

Étude de fiabilité des stations d'Hydro-Québec

Nicolas R. Leroux¹, Christopher D. McCray², Dominique Paquin²,
et Julie M. Thériault¹

(1) UQAM

(2) Ouranos

1. Introduction

Le premier objectif de cette étude est de produire une analyse de fiabilité des stations de mesure de verglas d'Hydro-Québec (HQ) de la province du Québec. Pour ce faire, les stations d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) disponibles au Québec sont utilisées comme référence. L'analyse comprend deux sections, soit une première portion sur la performance générale sur une période récente (1978-2016), ainsi qu'une évaluation de certains événements majeurs de verglas ayant eu lieu au cours de cette période.

2. Méthode

2.1 Données et filtrage

Les données ECCC proviennent de la base de données de McCray et al. (2019). Ces données contiennent le nombre d'événements de verglas par année, ainsi que le nombre d'heures et de jours de verglas. Seules les stations du Québec ou proches des frontières avec plus de 30 ans de données entre 1979 et 2016 et plus de 80 % du nombre total d'heures annuelles enregistrées sont utilisées. Au total, 20 stations ECCC sont disponibles pour notre analyse. Seuls les événements des stations ECCC qui ont duré plus de 3 h sont utilisés pour l'analyse. Ce seuil a été choisi, car il produit la meilleure comparaison entre les stations ECCC et les stations HQ.

Les données HQ contiennent les dates des événements rapportés par les observateurs, ainsi que la quantité de verglas mesurée. Ces données sont filtrées de la façon suivante :

- Seules les stations avec au moins une mesure d'événement par saison (entre le 15 septembre et le 15 juin) pendant au moins 30 ans entre 1978 et 2016 sont gardées. Ces années ont été choisies, car elles correspondent aux données disponibles des stations ECCC.
- Le changement du nom des stations au cours du temps est pris en compte.

Au total, 20 stations HQ sont analysées.

2.2 Analyse des données

Les stations ECCC sont groupées en 12 groupes par proximités (figure 1a) en utilisant premièrement la méthode de *K-means clustering*. Ensuite, ces groupes sont ajustés manuellement selon des critères physiques. Les stations HQ filtrées sont ensuite classées dans les 12 groupes de stations ECCC en minimisant leur distance par rapport aux centres des groupes (figure 1b). Ceci nous permet de comparer le nombre d'événements ainsi que le nombre de jours de verglas par

saison entre les stations HQ et les mesures ECCC de chaque groupe. En se basant sur cette comparaison, la fiabilité des stations HQ est déterminée.

Pour quantifier la comparaison entre les stations ECCC et les stations HQ, le biais total (Eq. 1, qui correspond à la différence du nombre total d'évènements ou de jours de verglas entre une station ECCC et une station HQ sur 30 ans), l'erreur moyenne quadratique (*RMSE*, Eq. 2, qui correspond à la variation moyenne du nombre d'évènements ou de jours de verglas par saison entre une station ECCC et une station HQ sur 30 ans) et la corrélation de Pearson (*r*, Eq. 3) sont calculés.

$$Biais = \sum_{i=1,N} (x_i - y_i) \quad \text{Eq. 1}$$

$$RMSE = \left[\sum_{i=1,N} \frac{(x_i - y_i)^2}{N} \right]^{0.5} \quad \text{Eq. 2}$$

$$r = \frac{N \sum_{i=1,N} x_i y_i - (\sum_{i=1,N} x_i)(\sum_{i=1,N} y_i)}{\left[N \sum_{i=1,N} x_i^2 - (\sum_{i=1,N} x_i)^2 \right]^{0.5} \left[N \sum_{i=1,N} y_i^2 - (\sum_{i=1,N} y_i)^2 \right]^{0.5}} \quad \text{Eq. 3}$$

où *x* et *y* sont les variables étudiées (nombre d'évènements et nombre de jours) pour les stations ECCC et HQ, respectivement, et *N* est le nombre de saisons en commun entre les stations HQ et ECCC comparées.

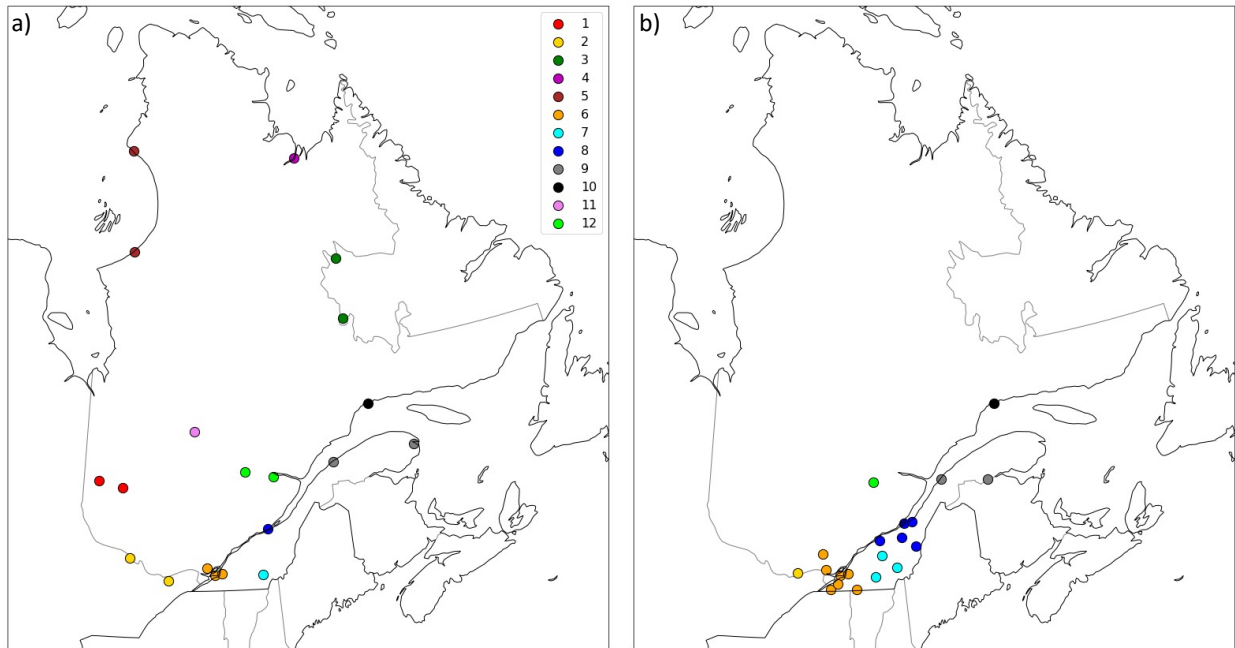


Figure 1 : (a) Stations ECCC après filtrage, groupées par proximité les unes des autres. (b) Stations HQ après filtrage, groupées en minimisant leur distance avec le centre des groupes des stations ECCC dans (a). Chaque groupe est représenté par une couleur différente.

3. Résultats

3.1 Stations ECCC

La figure 2 compare le nombre total d'évènements pendant toute la période considérée entre les groupes des stations ECCC. Nous remarquons que dans l'ensemble les stations ECCC dans chaque groupe ne sont pas cohérentes en elles. Ainsi, nous ne pouvons pas réduire le nombre de stations ECCC dans chaque groupe, et toutes les stations des groupes sont utilisées pour la comparaison avec les stations HQ.

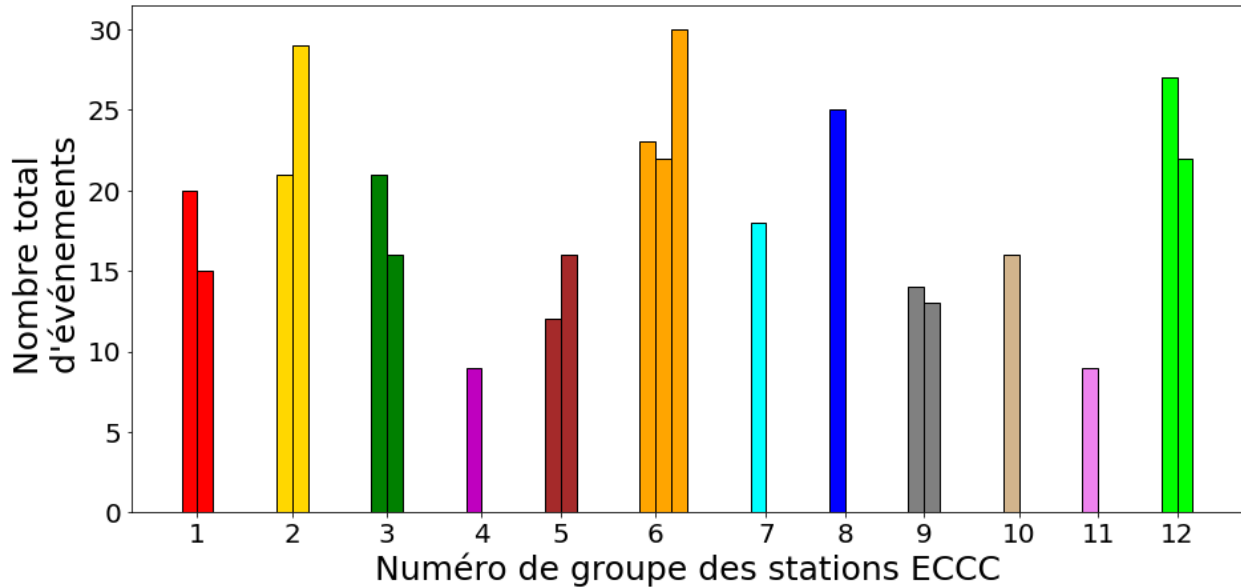


Figure 2 : Nombre total d'évènements pour les stations ECCC groupées (c.f. figure 1a pour la localisation des groupes basée sur les couleurs).

3.2 Stations HQ

Seulement 20 stations HQ sur un total de 180 ont des données pendant plus de 30 ans (figure 3). Ces stations sont situées principalement autour de Montréal et du fleuve Saint-Laurent. Le nombre total de stations HQ à travers le Québec a diminué significativement depuis 1995 (figure 4). Le nombre de stations est passé de plus de 100 stations par saison à environ 40 stations par saison. Cependant, le pourcentage de stations avec au moins une mesure de verglas par saison a légèrement augmenté à partir de 1995.

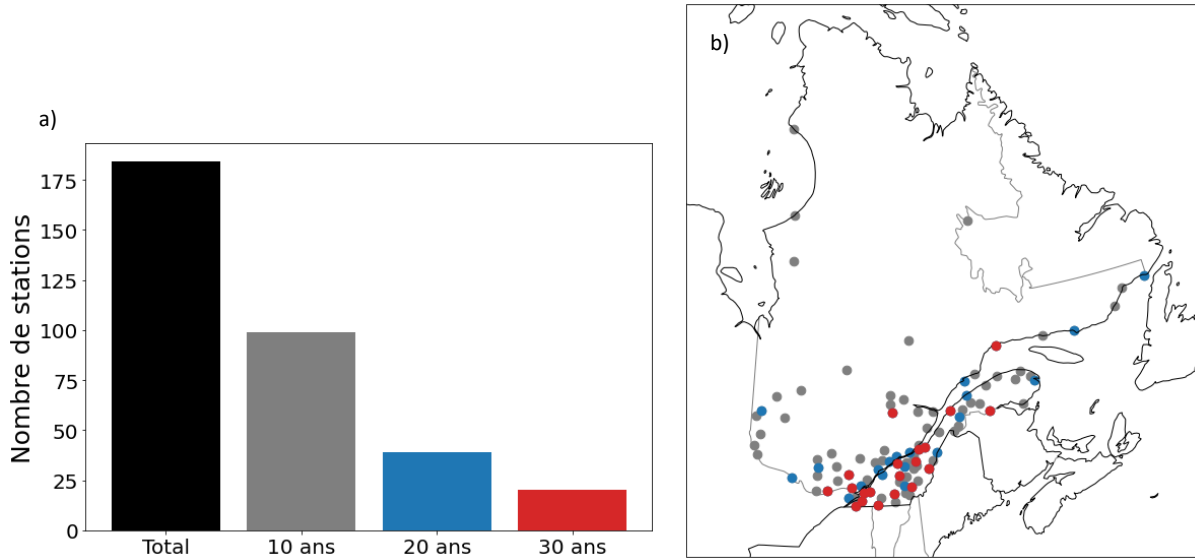


Figure 3 : (a) Nombre total de stations HQ avec plus de 10 ans de données (gris), avec plus de 20 ans de données (bleu) et avec plus de 30 ans de données (rouge). (b) Emplacement des stations discrétisées dans (a).

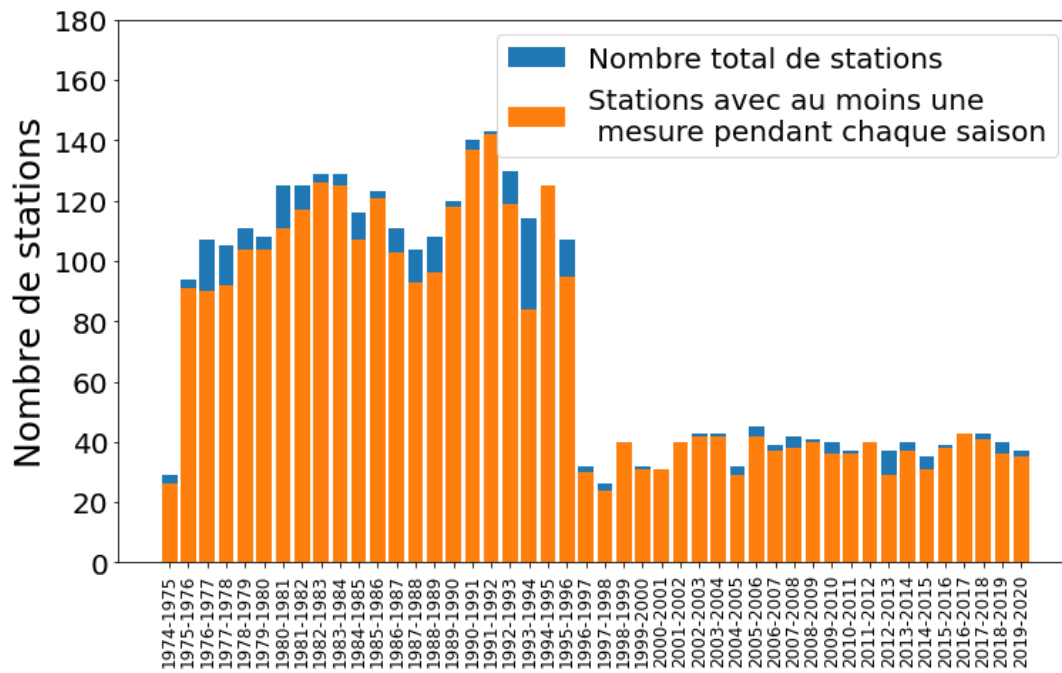


Figure 4 : Nombre total de stations HQ par saison (bleu) et nombre de stations avec au moins une mesure de verglas par saison (orange).

3.3 Comparaison entre les stations HQ et les stations ECCC

Une comparaison du nombre d'évènements entre les stations HQ avec plus de 30 ans de données et les stations ECCC du groupe orange (figure, autour de Montréal) est montrée en figure 5 (voir l'annexe 1 pour les autres groupes et l'annexe 2 pour une comparaison du nombre de jours pour tous les groupes). Cette figure montre que les stations ECCC et les stations HQ ne sont pas consistantes entre elles-mêmes et qu'elles ne suivent pas les mêmes tendances annuelles. Cette même comparaison, mais avec le nombre de jours de verglas par saison entre les stations ECCC et les stations HQ donne des résultats similaires (annexe 2).

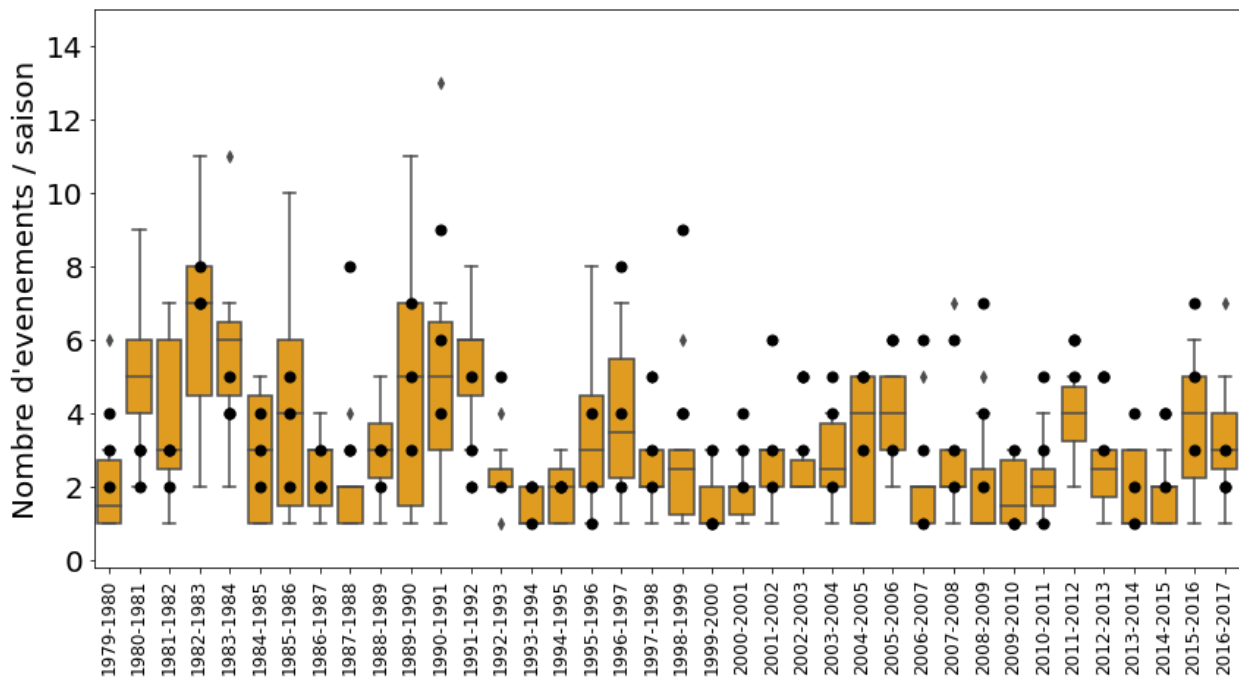


Figure 5 : Série temporelle du nombre d'évènements par saison entre les stations ECCC (points) et les stations HQ (boîtes à moustaches). Ces séries temporelles correspondent aux stations dans le groupe 6 des figures 1 et 2. Les différentes lignes représentent les séries temporelles des différentes stations ECCC et les différentes couleurs des points présentent les différentes stations HQ du groupe. L'annexe 1 présente les mêmes graphes, mais pour les autres groupes.

Le tableau 1 présente les statistiques entre les stations ECCC et HQ du groupe orange de la figure 1 dont les séries temporelles sont montrées en figure 5 (voir l'annexe 3 pour les statistiques des autres groupes). Aucune station HQ n'a une corrélation de plus de 0.59 avec les stations ECCC du même groupe. De même, le biais total est en général élevé mis à part pour deux stations qui ont un biais égal à 2, et le RMSE, qui est un indice de la variation du nombre d'évènements entre les stations par saison, n'est jamais en dessous de 1.8 évènement. Ces résultats montrent que les stations ECCC et HQ de ce groupe ne sont pas bien corrélées. Une analyse identique avec les nombres de jours de verglas par saison entre les stations ECCC et HQ révèle la même conclusion. Ces conclusions sont les mêmes pour les autres groupes présentés dans la figure 1 (voir l'annexe 3).

Tableau 1 : Biais total (en nombre d'évènements sur 30 ans), RMSE (en nombre d'évènements par saison), et corrélation de Pearson (r) entre les nombres d'évènements par saison entre les stations ECCC et les stations HQ dans le groupe 6 (figures 1 et 2). La case grisée montre les stations les mieux corrélées dans ce groupe. L'annexe 3 présente les mêmes tableaux pour les autres groupes. Le nom des stations et leur localisation correspondent aux numéros sont présentés en annexes 8 et 9 pour les stations ECCC et HQ, respectivement.

		Stations HQ						
		7023240	7025250	7026040	7027320	7027540	7033650	7037230
Stations ECCC	716270	Biais = 28 RMSE = 2.1 $r = 0.14$	Biais = 31 RMSE = 2.1 $r = 0.59$	Biais = 2 RMSE = 2.5 $r = -0.17$	Biais = 17 RMSE = 2.3 $r = 0.28$	Biais = 22 RMSE = 1.8 $r = 0.31$	Biais = 30 RMSE = 2.2 $r = 0.36$	Biais = 52 RMSE = 4.3 $r = 0.4$
	713713	Biais = 42 RMSE = 2.1 $r = 0.27$	Biais = 15 RMSE = 2.6 $r = 0.16$	Biais = 12 RMSE = 2.3 $r = 0.01$	Biais = 2 RMSE = 2.4 $r = 0.1$	Biais = 37 RMSE = 1.8 $r = 0.45$	Biais = 15 RMSE = 1.8 $r = 0.41$	Biais = 41 RMSE = 4.7 $r = 0.11$
	716278	Biais = 82 RMSE = 3.6 $r = -0.2$	Biais = 27 RMSE = 2.8 $r = 0.29$	Biais = 41 RMSE = 2.6 $r = 0.21$	Biais = 39 RMSE = 2.9 $r = 0.19$	Biais = 69 RMSE = 3.1 $r = 0.11$	Biais = 27 RMSE = 2 $r = 0.57$	Biais = 7 RMSE = 4.5 $r = 0.17$

La figure 6 compare les données du nombre d'évènements de verglas entre les stations ECCC et HQ les plus corrélées dans le groupe 6 (case grisée dans le tableau 1). L'annexe 4 présente les mêmes figures pour les stations les mieux corrélées des autres groupes et l'annexe 5 présente les résultats pour le nombre de jours de verglas par saison. Dans l'ensemble des groupes, les données ECCC et HQ sont assez différentes. Des tendances différentes sont observées entre les deux périodes 1979-1996 et 1996-2016 et les tendances sont souvent inconsistantes entre les stations HQ et ECCC. Pour les deux stations présentées dans la figure 6, les tendances sont très proches après 1996.

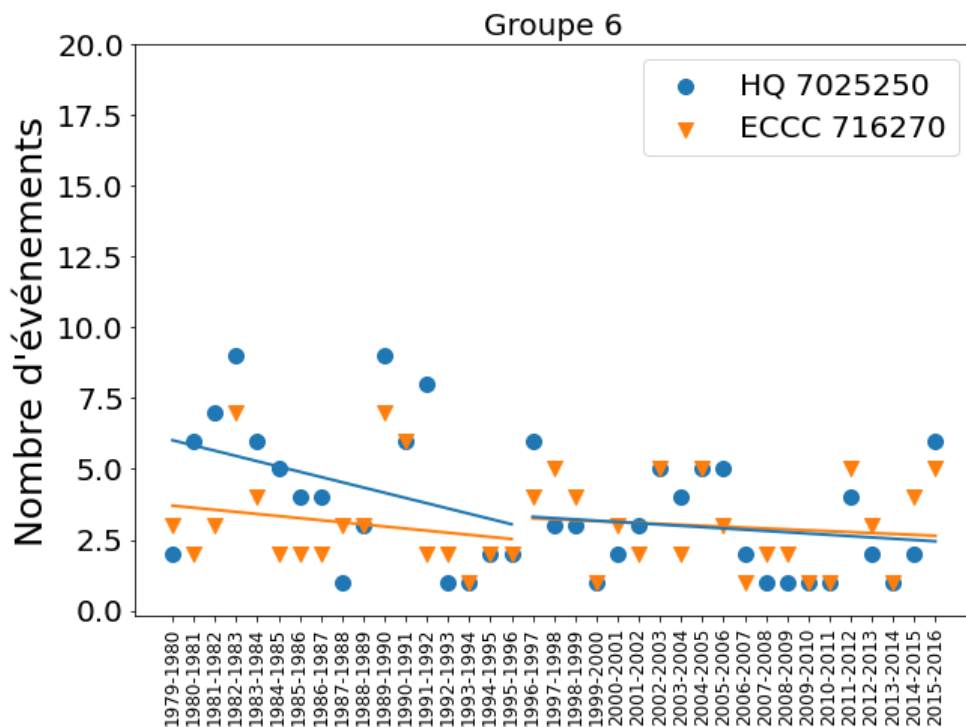


Figure 6 : Série temporelle du nombre d'évènements entre la station ECCC et la station HQ les plus corrélées dans le groupe 6 (tableau 1). Les tendances pour chaque station entre 1979-1996 et entre 1996 et 2016. Le nom des stations et leur localisation correspondent aux numéros sont présentés en annexes 8 et 9 pour les stations ECCC et HQ, respectivement.

3.4 Étude des évènements majeurs de verglas

Seize évènements majeurs entre 1980 et 2012 avec plus de 21 mm de verglas (catégorie 5 ou plus) ont été identifiés à partir des rapports annuels d'HQ. La figure 6 montre le nombre de stations HQ et ECCC opérationnelles pendant ces évènements majeurs. Entre 1980 et 1998, plus de stations HQ avaient de mesures que les stations ECCC pendant les évènements. Mais le nombre de stations HQ avec des mesures décroît de manière significative à partir de 1996 (figure 4), ce qui se voit par le nombre de stations HQ avec des données pendant les évènements majeurs après 1998. Pendant cinq des évènements majeurs, moins de deux stations ECCC étaient disponibles pour récolter des données.

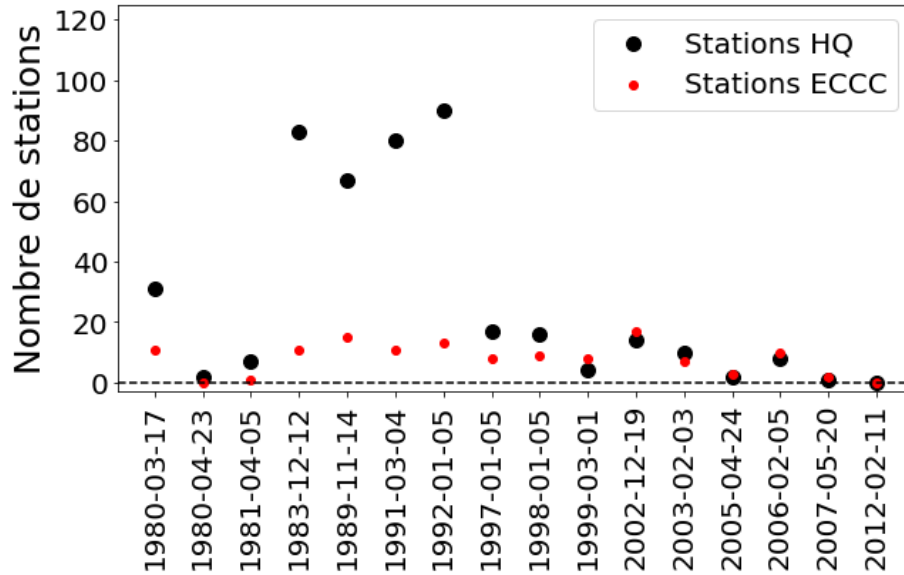


Figure 6 : Nombre de stations HQ et ECCC opérationnelles pendant les 18 évènements majeurs identifiés.

La figure 7 montre la variation de l'épaisseur de glace entre les stations HQ mesurée pendant chaque évènement majeur. Les variations des épaisseurs de glaces par groupe sont présentées en annexe 6. L'annexe 7 présente les comparaisons des nombres de jours de verglas pendant les évènements majeurs entre les stations ECCC et HQ. Nous remarquons que les mesures entre les stations sont consistantes entre elles quand le nombre de stations est faible, mais que les mesures varient beaucoup quand le nombre de stations est élevé.

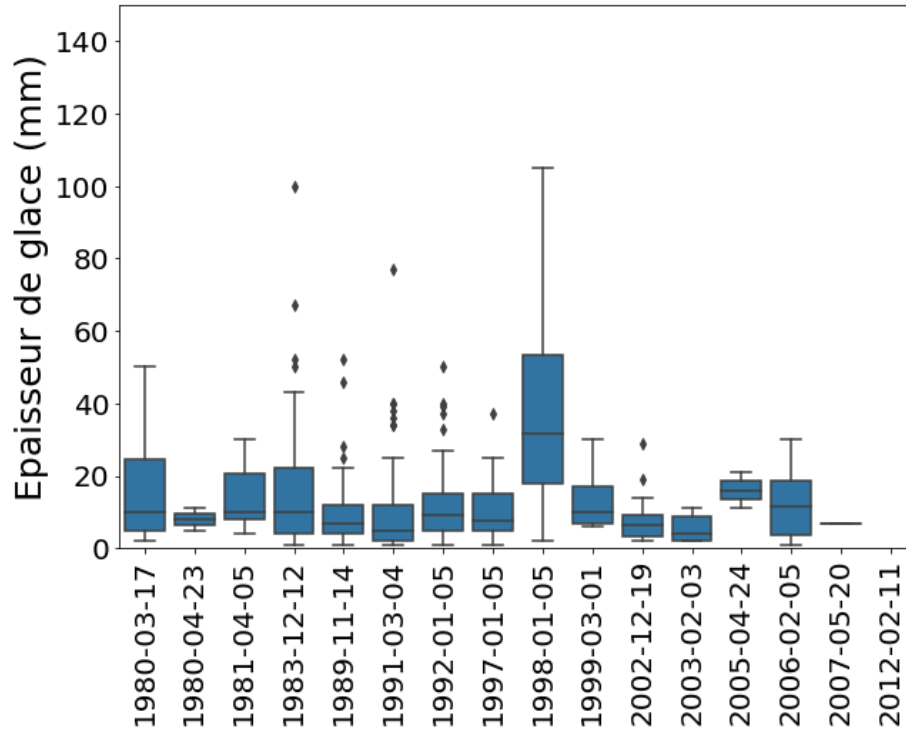


Figure 7 : Variation de l'épaisseur de glace mesurée par toutes les stations pendant les événements majeurs.

Le taux de glace mesuré par chaque station HQ pendant les événements de 1983 et de 1992, où le nombre de stations HQ était le plus élevé, est montré dans la figure 8. Cette figure confirme la conclusion de la figure 7 et du rapport, c'est-à-dire que les stations HQ ne sont pas consistantes entre elles quant aux mesures de l'épaisseur de verglas. Mais une plus grande cohérence du nombre de jours de verglas entre les stations ECCC et HQ est présente pendant les événements majeurs (figure 9).

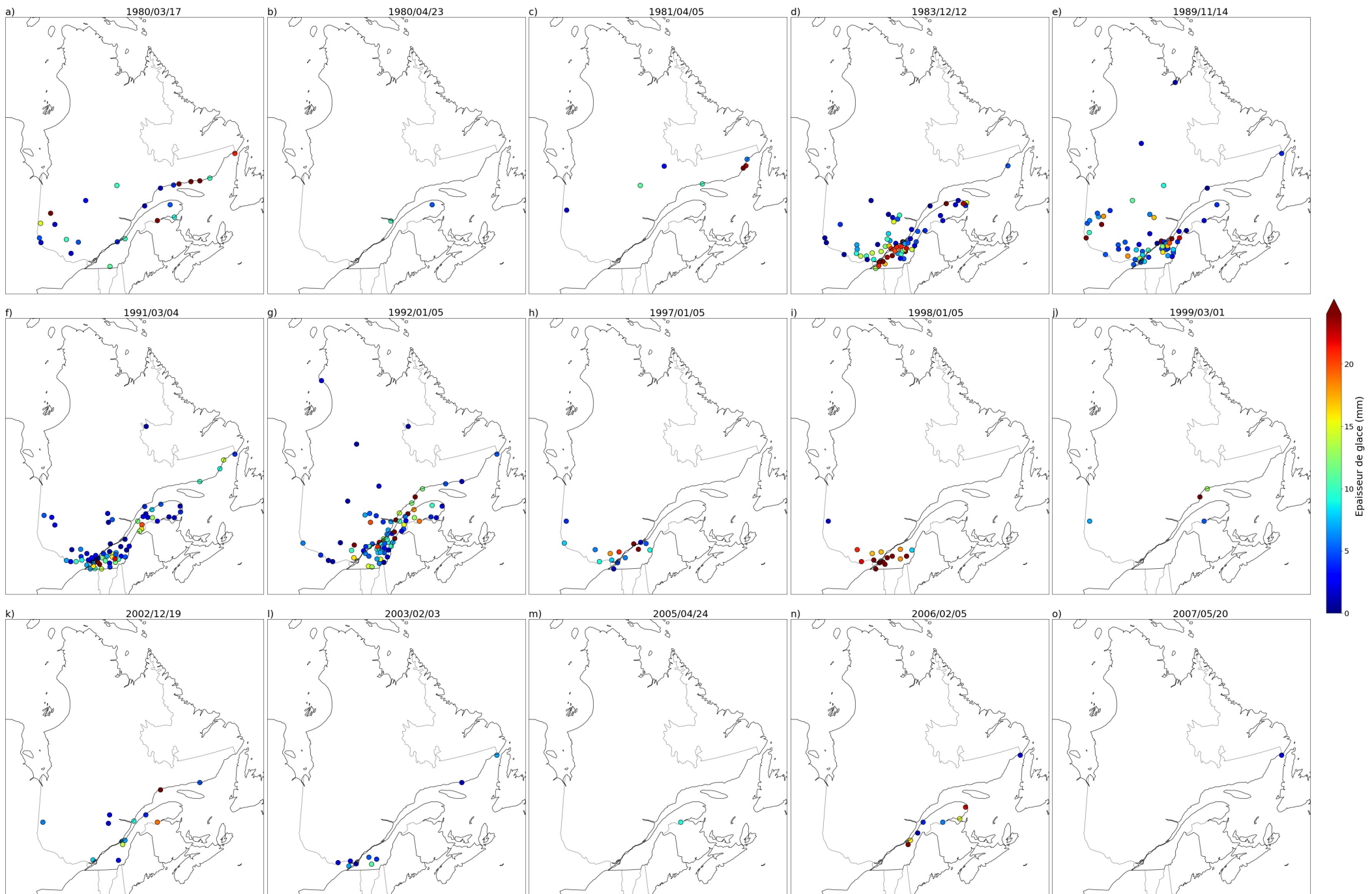


Figure 8 : Épaisseur de glace par toutes les stations HQ pendant les évènements majeurs. Le dernier évènement majeur identifié de 2012 n'est pas montré, car aucune station HQ ne présente de mesure.

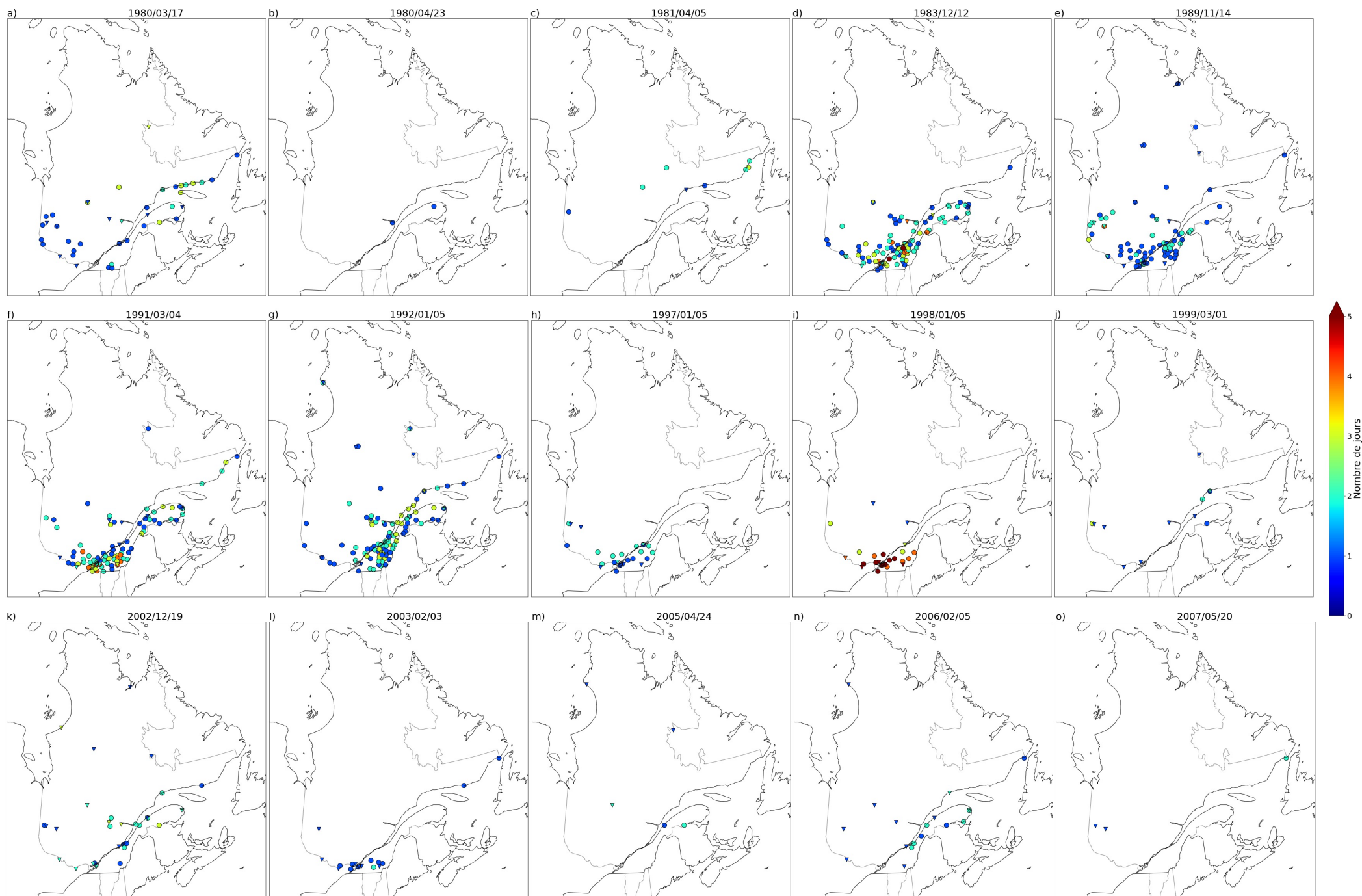


Figure 9 : Nombre de jours par toutes les stations HQ (cercles) et les stations ECCC (triangles) pendant les événements majeurs. Le dernier événement majeur identifié de 2012 n'est pas montré, car aucune station HQ ou ECCC ne présente de mesure.

4. Conclusions

Une étude de fiabilité des stations HQ au travers du Québec a été conduite afin d'identifier les stations qui pourraient être utilisées pour une étude de climatologie du verglas ou pour étudier les événements importants de verglas passés. Les stations potentiellement utilisées pour l'étude de climatologie doivent avoir au moins 30 ans de données. Seules 20 stations HQ, toutes localisées dans le sud de la province, répondent à ce critère.

Les résultats de cette étude peuvent se résumer comme-ci :

- Le nombre de stations HQ a considérablement décliné à partir de 1995.
- Les stations HQ avec plus de 30 ans de mesure sont peu corrélées avec les stations ECCC, avec des valeurs de corrélation ne dépassant pas 0.59. Les biais totaux du nombre d'événements pendant 30 ans pour les stations HQ et ECCC les mieux corrélées varient entre 13 et 120 événements.
- Une grande variabilité a été trouvée dans les mesures des stations HQ appartenant à la même région géographique. Les stations HQ les mieux corrélées entre elles sont dans la région de Montréal.
- Les mesures de verglas des stations HQ pendant les événements majeurs identifiés par HQ avec plus de 21 mm de verglas (catégorie 5 ou plus) depuis 1976 ne sont, dans l'ensemble, pas cohérentes entre elles.

Ceci suggère que les données des stations HQ ne peuvent pas être utilisées pour faire une étude de climatologie. En revanche, elles permettent généralement de déterminer si un événement non négligeable de verglas s'est produit à un moment donné. Les données ne permettent pas d'identifier les moments sans verglas, car pour ce faire, des mesures quotidiennes sont nécessaires, incluant les jours où aucun verglas n'est mesuré.

Pour la suite, il est recommandé de maintenir un historique détaillé des changements apportés aux stations, des modifications dans la façon dont les mesures sont prises ainsi que des instructions données aux observateurs.

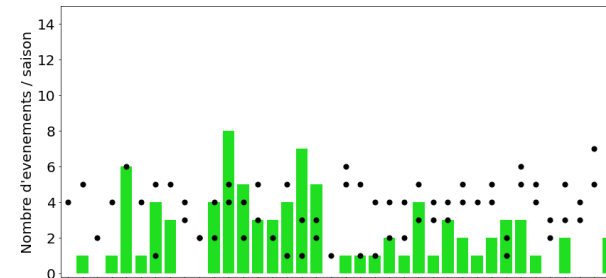
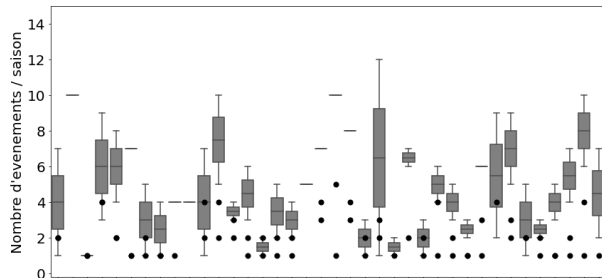
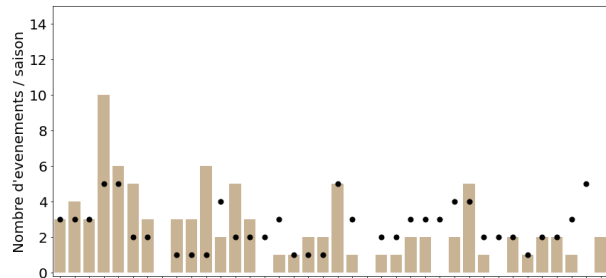
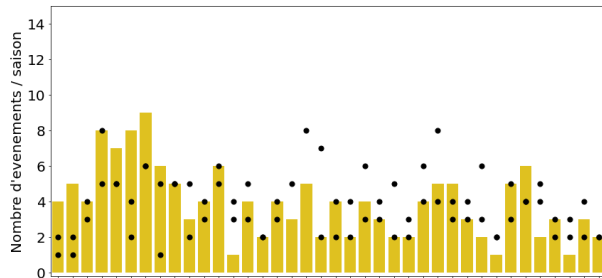
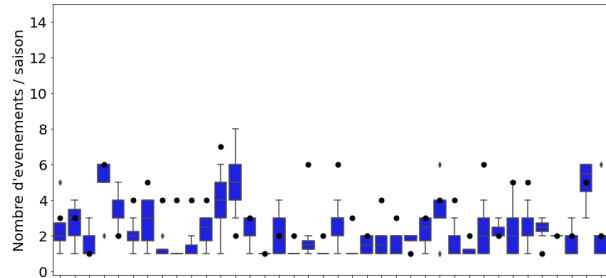
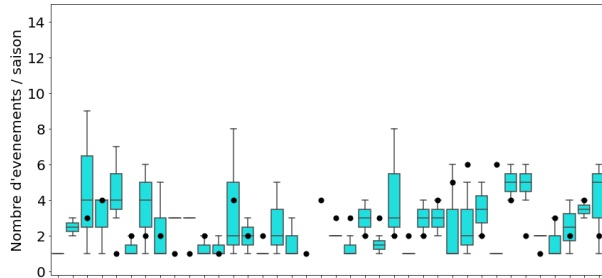
Références

McCray, C. D., Atallah, E. H., & Gyakum, J. R. (2019). Long-Duration Freezing Rain Events over North America: Regional Climatology and Thermodynamic Evolution. *Weather and Forecasting*, 34(3), 665–681. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-18-0154.1>

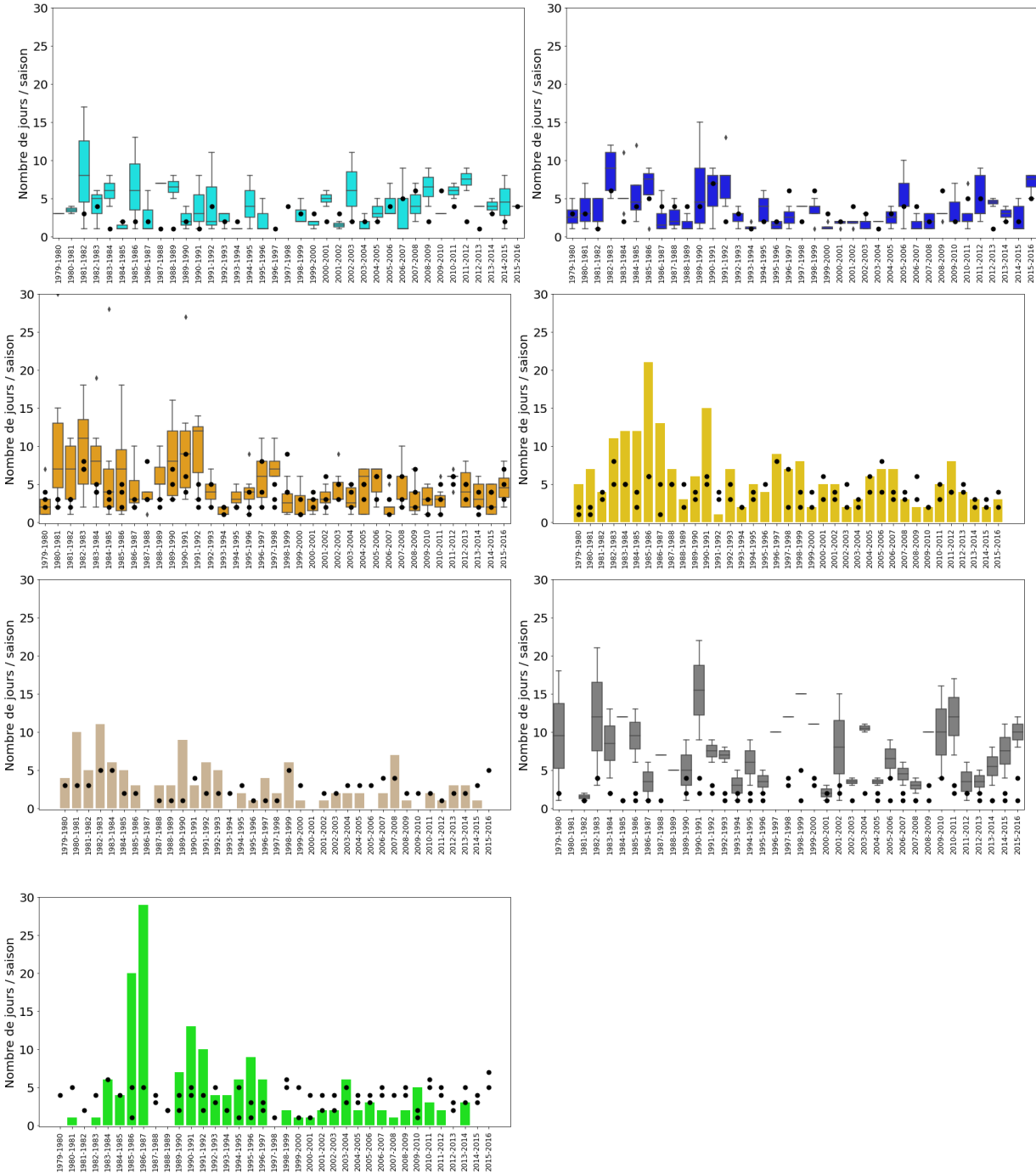
Remerciements

Cette recherche a été financée par une subvention Mitacs Accélération ainsi que par Ouranos via le Fonds vert du gouvernement du Québec et le MELCC. Les auteurs remercient Hydro-Québec pour leurs données.

Annexe 1 : Comparaison du nombre d'évènements pendant chaque saison entre les stations ECCC et HQ



Annexe 2 : Comparaison du nombre de jours avec des mesures de verglas par saison entre les stations ECCC et HQ pendant toutes les saisons



Annexe 3: Statistiques des différents groupes ECCC/HQ pour le nombre d'évènements par saison

Groupe 2 :

		Stations HQ
		7030170
Stations ECCC	716250	Biais = 30 RMSE = 2.0 $r = 0.46$
	716280	Biais = 17 RMSE = 2.1 $r = 0.41$

Groupe 7:

		Stations HQ		
		7020305	7020828	7024320
Stations ECCC	716100	Biais = 15 RMSE = 2.2 $r = -0.085$	Biais = 22 RMSE = 2.3 $r = -0.34$	Biais = 32 RMSE = 2.6 $r = 0.16$

Groupe 8 :

		Stations HQ				
		7022494	7027660	7027840	7047396	7055210
Stations ECCC	717080	Biais = 7 RMSE = 2.1 $r = 0.29$	Biais = 53 RMSE = 2.6 $r = 0.01$	Biais = 20 RMSE = 2.0 $r = 0.31$	Biais = 48 RMSE = 2.2 $r = 0.47$	Biais = 44 RMSE = 2.1 $r = 0.37$

Groupe 9 :

		Stations HQ	
		7056814	7058560
Stations ECCC	716250	Biais = 120 RMSE = 4.2 $r = 0.55$	Biais = 25 RMSE = 2.0 $r = 0.47$
	716280	Biais = 130 RMSE = 4.9 $r = 0.37$	Biais = 25 RMSE = 1.9 $r = 0.23$

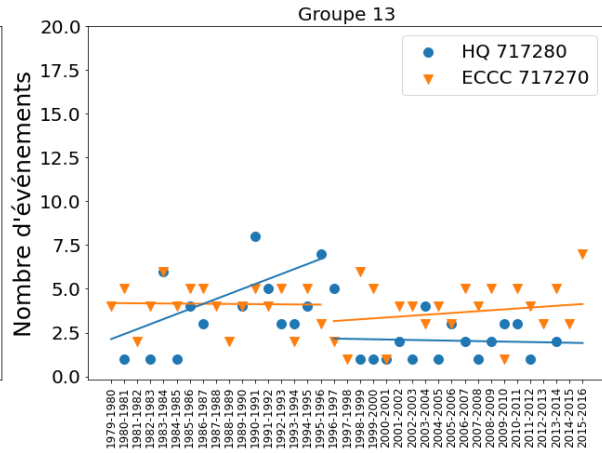
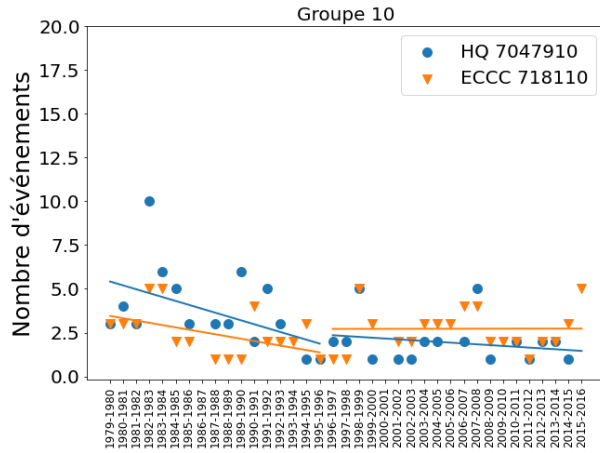
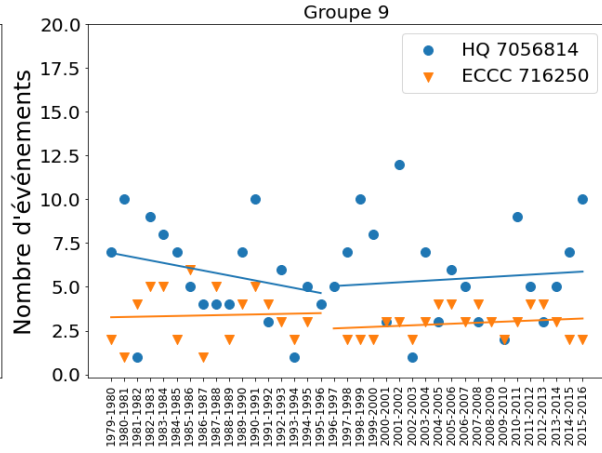
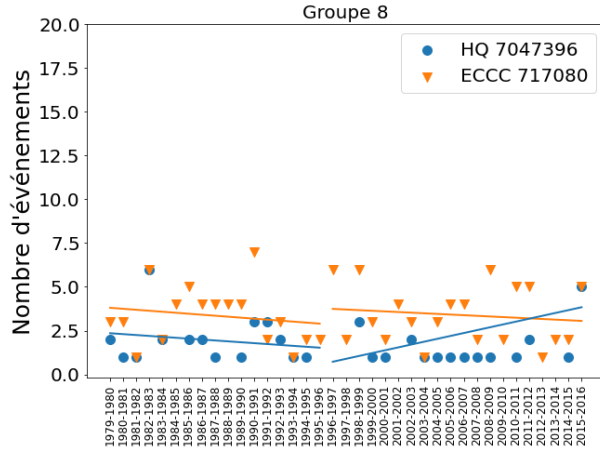
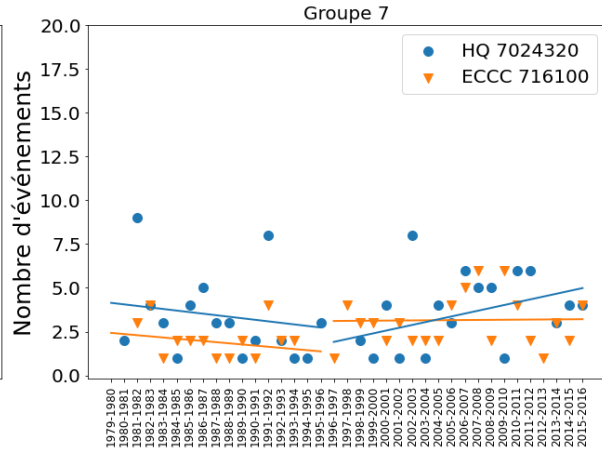
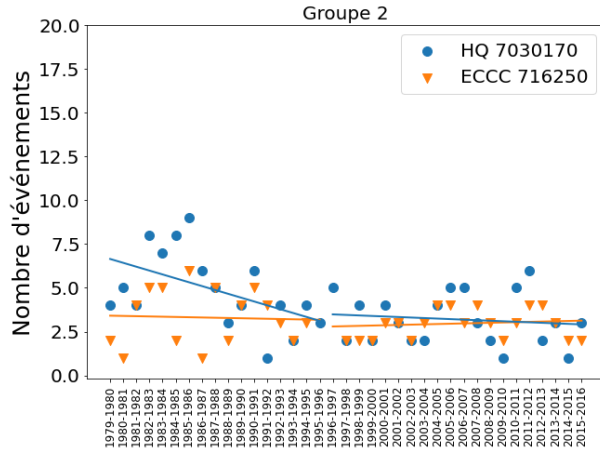
Groupe 10 :

		Stations HQ
		7047910
Stations ECCC	718110	Biais = 13 RMSE = 1.8 $r = 0.45$

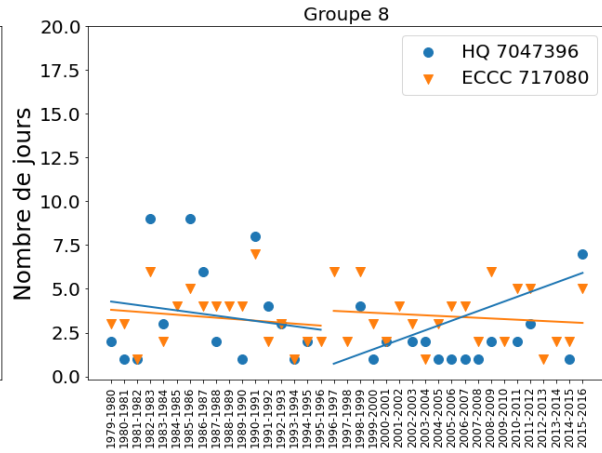
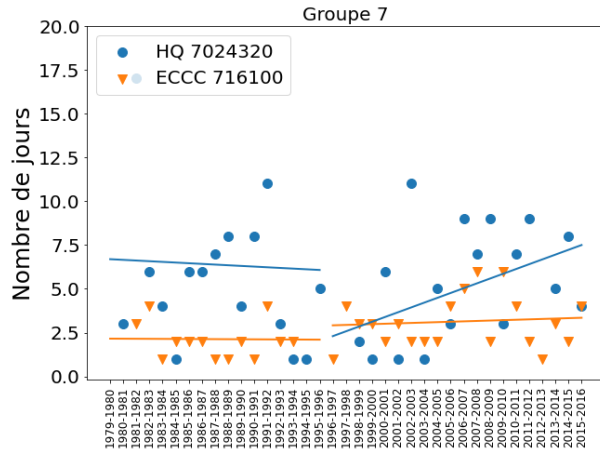
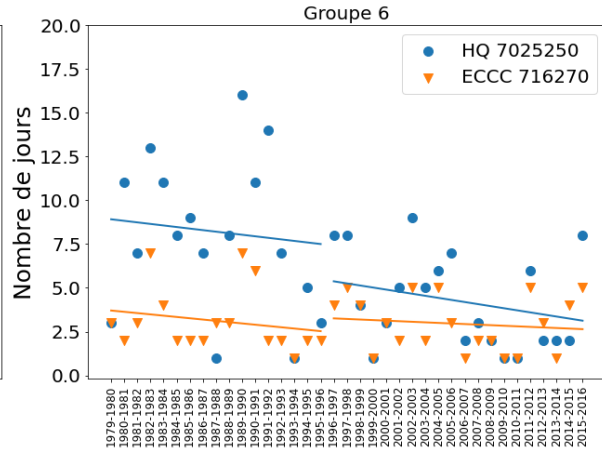
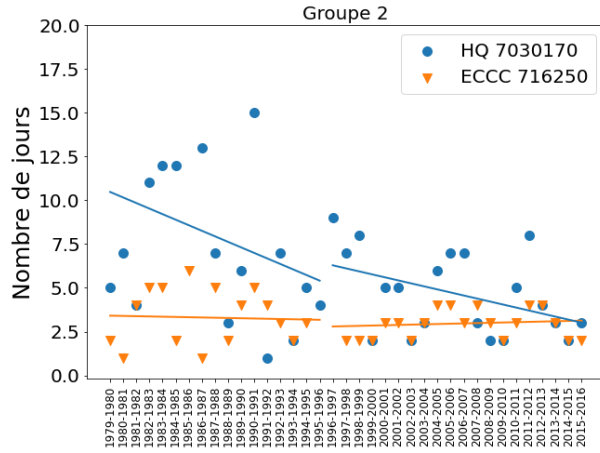
Groupe 13 :

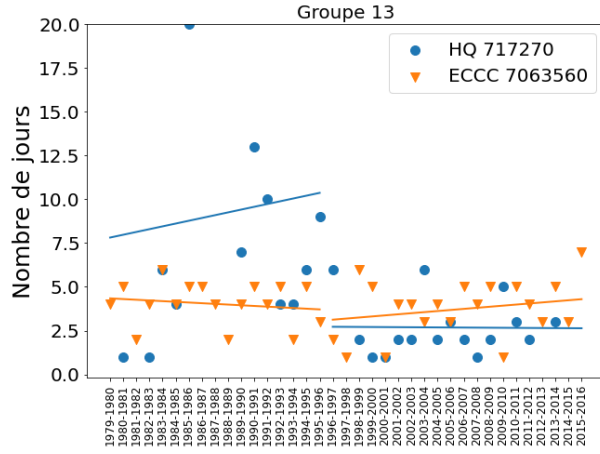
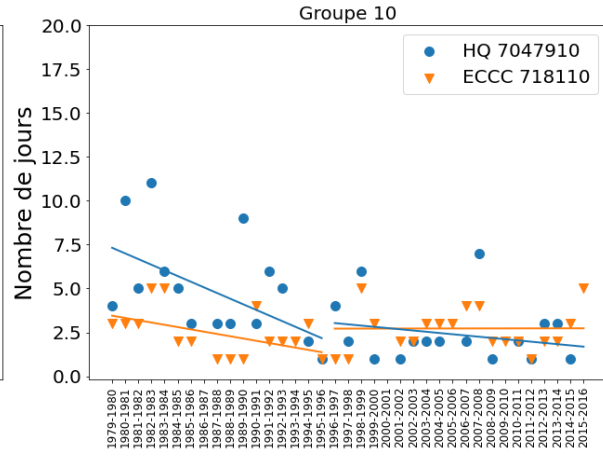
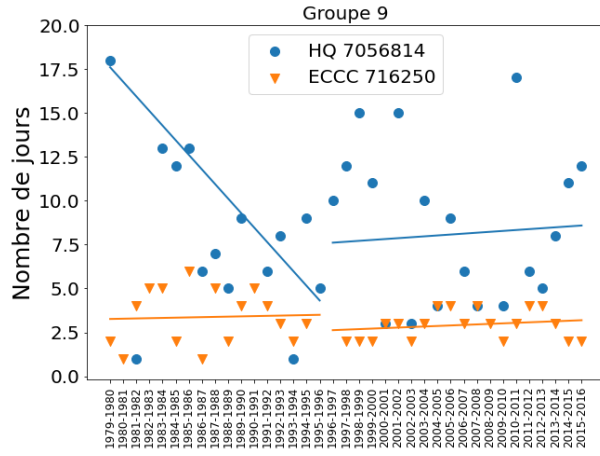
		Stations HQ
		7063560
Stations ECCC	717270	Biais = 35 RMSE = 2.6 $r = -0.01$
	717280	Biais = 0 RMSE = 2.6 $r = -0.21$

Annexe 4: Séries temporelles du nombre d'évènements entre les stations ECCC et les stations HQ les plus corrélées

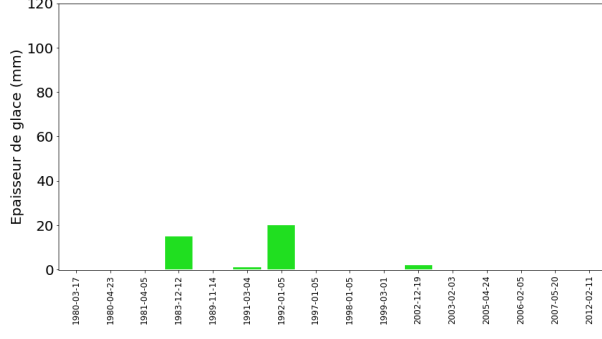
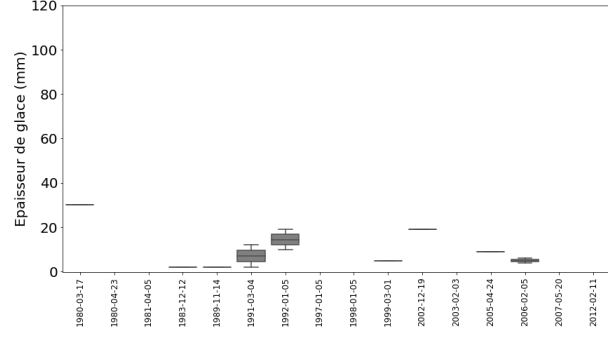
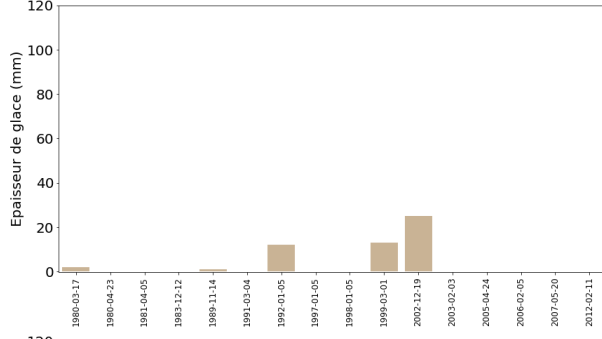
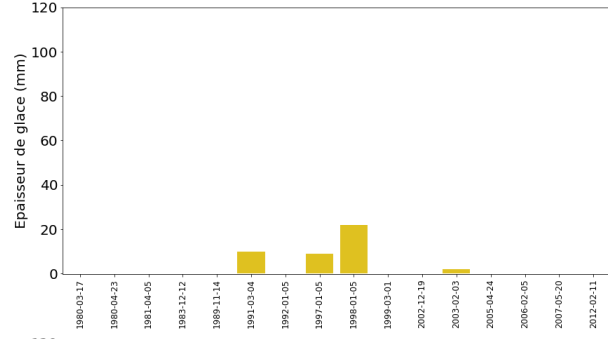
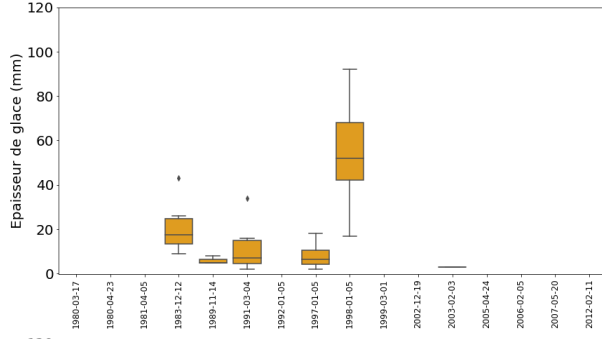
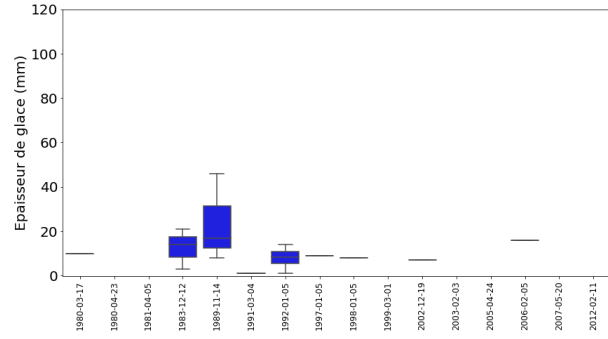
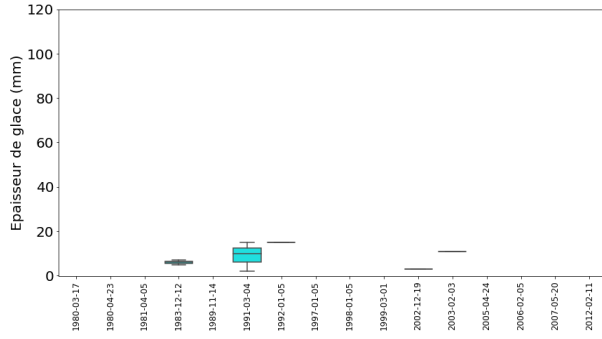


Annexe 5: Séries temporelles du nombre de jours de verglas par saison entre les stations ECCC et les stations HQ les plus corrélées

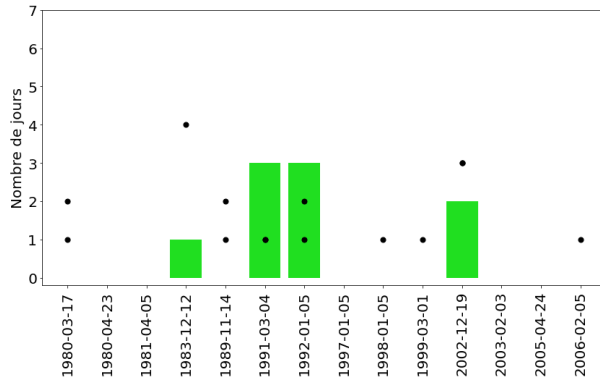
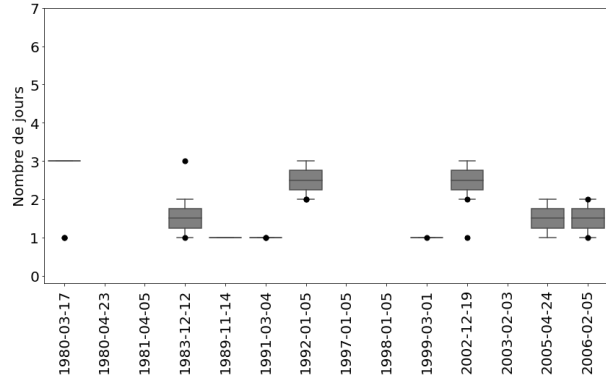
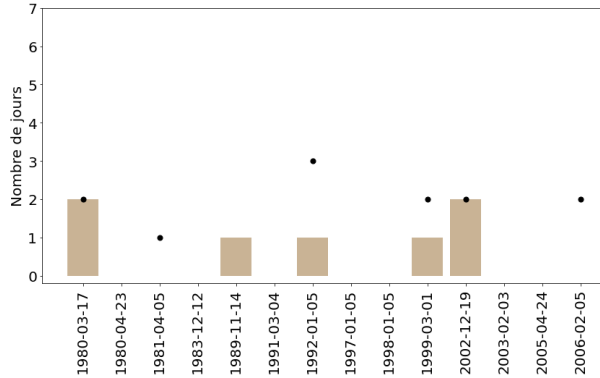
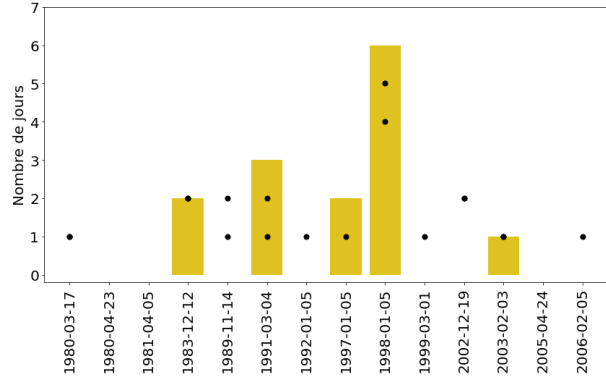
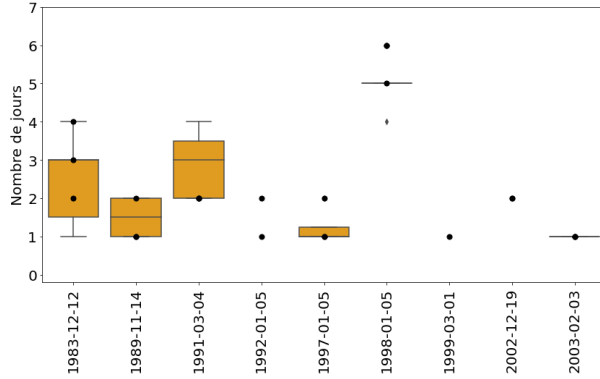
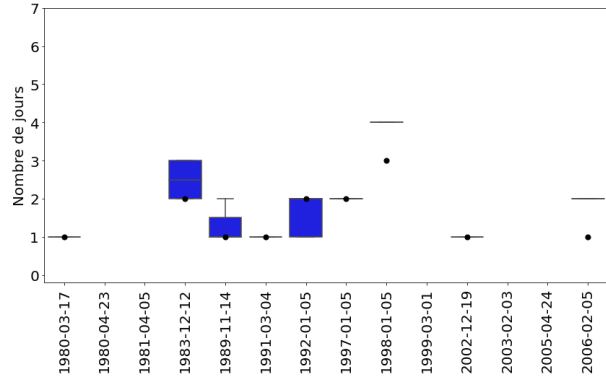
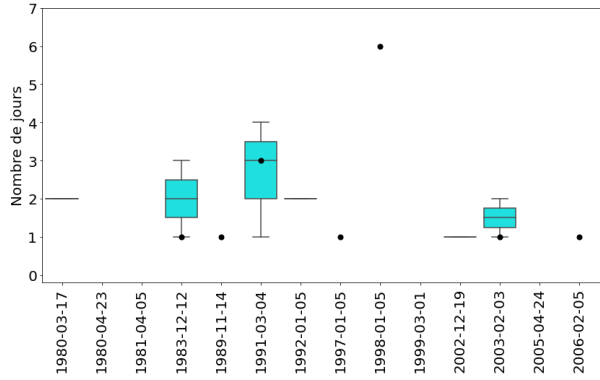




Annexe 6: Variation des épaisseurs de glace mesurées pendant les évènements extrêmes pour chaque groupe



Annexe 7: Variation du nombre de jours mesuré pendant les évènements extrêmes pour chaque groupe



Annexe 8: Liste des stations ECCC

Code usaf	ICAO Location indicator	Latitude (°)	Longitude (°)
717250	CYVO	48.05	-77.78
717255	CYUY	48.21	-78.84
716250	CYWA	45.95	-77.32
716280	CYOW	45.32	-75.67
718250	CYWK	52.92	-66.86
719210	CYKL	54.80	-66.80
719060	CYVP	58.10	-68.42
719073	CYPH	58.47	-78.08
719050	CYGW	55.28	-77.75
716270	CYUL	45.47	-73.73
713713	CYHU	45.52	-73.42
716278	CYMX	45.68	-74.03
716100	CYSC	45.44	-71.69
717080	CYQB	46.79	-71.39
717180	CYYY	48.60	-68.22
711880	CYGP	48.78	-64.48
718110	CYZV	50.22	-66.27
718220	CYMT	49.77	-74.53
717270	CYBG	48.33	-71.00
717280	CYRJ	48.52	-72.27

Annexe 9: Liste des stations HQ avec plus de 30 ans de données

Number	Nom de la station	Latitude (°)	Longitude (°)
7014332	LOUISEVILLE	46.27	-73.02
7016294	QUEBEC-A	46.80	-71.38
7016800	ST-ALBAN	46.72	-72.08
7017386	ST-JANVIER	45.73	-73.88
7017585	ST-NARCISSE	46.53	-72.43
701A9EC	DALHOUSIE-STATION	45.30	-74.47
7020305	ARTHABASKA	46.02	-71.95
7020828	BONSECOURS	45.40	-72.27
7022494	FORTIERVILLE	46.47	-72.03
7023240	HUNTINGDON	45.05	-74.17
7024000	LAMBTON	45.83	-71.08
7024250	LAURIERVILLE	46.33	-71.67
7024320	LINGWICK	45.63	-71.37
7025250	MONTREAL-INTERNATIONAL-A	45.47	-73.75
7026040	PHILIPSBURG	45.03	-73.07
7026043	PIERREVILLE	46.08	-72.83
7027320	ST-HUBERT-A	45.52	-73.42
7027540	STE-MARTINE	45.22	-73.85
7027660	ST-PROSPER	46.22	-70.50
7027840	SCOTT	46.50	-71.08
702FR30	ST-CAMILLE-DE-WOLFE	45.67	-71.73
7030170	ANGERS	45.55	-75.55
7033650	LACHUTE	45.65	-74.33
7034480	MANIWAKI	46.37	-75.98
7037230	ST-FAUSTIN	46.12	-74.48
7038080	SHEENBORO	45.97	-77.27
7040440	BAIE-COMEAU-A/Les Buissons	49.13	-68.20
7040813	BLANC-SABLON-A	51.42	-57.22
7045400	NATASHQUAN-A	50.20	-61.82
7047396	ST-JEAN-ILE-D'ORLEANS	46.92	-70.92
7047910	SEPT-ILES-A	50.22	-66.27
7052605	GASPE-A	48.77	-64.48
7055120	MONT-JOLI-A / MONT-JOLI	48.60	-68.20
7055210	MONTMAGNY	46.97	-70.58

7055420	NEW-CARLISLE	48.03	-65.27
7056814	ST-ALEXIS-DE-MATAPEDIA	47.98	-67.07
7056850	STE-ANNE-DES-MONTS	49.13	-66.47
7056922	STE-BRUNO-DE- KAMOURASKA	47.45	-69.78
7057515	STE-LUCIE	46.73	-70.02
7058220	SQUATECK	47.88	-68.70
7058560	TROIS-PISTOLES	48.15	-69.13
7063560	LAC-BOUCHETTE	48.22	-72.17