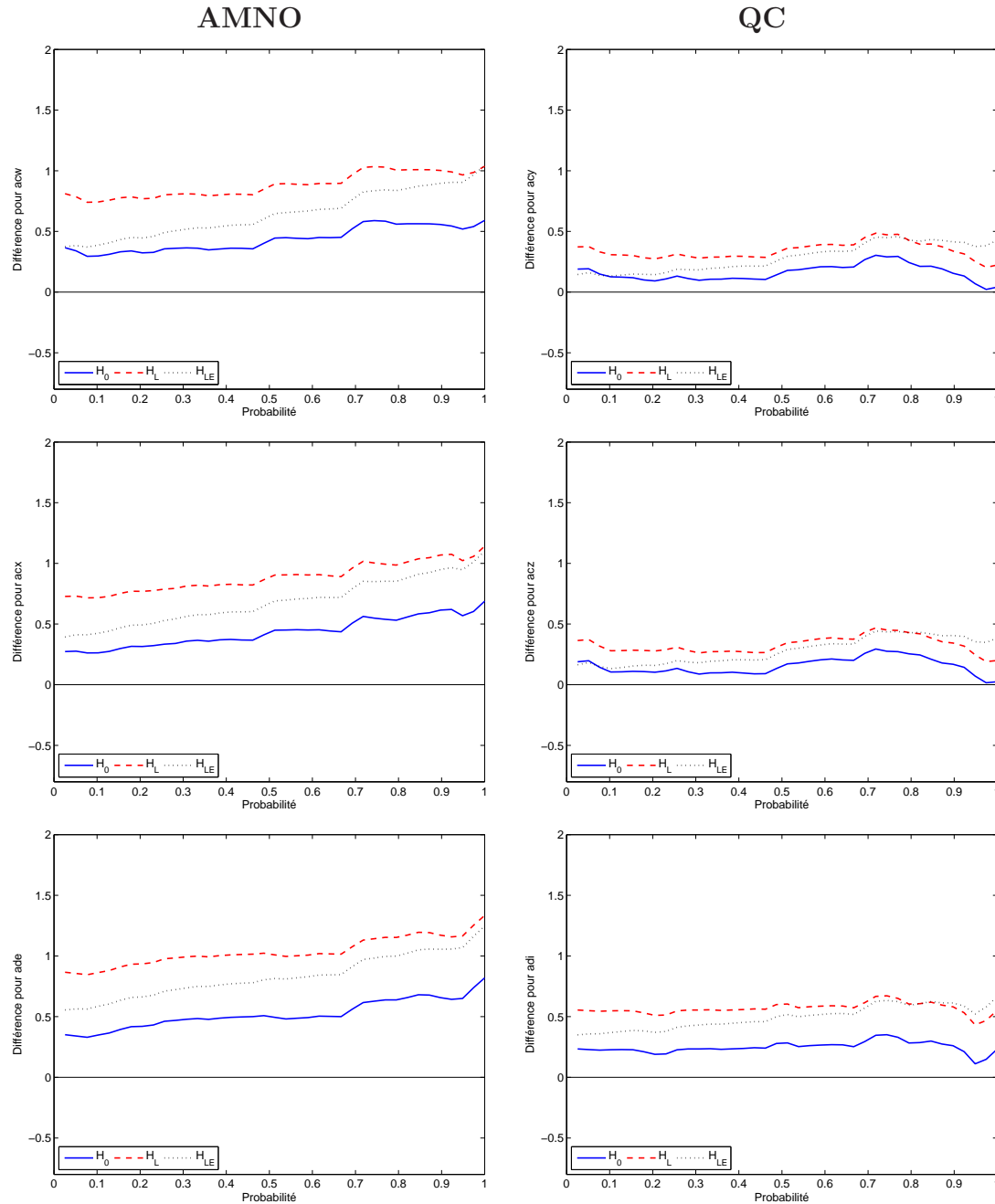


FIG. D.5 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *CHU*

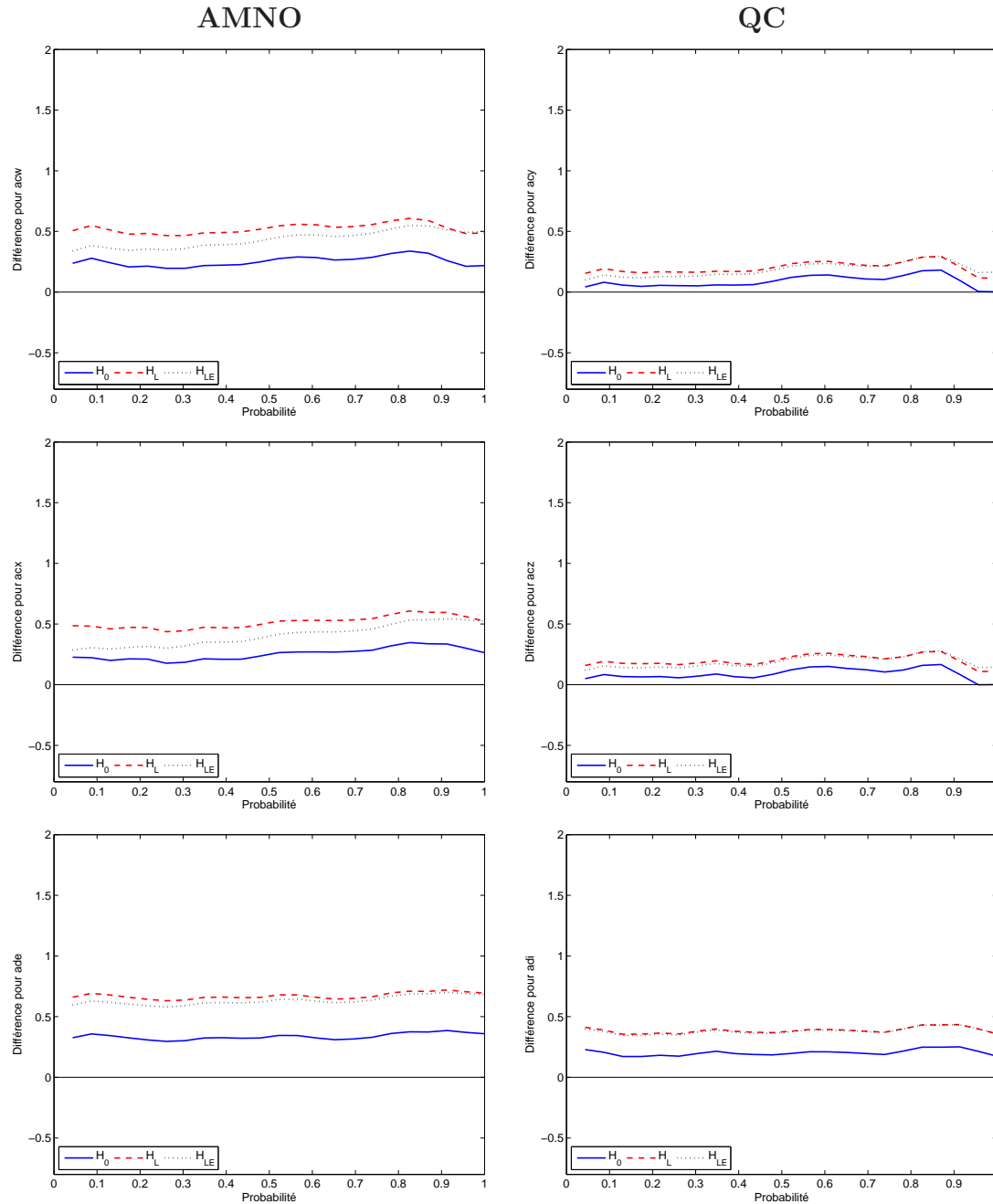


FIG. D.6 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *FEU*

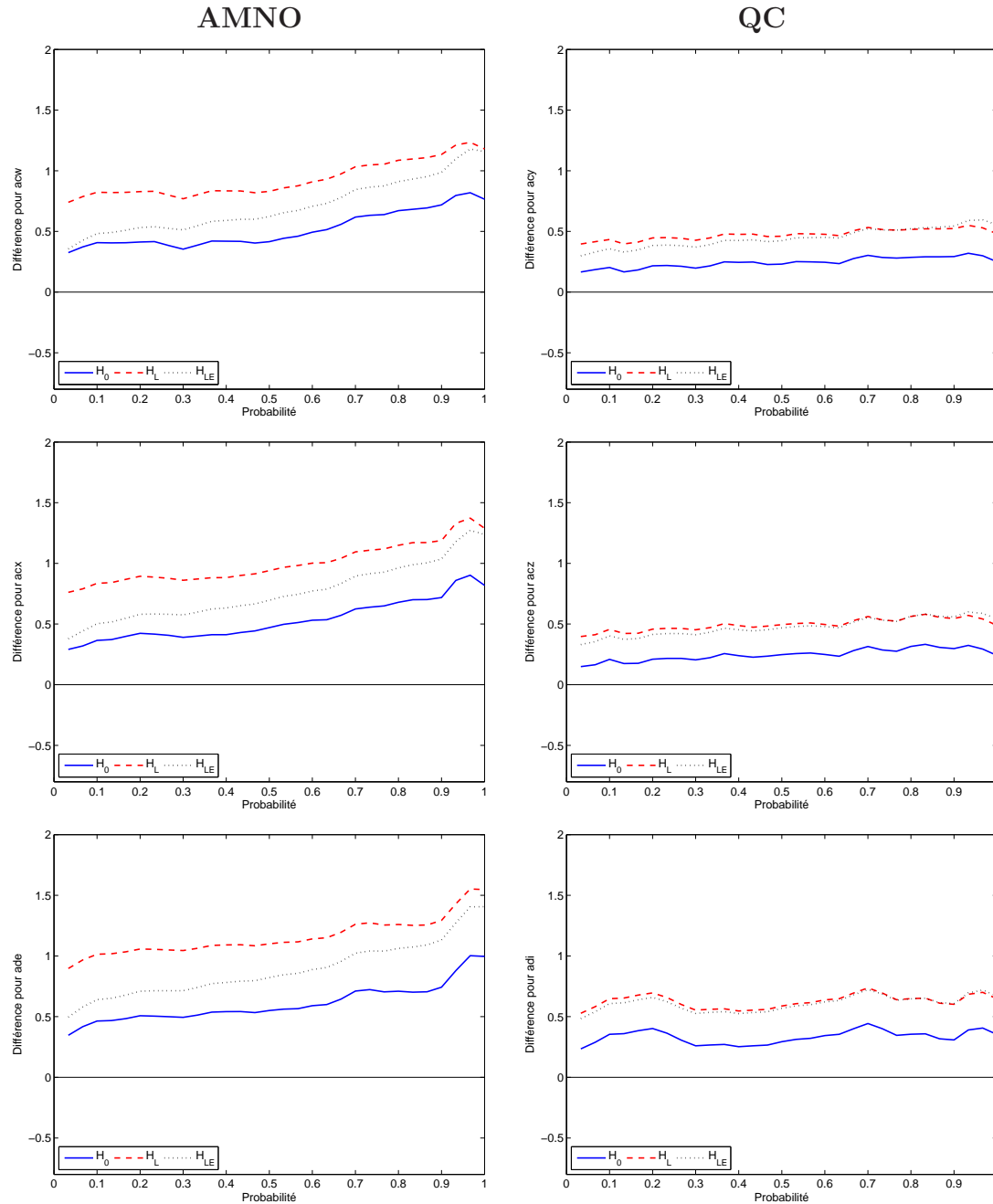


FIG. D.7 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *GEO*

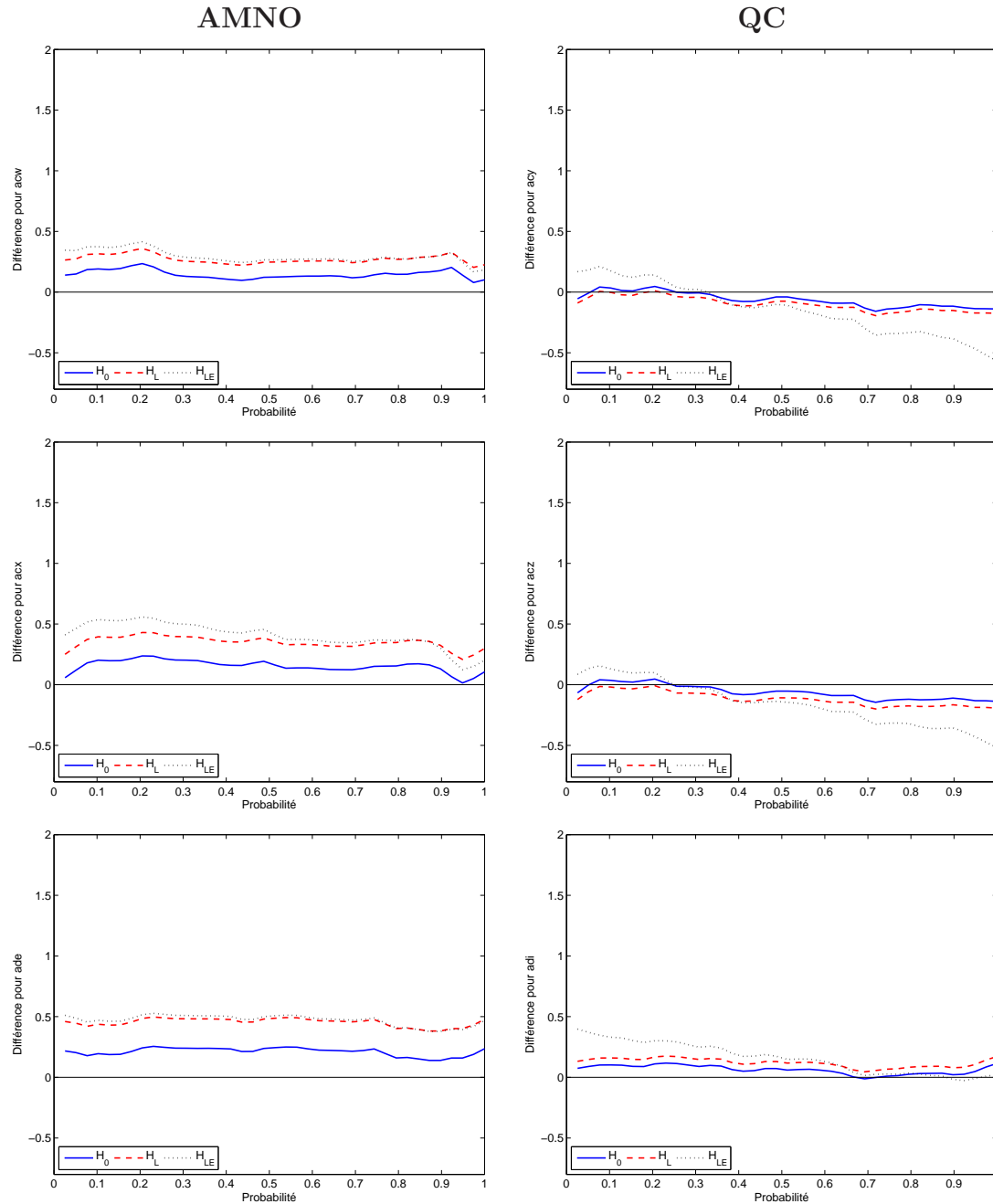


FIG. D.8 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *GRB*

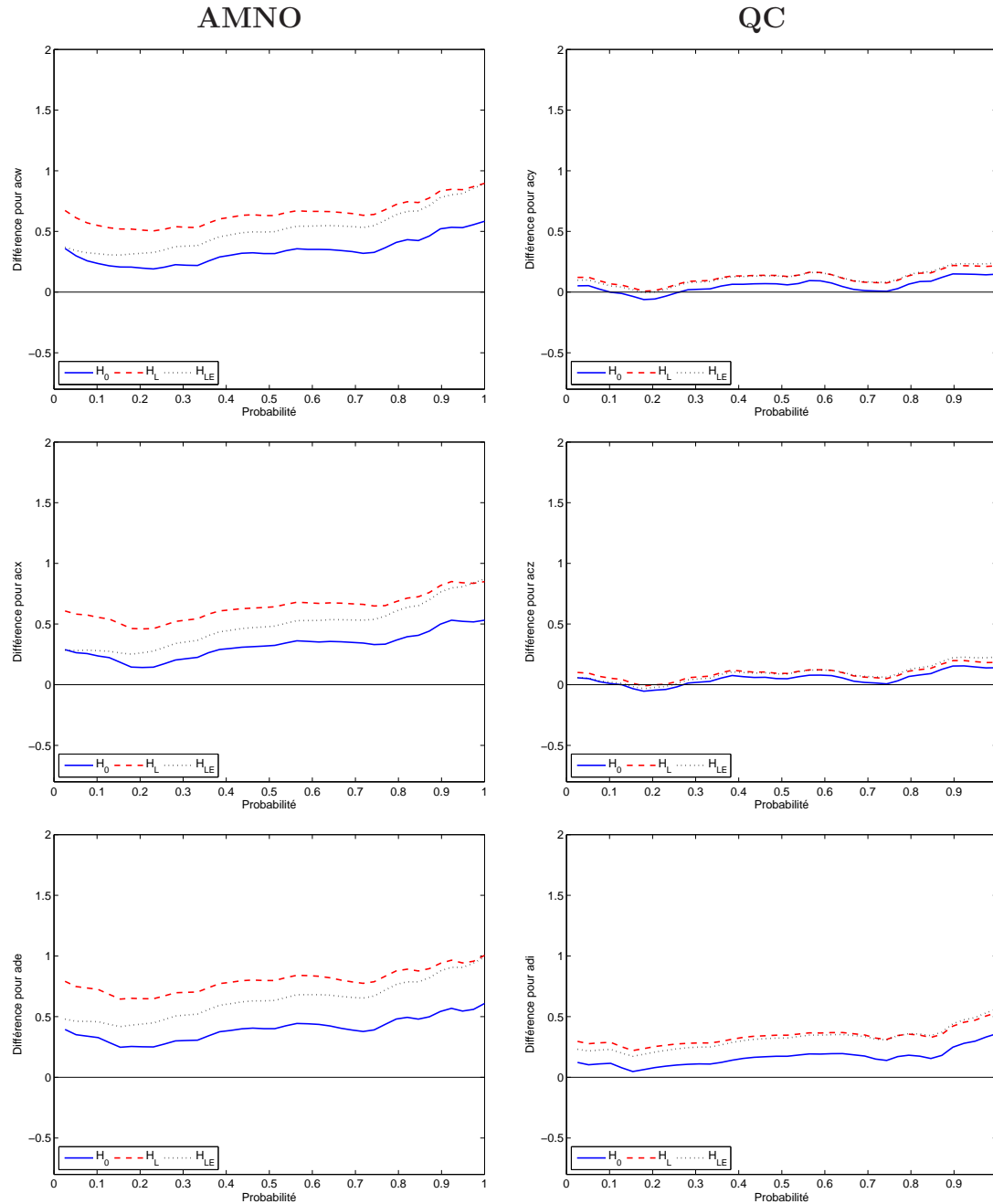


FIG. D.9 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *LGR*

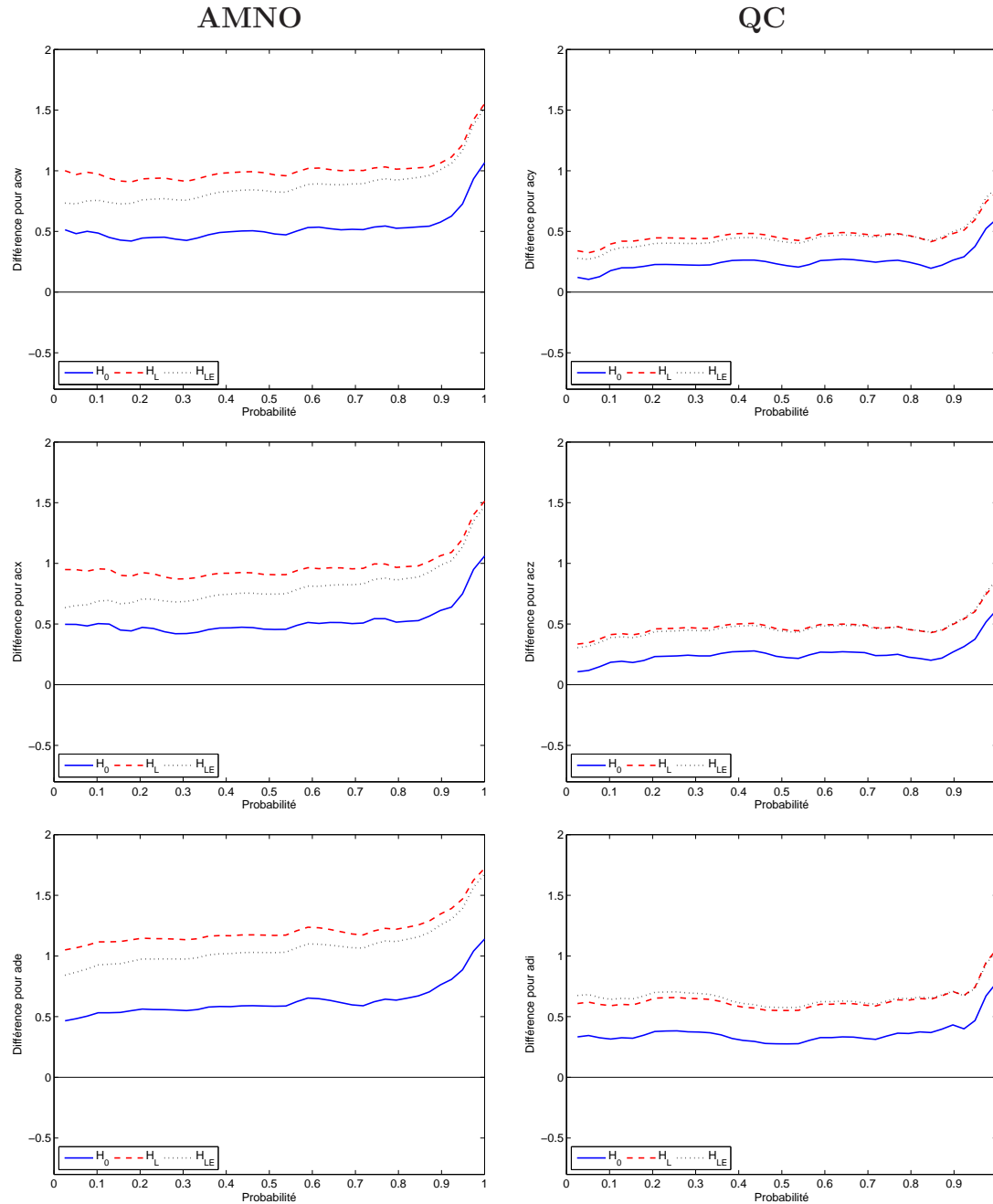


FIG. D.10 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *MAN*

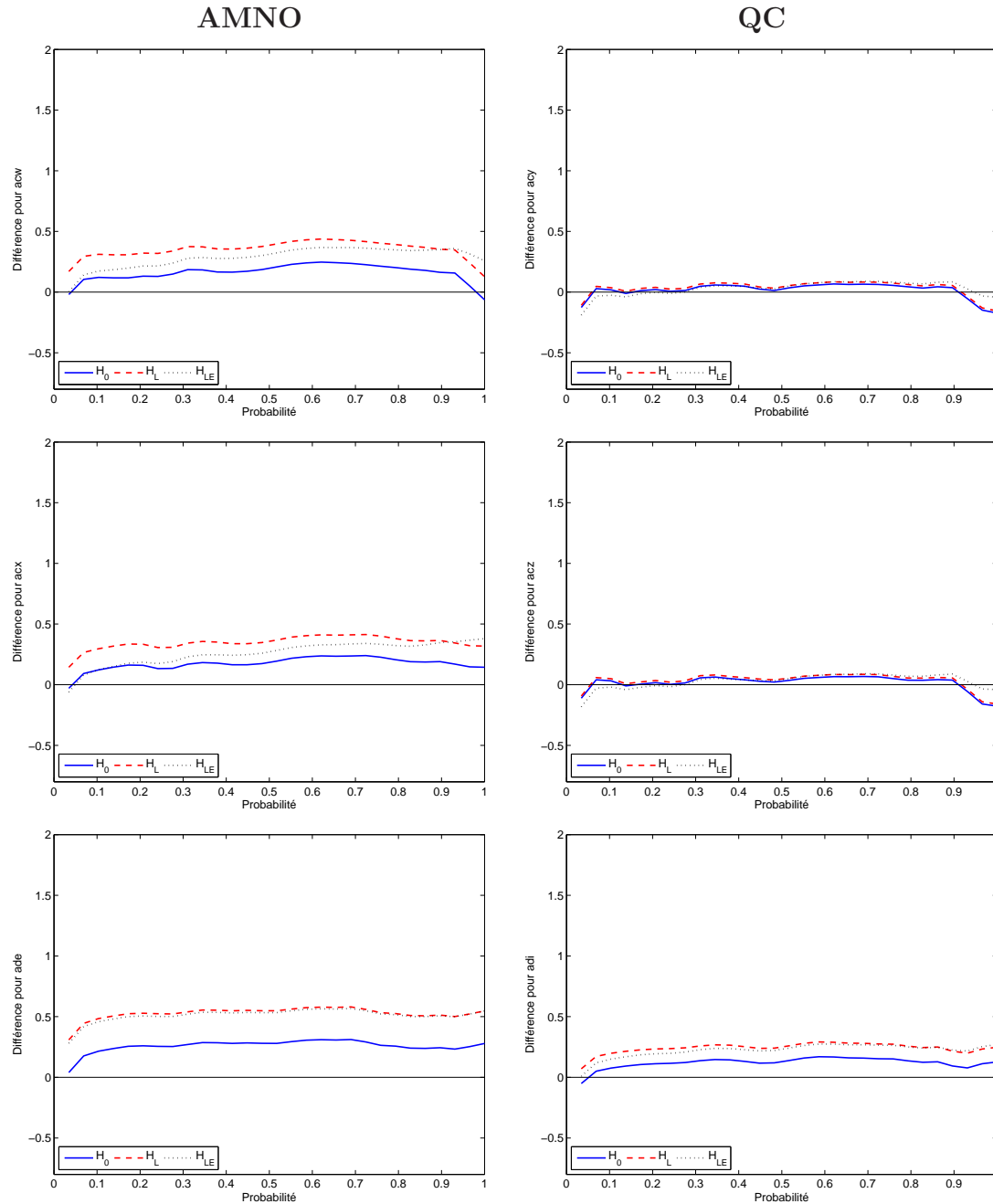


FIG. D.11 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *MEL*

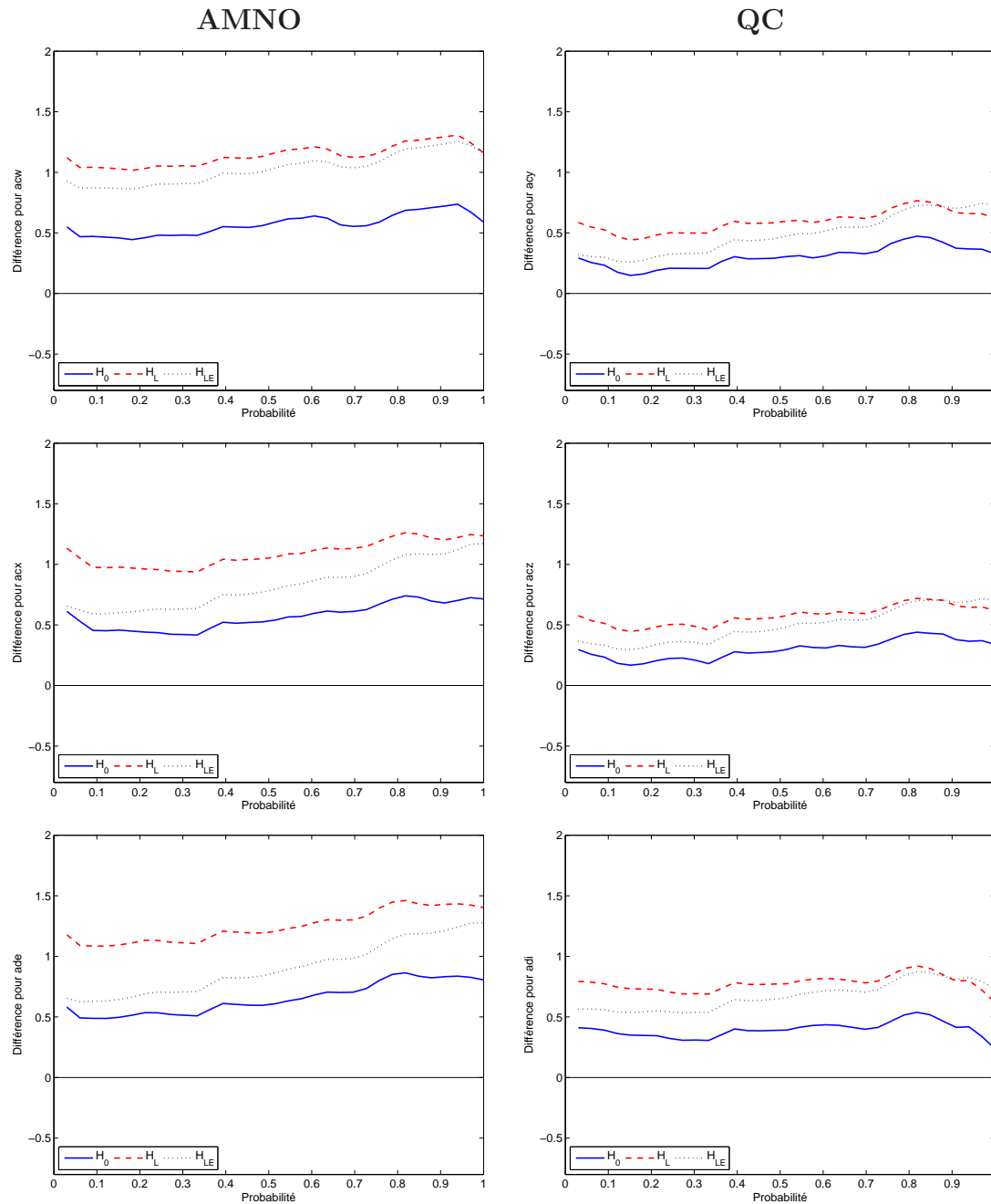


FIG. D.12 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *MOI*

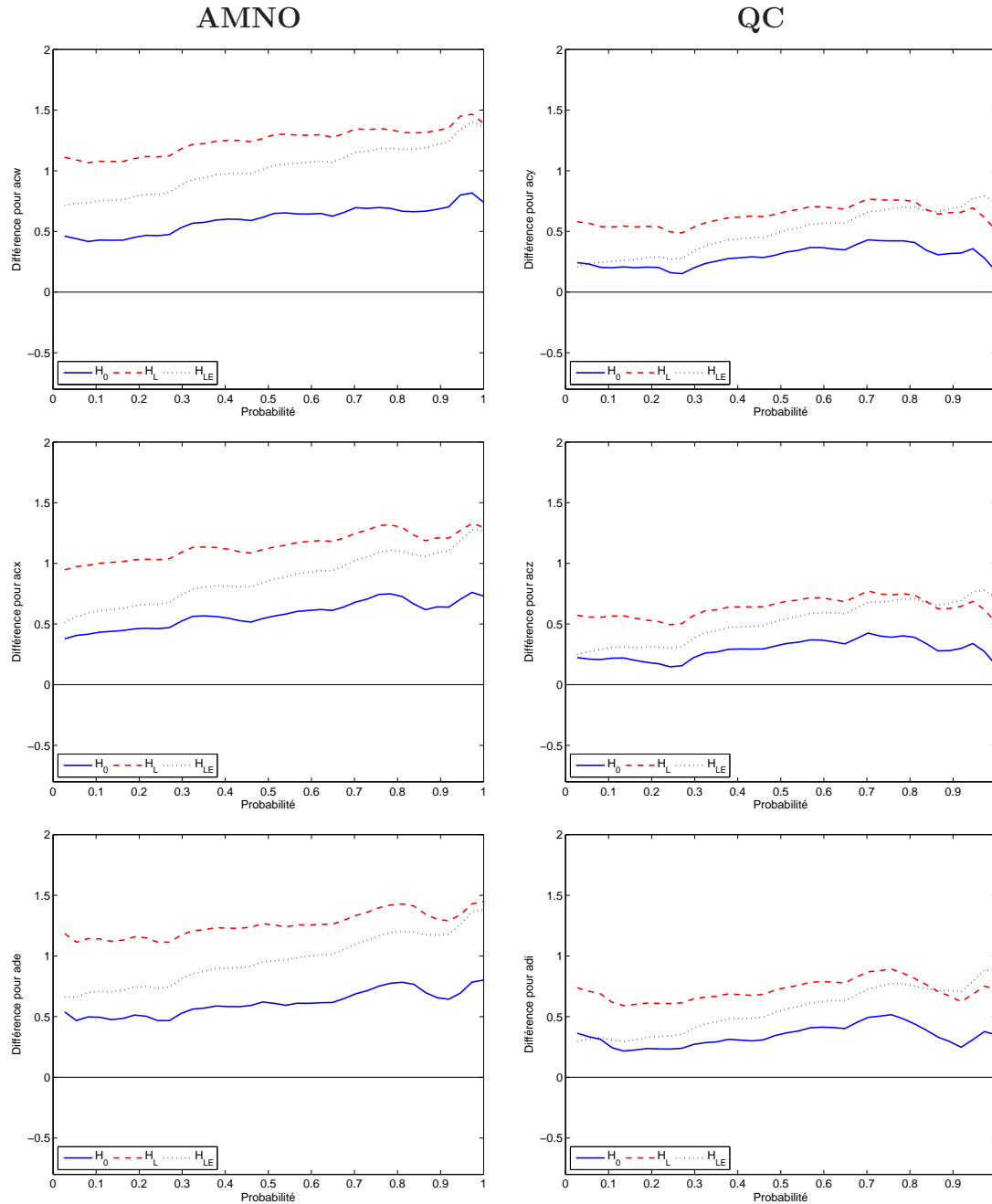


FIG. D.13 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *NAT*

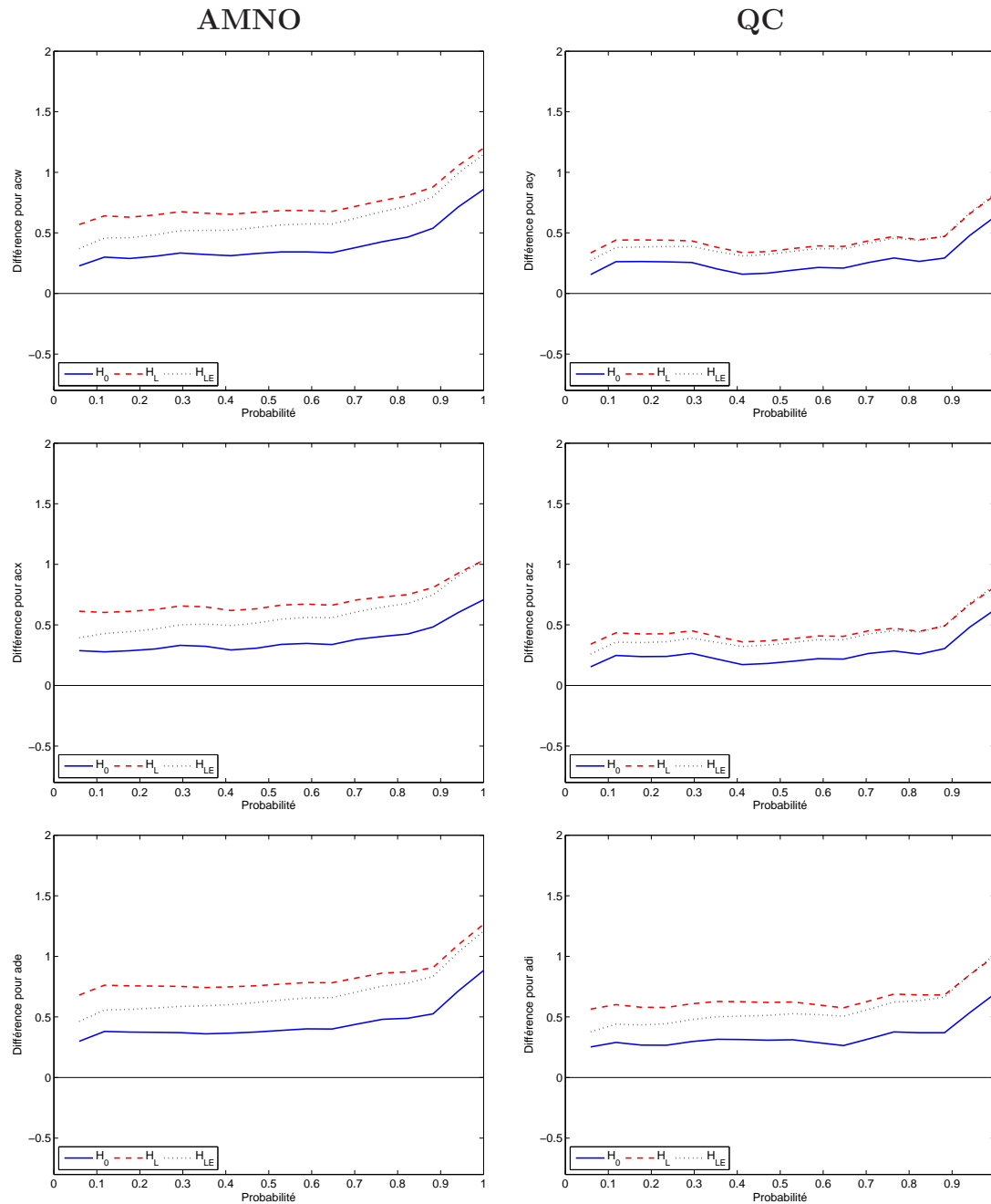


FIG. D.14 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *PYR*

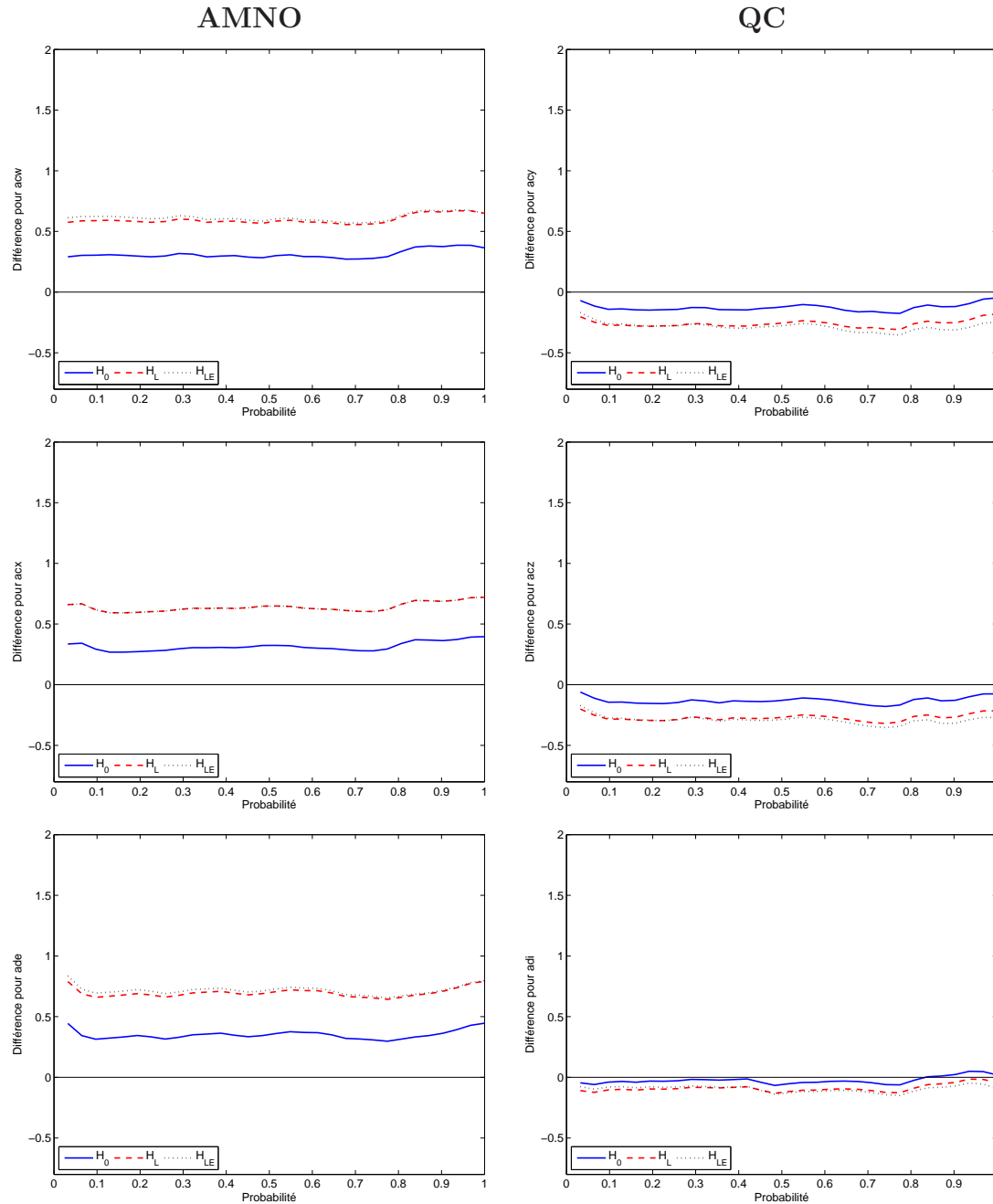


FIG. D.15 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *RDO*

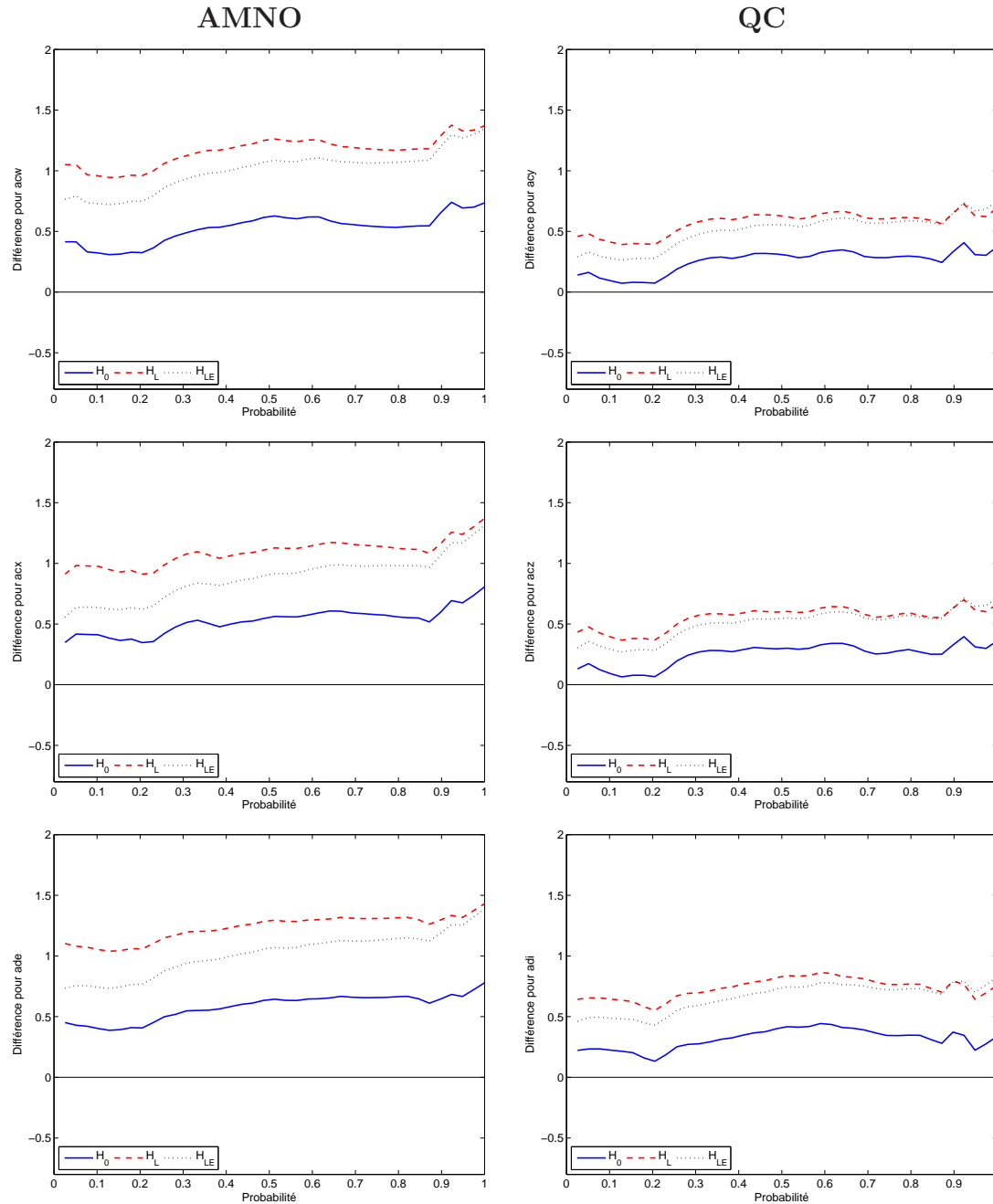


FIG. D.16 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *ROM*

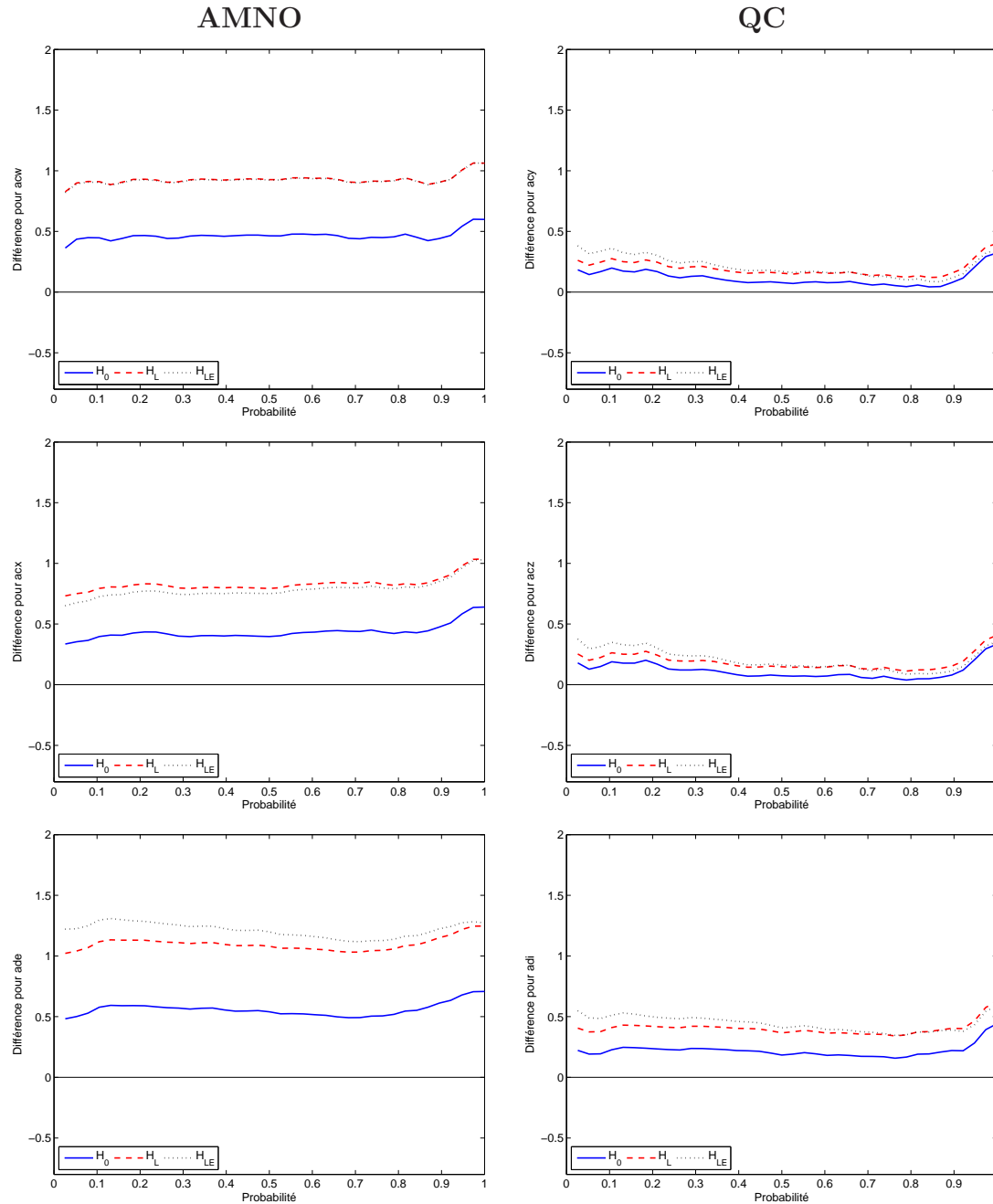


FIG. D.17 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *RUP*

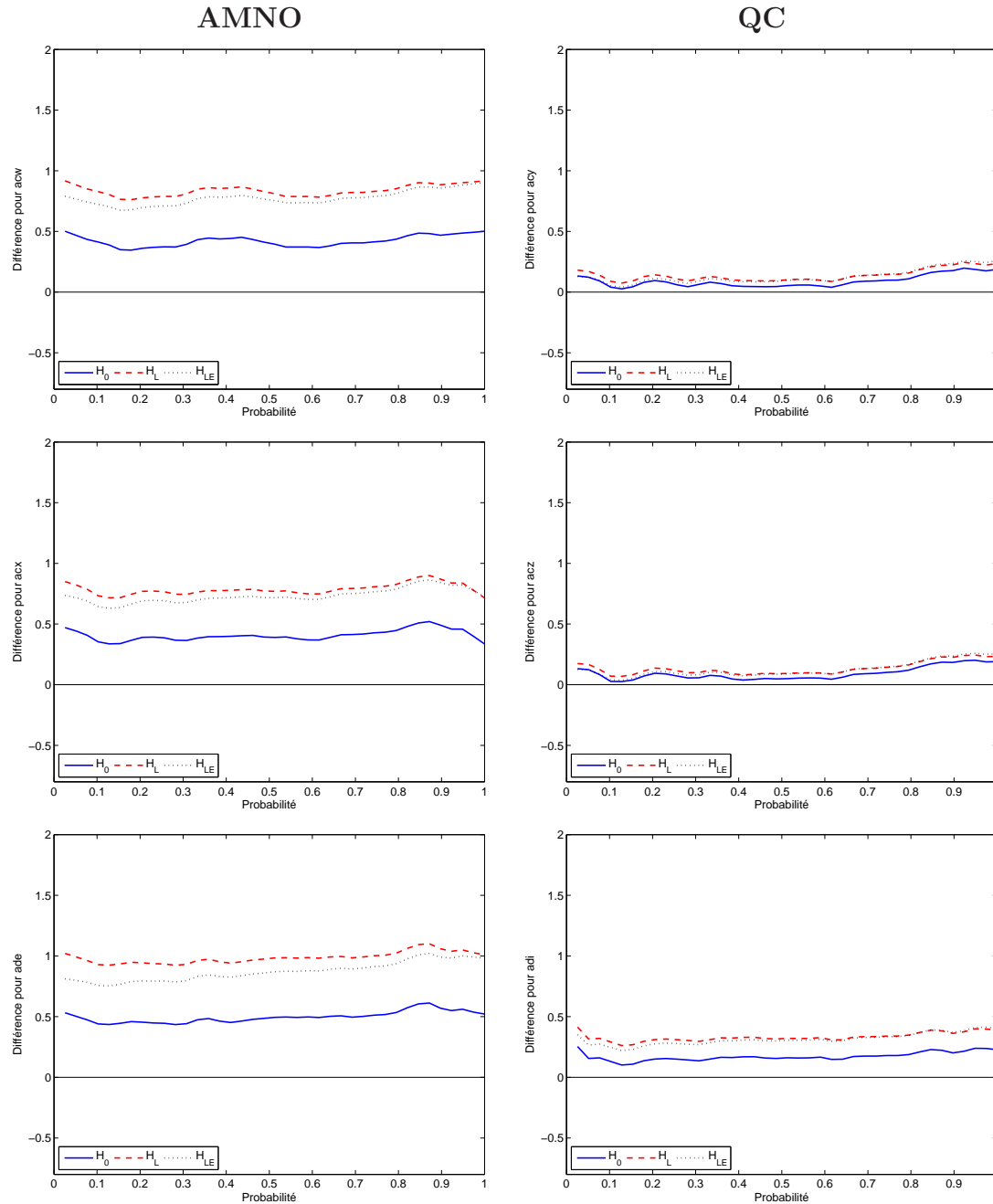


FIG. D.18 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *SAG*

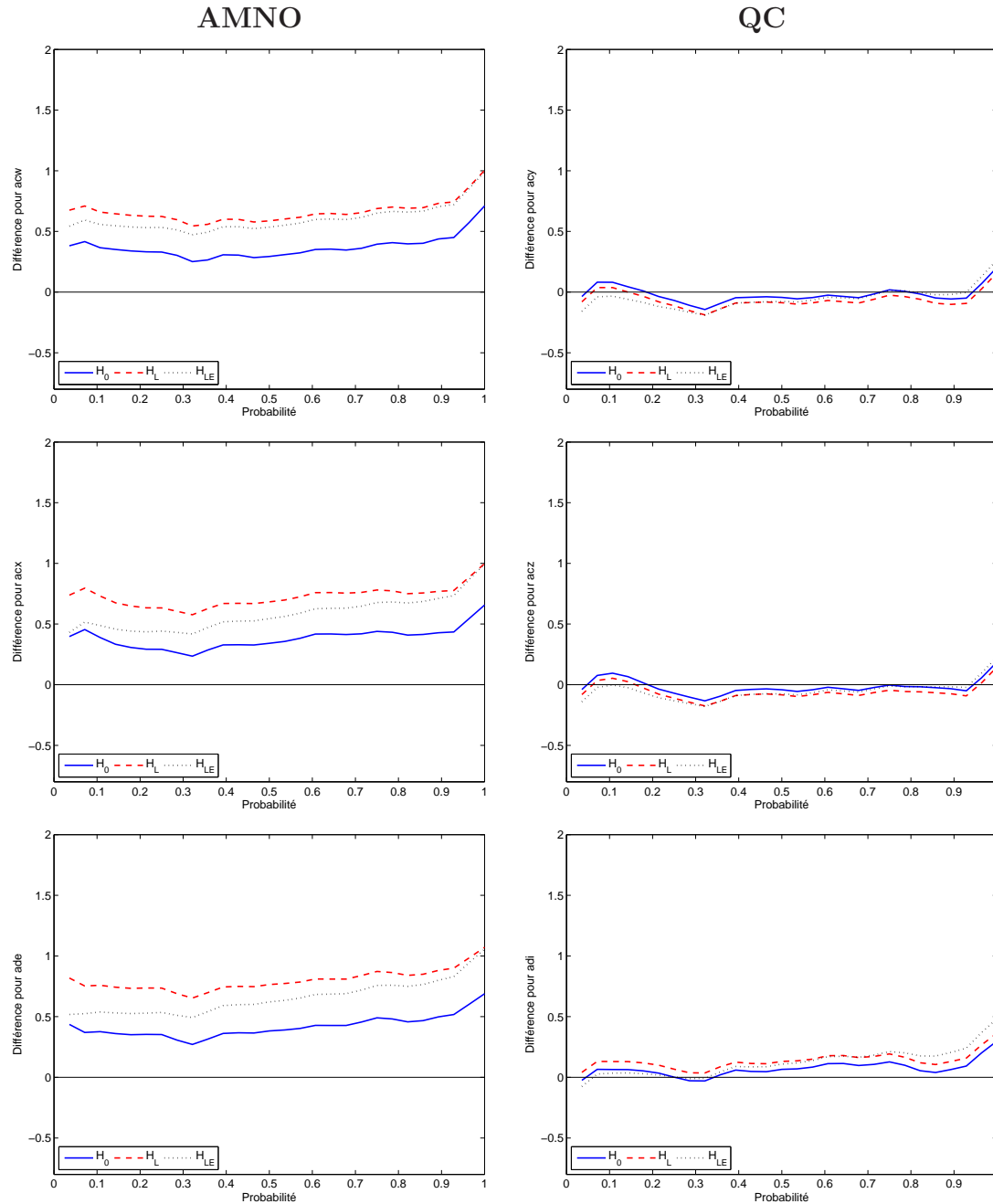


FIG. D.19 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin *STM*

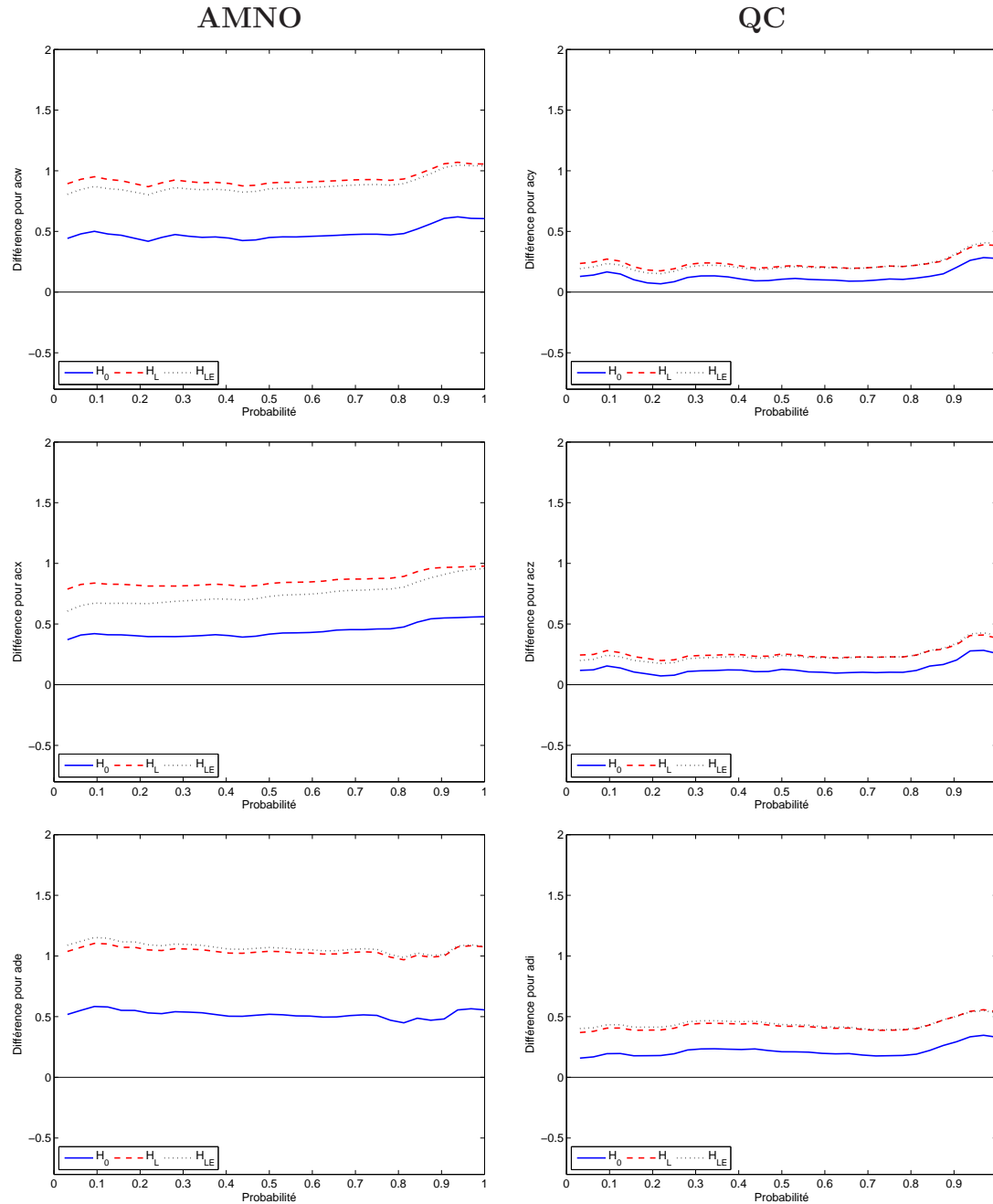


FIG. D.20 – Comparaison des trois relations ((3.1) à (3.3)) entre les quantiles des observations et des simulations pour le bassin WAS

Références

- DAVINSON, A. C. et HINKLEY, D. V. (1997). *Bootstrap Methods and Their Application (Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics, No 1)*. Cambridge University Press.
- DRAGIEVA, N. (2008). Construction d'un intervalle de confiance par la méthode bootstrap et test de permutation. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal.
- FERRO, C. A., HANNACHI, A. et STEPHENSON, D. B. (2005). Simple nonparametric techniques for exploring changing probability distributions of weather. *Journal of Climate*, 18(2):4344–4354.
- KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREDELL, M., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., ZHU, Y., LEETMAA, A., REYNOLDS, R., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., HIGGINS, W., JANOWIAK, J., MO, K., ROPELEWSKI, C., WANG, J., JENNE, R. et JOSEPH, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3):437–471.
- RIETTE, S. et CAYA, D. (2002). Sensitivity of short simulations to the various parameters in the new CRCM spectral nudging. *Research activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, 1105(32):7.39–7.40. Edited by H. Ritchie, WMO/TD.
- SWANEPOEL, J. (1986). A note on proving that the (modified) bootstrap works. *Communications in statistics. Theory and methods.*, 15(11):3193–3203.
- UPPALA, S. M., KÅLLBERG, P. W., SIMMONS, A. J., ANDRAE, U., BECHTOLD, V. D. C., FIORINO, M., GIBSON, J. K., HASELER, J., HERNANDEZ, A., KELLY, G. A., LI, X., ONOGI, K., SAARINEN, S., SOKKA, N., ALLAN, R. P., ANDERSSON, E., ARPE, K., BALMASEDA, M. A., BELJAARS, A. C. M., BERG, L. V. D., BIDLOT, J., BORMANN, N., CAIRES, S., CHEVALLIER, F., DETHOF, A., DRAGOSAVAC, M., FISHER, M., FUENTES, M., HAGEMANN, S., HÓLM, E., HOSKINS, B. J., ISAKSEN, L., JANSSEN, P. A. E. M., JENNE, R., McNALLY, A. P., MAHFOUF, J.-F., MORCRETTE, J.-J., RAYNER, N. A., SAUNDERS, R. W., SIMON, P., STERL, A., TRENBERTH, K. E., UNTCH, A., VASILJEVIC, D., VITERBO, P. et WOOLLEN, J. (2005). The ERA-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131(612):2961–3012.