



Indicateurs et seuils météorologiques pour les systèmes de veille-avertissement lors de vagues de chaleur au Québec

Indicateurs et seuils météorologiques pour les systèmes de veille-avertissement lors de vagues de chaleur au Québec

Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Mai 2010

AUTEURS

Barbara Martel, assistante de recherche
Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement

Jean-Xavier Giroux, étudiant à la maîtrise
Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement

Pierre Gosselin, médecin-conseil
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Fateh Chebana, chercheur-professeur
Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement

Taha B.M.J. Ouarda, chercheur-professeur
Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement

Christian Charron, assistant de recherche
Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement

MISE EN PAGES

Nicole Dubé
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie
Institut national de santé publique du Québec

Ce projet de recherche conjoint de l'Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE) et l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) a été financé par le Fonds vert dans le cadre de l'Action 21 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques (PACC).

Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : <http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à : droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca.

Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

DÉPÔT LÉGAL – 3^e TRIMESTRE 2010
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES NATIONALES DU QUÉBEC
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES CANADA
ISBN : 978-2-550-59896-1 (PDF)

©Gouvernement du Québec (2010)

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec et le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs de leur financement et soutien pour ce projet. Les auteurs tiennent à remercier aussi messieurs Marc Beauchemin et Stéphane Gagnon d'Environnement Canada, ainsi que monsieur Éric Litvak et madame Marie-France Sottile pour leurs précieux conseils dans la révision de ce texte.

Enfin, merci à la Table nationale de concertation en santé environnementale du Québec qui a révisé et commenté ce rapport, et dont les membres ont accepté d'utiliser les seuils présentés ici avec l'approbation de leurs directeurs.

AVANT-PROPOS

Le Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec intitulé *Le Québec et les changements climatiques, un défi pour l'avenir*, met à contribution plusieurs ministères et organismes québécois. Le Fonds vert, une redevance sur les carburants et les combustibles fossiles, assure majoritairement le financement de 26 actions s'articulant autour de deux grands objectifs : la réduction ou l'évitement des émissions de gaz à effet de serre et l'adaptation aux changements climatiques.

Le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) est responsable du volet santé de l'Action 21 visant l'instauration des mécanismes qui serviront à prévenir et à atténuer les impacts des changements climatiques sur la santé. Il s'est ainsi engagé, d'ici 2013, à œuvrer dans six champs d'action liés à l'adaptation du Québec aux changements climatiques, comptant chacun plusieurs projets de recherche ou d'intervention, soit :

- La mise sur pied d'un système intégré de veille-avertissement en temps réel de vagues de chaleur et de surveillance des problèmes de santé associés pour toutes les régions du Québec susceptibles d'en être affectées.
- L'adaptation du système de surveillance des maladies infectieuses afin de détecter rapidement les agents pathogènes, les vecteurs et les maladies dont le développement est favorisé par le climat.
- La mise sur pied d'un système de surveillance des problèmes de santé physique et psychosociale liés aux aléas hydrométéorologiques (tempêtes hivernales et estivales, orages et pluies torrentielles, tornades, incendies de forêt, inondations) ou géologiques (glissements de terrain, érosion côtière).
- Le soutien de l'adaptation du réseau de la santé aux événements météorologiques extrêmes, sur les plans clinique, social et matériel, afin de protéger les populations les plus vulnérables.
- Le soutien de l'aménagement préventif des lieux et des espaces habités pour atténuer l'impact des changements climatiques sur la santé des populations vulnérables.
- L'amélioration de la formation et la diffusion des connaissances sur les problèmes de santé liés aux changements climatiques et les solutions possibles.

Le MSSS a confié à l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), en novembre 2007, le mandat de gestion du volet santé de l'Action 21, y compris la coordination de l'ensemble des projets indiqués ci-dessus, le soutien professionnel au MSSS et les relations avec les partenaires.

Le présent rapport s'insère dans les travaux visés dans le premier axe du volet santé de l'Action 21, soit la mise en place d'un système de veille-avertissement de chaleur accablante et de surveillance santé en temps réel dans le but d'appuyer les fonctions vigie et de surveillance du MSSS et des directeurs de santé publique. Il vient compléter le rapport de l'INSPQ (Tairou *et al.*, 2010) qui propose des indicateurs aux fins de vigie et de surveillance des troubles de la santé liés à la chaleur.

RÉSUMÉ

À la suite de plusieurs événements de canicule récents dans le monde, notamment celui de l'été 2003 en France, plusieurs pays se sont intéressés à l'établissement de systèmes d'alerte afin de prévenir les mortalités reliées à ces événements. Ce type de systèmes se base sur des indicateurs météorologiques à partir desquels des seuils doivent être déterminés. Ces seuils sont généralement établis pour la température, et leurs valeurs correspondent aux températures entraînant une surmortalité importante. Au Québec, ces systèmes sont basés sur une étude réalisée en 2005 par la Direction de la santé publique de Montréal (DSPM) et portant sur la région de l'île de Montréal, alors que le Québec présente différents climats. Plusieurs régions sociosanitaires manifestaient de l'intérêt à examiner si des seuils différents pourraient s'appliquer hors Montréal, ce à quoi tente de répondre ce rapport.

La méthodologie utilisée dans la présente étude est basée sur celle développée par Litvak *et al.* (2005) pour l'étude de la DSPM. En résumé, cette méthode consiste à déterminer, à partir de données historiques de mortalité et de températures (et notamment d'épisodes de températures élevées), quelles sont les valeurs-seuils de températures (températures journalières minimales et maximales simultanément) qui entraînent une hausse significative de mortalité. La détection de tendances dans les données de mortalité historiques a cependant entraîné un ajustement de la méthodologie précédente. Ainsi, la valeur de surmortalité indiquant une hausse significative de mortalité est devenue non constante, pour tenir compte de la tendance. De plus, la base de données de décès initialement étudiée contenait les décès de toutes causes confondues. Pour déterminer si l'élimination des décès n'ayant pas de lien direct avec la température avait un impact, une nouvelle base de données excluant les décès par traumatismes a aussi été étudiée.

Dans un premier temps, l'étude de la DSPM a été mise à jour (mise à jour temporelle et homogénéisation des bases de données). Cette mise à jour a entraîné des résultats très semblables à ceux de 2005. La principale différence est que l'indicateur le plus performant déterminé par la DSPM (surmortalité toutes causes) était un indicateur moyenné sur trois jours noté (T_{max3j} , T_{min3j}), alors que celui défini avec la mise à jour était plus performant sur une seule journée, noté (T_{max} , T_{min}). Les valeurs-seuils associées restent les mêmes, soit (33 °C, 20 °C). Il est à noter que le retrait des décès traumatiques a entraîné des changements dans les résultats intermédiaires de la méthode, mais l'indicateur et les valeurs-seuils identifiés restent les mêmes.

Afin de réaliser une étude similaire pour le reste de la province, il a été nécessaire de regrouper les régions sociosanitaires (RSS) en classes homogènes du point de vue météorologique et représentant des taux journaliers de décès suffisamment élevés. Le regroupement par une méthode de classification a été appliqué aux variables météorologiques des différentes RSS du Québec et a entraîné la formation de quatre classes. La classe 1 regroupe les RSS 06 et 13 (voir le tableau ci-dessous), la classe 2 les RSS 04, 05, 07, 12, 14, 15 et 16, la classe 3 les RSS 02, 03 et 08 et la classe 4 les RSS 01, 10 et 11. Après analyse, la classe 4 a été retirée, puisqu'elle ne présente pas d'historique de hausse de mortalité due à la température. Il est suggéré d'utiliser pour ces régions les indicateurs et valeurs-seuils établis pour la classe 3, en cas de besoin.

Les résultats obtenus sont généralement peu affectés par la méthode utilisée (en tenant compte de la tendance ou pas) ou par la base de données choisie (toutes causes confondues ou sans traumas). L'indicateur déterminé pour la classe 1 (RSS Montréal et Laval), soit (T_{max2j} , T_{min2j}), est différent de celui déterminé lors de la mise à jour de l'étude de la DSPM (sur la seule région de l'île de

Montréal), même si les valeurs-seuils restent les mêmes. De plus, pour la classe 2, l'indicateur identifié varie entre (T_{max}, T_{min}) et (T_{max2j}, T_{min2j}) , et pour la classe 3 il s'agit de (T_{max}, T_{min}) . Cette sensibilité du choix de l'indicateur optimal a entraîné une nouvelle modification de la méthodologie.

L'introduction d'un indicateur non plus moyenné uniformément sur 1, 2 ou 3 jours, mais avec une moyenne pondérée sur trois jours a amené des résultats différents. Tout d'abord, la même pondération « optimale » a été identifiée pour les trois classes, soit 40 % pour le jour j , 40 % pour le jour $j + 1$ et 20 % pour le jour $j + 2$ (0,4; 0,4; 0,2). Bien qu'il puisse s'agir d'une coïncidence, il peut aussi s'agir de la pondération optimale, du moins pour le Québec. De plus, la comparaison des résultats de l'utilisation de la pondération aux résultats obtenus avec la moyenne uniforme met en évidence que les valeurs-seuils de la température maximale sont peu ou pas sensibles, ni à la méthode, ni à la base de données de décès utilisée, ni au choix de l'indicateur, alors que les valeurs-seuils de la température minimale le sont.

Finalement, une validation locale basée sur des stations phares a été effectuée sur les seuils établis. Une station phare est une station de prévision considérée par les experts météorologues d'Environnement Canada comme représentative d'une région donnée. La validation s'est fait à partir des observations historiques de températures, en vérifiant localement aux stations phares le nombre d'épisodes de dépassements des valeurs-seuils et en les comparant avec les épisodes identifiés de surmortalité dus à la température. La validation a confirmé l'amélioration apportée par l'utilisation d'indicateurs pondérés sur trois jours. Cependant, elle a soulevé un problème au niveau de la délimitation stricte des classes de RSS. En effet, la validation a montré que les RSS 14 et 16, appartenant à la classe 2, mais jouxtant la classe 1, sont mieux représentées par les indicateurs et seuils définis pour la classe 1. De plus, une fois ces RSS (14 et 16) retirées de la classe 2, la validation indique que la pondération de (0,4; 0,4; 0,2) s'avère moins efficace pour cette classe que la pondération uniforme sur deux jours (0,5; 0,5; 0). Cette méthode a aussi permis d'identifier des stations phares suggérées pour l'application du système de veille-avertissement, pour chaque classe de même que pour chaque RSS étudiées. De plus, l'ajout d'un seuil local d'Humidex (valeur à la station phare), en seconde étape, améliore la précision système.

En conclusion, un système de veille-avertissement canicule est proposé pour tout le Québec, avec des indicateurs de température pondérés sur trois jours et un seuil local basé sur l'Humidex. Les stations à surveiller pour chaque RSS ont été identifiées, ainsi que leurs valeurs-seuils de températures et d'Humidex entraînant vraisemblablement une surmortalité significative et justifiant un déclenchement d'alerte sanitaire. Il est à noter que les seuils d'Humidex sont présentés strictement à titre indicatif, pour l'aide à la décision. Ils doivent être utilisés en seconde étape, seulement si les seuils de températures sont atteints.

Le tableau suivant (tableau 17 du rapport) résume les propositions faisant suite à cette étude.

	RSS	Nom de la RSS	Nom station phare (EC)	Pondération			Seuil (°C)	Seuil d'Humidex (2 ^e étape)
				α_1	α_2	α_3		
Classe 1	6	Montréal	Mc TAVISH	0,4	0,4	0,2	(33, 20)	40
Classe 2*	14	Lanaudière	L'ASSOMPTION	0,4	0,4	0,2	(33, 20)	40
	16	Montérégie	L'ACADIE					
Classe 2	4	Mauricie et Centre-du-Québec	TROIS-RIVIÈRES	0,5	0,5	0	(31, 18)	40
			LEMIEUX					
			LA TUQUE					
	5	Etrie	SHERBROOKE					
	7	Outaouais	HIGH FALLS CS					
	12	Chaudière-Appalaches	BEAUCEVILLE					
15	Laurentides	SAINT-JOVITE						
Classe 3	2	Saguenay–Lac-Saint-Jean	BAGOTVILLE	0,4	0,4	0,2	(31, 16)	37
			ROBERVAL					
	3	Capitale-Nationale	JEAN-LESAGE					
	8	Abitibi-Témiscamingue	BARRAGE TÉMISCAMINGUE					
VAL D'OR								

* RSS de la classe 2 auxquelles sont appliqués les pondérations et seuils de la classe 1.

La performance des seuils proposés est :

- une sensibilité de 100 % pour les classes 1 et 2 et de 40 % pour la classe 3;
- une spécificité supérieure à 99 % pour les trois classes;
- un nombre de fausses alertes par an inférieur à 0,12 pour les trois classes.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES FIGURES.....	XIII
1 INTRODUCTION ET OBJECTIFS.....	1
2 MÉTHODOLOGIE.....	3
2.1 Méthodologie sans tendance	3
2.2 Méthodologie avec tendance.....	4
3 DONNÉES UTILISÉES.....	7
3.1 Données de décès	7
3.2 Données météorologiques	7
4 MONTRÉAL.....	9
4.1 Décès toutes causes confondues.....	9
4.2 Décès sans traumatismes	11
5 REGROUPEMENTS DES RSS	13
6 RÉSULTATS SELON LES CLASSES.....	15
6.1 Description des tendances	15
6.2 Classe 1	15
6.2.1 Méthode sans tendance et décès toutes causes confondues.....	15
6.2.2 Méthode avec tendance et décès toutes causes confondues.....	15
6.2.3 Méthode sans tendance et décès sans traumatismes.....	16
6.2.4 Méthode avec tendance et décès sans traumatismes	16
6.3 Classe 2	16
6.3.1 Méthode sans tendance et décès toutes causes confondues.....	16
6.3.2 Méthode avec tendance et décès toutes causes confondues.....	16
6.3.3 Méthode sans tendance et décès sans traumatismes.....	17
6.3.4 Méthode avec tendance et décès sans traumatismes	17
6.4 Classe 3	17
6.4.1 Méthode sans tendance et décès toutes causes confondues.....	17
6.4.2 Méthode avec tendance et décès toutes causes confondues.....	18
6.4.3 Méthode sans tendance et décès sans traumatismes.....	18
6.4.4 Méthode avec tendance et décès sans traumatismes	18
6.5 Classe 4	19
6.5.1 Méthode sans tendance et décès toutes causes confondues.....	19
6.5.2 Méthode avec tendance et décès toutes causes confondues.....	19
6.5.3 Méthode sans tendance et décès sans traumatismes.....	19
6.5.4 Méthode avec tendance et décès sans traumatismes	19
7 INDICATEURS PONDÉRÉS	21
7.1 Classe 1	21
7.2 Classe 2	22
7.3 Classe 3	22

8	VÉRIFICATION	23
8.1	Classe 1.....	23
8.2	Classe 2.....	23
8.3	Classe 3.....	24
9	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	25
	TABLEAUX	27
	FIGURES	47
	BIBLIOGRAPHIE	65
ANNEXE A	DÉFINITION DE L’HUMIDEX	67
ANNEXE B	CALCUL DE LA SURMORTALITÉ	71
ANNEXE C	SPÉCIFICITÉ ET SENSIBILITÉ	75
ANNEXE D	DÉTERMINATION DES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES	79
ANNEXE E	AUTRES SEUILS DE SURMORTALITÉ POUR MONTRÉAL	83
ANNEXE F	RÉSULTATS DES REGROUPEMENTS	87
ANNEXE G	COMPARAISON DES CARTES CLIMATIQUES	91
ANNEXE H	RÉSULTATS DE L’UTILISATION DES SEUILS PONDÉRÉS SUR LA VILLE DE MONTRÉAL	97

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Description des 16 RSS utilisées dans cette étude	29
Tableau 2	Résultats pour l'étude de Montréal avec décès toutes causes confondues.....	30
Tableau 3	Résultats pour l'étude de Montréal avec décès sans traumatismes.....	31
Tableau 4	Combinaisons testées avec la CAH	32
Tableau 5	Résultats pour l'étude de la classe 1 avec décès toutes causes confondues	33
Tableau 6	Résultats pour l'étude de la classe 1 avec décès sans traumatismes.....	34
Tableau 7	Résultats pour l'étude de la classe 2 avec décès toutes causes confondues.....	35
Tableau 8	Résultats pour l'étude de la classe 2 avec décès sans traumatismes.....	36
Tableau 9	Résultats pour l'étude de la classe 3 avec décès toutes causes confondues.....	37
Tableau 10	Résultats pour l'étude de la classe 3 avec décès sans traumatismes.....	38
Tableau 11	Résultats pour l'étude de la classe 4 avec décès toutes causes confondues.....	39
Tableau 12	Résultats pour l'étude de la classe 4 avec décès sans traumatismes.....	40
Tableau 13	Résultats pour toutes les classes de RSS.....	41
Tableau 14	Comparaison des résultats avec et sans l'utilisation des seuils pondérés sur trois jours (section 7).....	42
Tableau 15	Indicateurs pondérés et valeurs-seuils proposés pour chaque classe	43
Tableau 16	Vérification des indicateurs et valeurs-seuils proposés pour chaque classe	44
Tableau 17	Station de prévision correspondant aux stations phares (SP) proposées pour chaque classe, avec la pondération de l'indicateur et ses valeurs-seuils.....	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Position des stations météorologiques	49
Figure 2	Résultats pour l'étude de Montréal avec décès toutes causes confondues.....	50
Figure 3	Résultats pour l'étude de Montréal avec décès sans traumas.....	51
Figure 4	Regroupement des RSS utilisé dans la présente étude.....	52
Figure 5	Diagrammes en boîte des décès journaliers des mois de mai à septembre	53
Figure 6	Diagrammes en boîte des taux de mortalité quotidiens des mois de mai à septembre	54
Figure 7	Décès journaliers des mois de mai à septembre de chaque classe de RSS	55
Figure 8	Résultats pour l'étude de la classe 1 avec décès toutes causes confondues.....	56
Figure 9	Résultats pour l'étude de la classe 1 avec décès sans traumas.....	57
Figure 10	Résultats pour l'étude de la classe 2 avec décès toutes causes confondues.....	58
Figure 11	Résultats pour l'étude de la classe 2 avec décès sans traumas.....	59
Figure 12	Résultats pour l'étude de la classe 3 avec décès toutes causes confondues.....	60
Figure 13	Résultats pour l'étude de la classe 3 avec décès sans traumas.....	61
Figure 14	Résultats pour l'étude de la classe 4 avec décès toutes causes confondues.....	62
Figure 15	Résultats pour l'étude de la classe 4 avec décès sans traumas.....	63
Figure 16	Position des stations phares.....	64

1 INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Les événements météorologiques extrêmes, en particulier la chaleur accablante, ont des répercussions sur la vie, le bien-être et la santé humaine. Afin de prévenir les conséquences reliées à ces événements, il est important de développer des systèmes d'alerte et de surveillance. Ce type de systèmes se base sur des indicateurs météorologiques à partir desquels des seuils doivent être déterminés. Ces seuils sont généralement établis pour la température, où la valeur-seuil de température est celle entraînant une surmortalité importante, mais d'autres variables météorologiques peuvent être utilisées. À la suite de plusieurs événements de canicule récents dans le monde, notamment celui de l'été 2003 en France, plusieurs pays se sont intéressés à l'établissement de systèmes d'alerte. Les systèmes d'alerte créés en Australie (Nicholls *et al.*, 2008) et en France (Pascal *et al.*, 2006) sont basés sur la température, tandis qu'aux États-Unis (Weisskopf *et al.*, 2002) le système est basé sur un indice combinant la température et l'humidité relative.

Au Québec, les seuils et indicateurs actuellement utilisés par toutes les directions de santé publique ont été établis par la Direction de la santé publique de Montréal (DSPM). Ces seuils sont obtenus à partir de l'étude de la DSPM (Litvak *et al.*, 2005) portant uniquement sur l'île de Montréal. Un réseau de veille et d'avertissement a été établi, basé sur ces seuils et indicateurs, afin de prévenir et mobiliser les intervenants de la santé en cas de canicule. Par ailleurs, il existe des réseaux de veilles et d'avertissements météorologiques publics, c'est-à-dire avec l'objectif de prévenir le public. Ces réseaux publics sont généralement entretenus par Environnement Canada (EC) et les avertissements sont diffusés à l'aide de médias tels que l'internet ou la télévision (Météo-Média, par exemple). Pour les avertissements de chaleur accablante, les réseaux d'EC se basent sur un indicateur représentant un inconfort physique. Cet indicateur, appelé Humidex, combine la température de l'air et la température du point de rosée (annexe A), avec le même seuil pour toute la province de Québec. Ces réseaux d'avertissement publics d'EC sont toutefois construits pour émettre un avertissement à court terme, soit six heures, ce qui n'est pas suffisant pour une intervention sanitaire de grande ampleur visant à prévenir un excès de mortalité. De plus, les avertissements sont émis de façon locale à la suite de la consultation de météorologues experts et selon leur expérience du terrain.

Un atelier sur les systèmes de veille sanitaire en période de canicule regroupant divers organismes du Canada, du Royaume-Uni, de la France, de l'Italie, de l'Allemagne et des États-Unis s'est tenu à Montréal en 2006. Cet atelier a mis en lumière l'importance de quantifier l'incertitude liée aux prévisions et la difficulté de son intégration aux systèmes due à un manque de données, ainsi que la difficulté de prédire avec précision le point de rosée.

Il a été souligné, par exemple, par Laaidi et Pascal (2004) et Litvak *et al.* (2005) que les seuils varient sensiblement d'une ville à l'autre selon certains facteurs comme la latitude. Par conséquent, il est essentiel de vérifier la nécessité d'établir différents seuils météorologiques spécifiquement pour chacune des régions du Québec, dans le but d'optimiser les systèmes d'alerte et de surveillance. Étant donné le faible effectif des décès dans certaines régions sociosanitaires (RSS), les analyses statistiques ne sont pas possibles ou sont inefficaces pour plusieurs régions. La surmortalité est calculée comme l'écart relatif entre le nombre de décès observés et attendus. Un taux annuel moyen de décès de 700/100 000 habitants qui représente deux ou trois décès par jour, comme c'est le cas pour certaines RSS peu peuplées du Québec, rend impossible l'analyse des excès de mortalité et leur attribution à un phénomène météorologique. Par exemple, un accident de la route estival entraînant la mort de quatre individus serait perçu comme un épisode de surmortalité important qui dans les faits n'a rien à

voir avec la température, alors que des épisodes extrêmes de température entraînant un décès de plus par jour ne seraient pas détectés.

Les objectifs de cette étude sont donc de :

1. Mettre à jour l'étude de la DSPM (Litvak *et al.*, 2005) pour l'île de Montréal.
2. Effectuer des regroupements de RSS pour permettre des analyses pour tout le Québec. Ces regroupements doivent être homogènes du point de vue climatologique et représenter des taux bruts de décès journaliers suffisamment élevés.
3. Vérifier la présence de tendances dans les données de décès entre 1981 et 2005.
4. Vérifier l'effet des décès de cause traumatique sur le résultat final.
5. Étudier l'utilisation de nouveaux indicateurs.
6. Étudier la variable explicative Humidex.
7. Valider les résultats localement.

Les méthodologies utilisées dans la présente étude sont présentées dans la section 2. La section 3 présente une description des données utilisées. La section 4 présente la mise à jour de l'étude de Litvak *et al.* (2005) avec les méthodologies de la section 2. La section 5 contient la méthode utilisée pour regrouper les RSS en quatre classes. Les résultats associés à chacune des classes sont présentés et discutés en section 6. La méthodologie basée sur la pondération des indicateurs est présentée et appliquée dans la section 7. Une validation partielle des résultats obtenus se trouve en section 8, suivie de la conclusion de l'étude et de pistes pour des travaux futurs.

2 MÉTHODOLOGIE

Deux méthodologies ont été utilisées dans la présente étude. La première est celle développée par Litvak *et al.* (2005) et la seconde a été développée à la suite de la détection d'une tendance dans les données de mortalité.

2.1 MÉTHODOLOGIE SANS TENDANCE

Dans la présente étude, la méthode appliquée par la DSPM dans l'étude de Litvak *et al.* (2005) est appliquée à Montréal, puis aux regroupements des RSS du Québec. Cette méthode se résume par la procédure suivante :

- I. Extraire les décès journaliers des mois de mai à septembre.
- II. Explorer les décès journaliers.
- III. Calculer la surmortalité.
- IV. Déterminer un seuil indiquant une surmortalité significative.
- V. Identifier les jours et épisodes où la surmortalité dépasse le seuil.
- VI. Explorer les différents indicateurs météorologiques de prédiction.
- VII. Déterminer les valeurs-seuils des indicateurs.
- VIII. Identifier l'indicateur du système.

L'étape I consiste en la construction d'une nouvelle base de données à partir des décès journaliers historiques, en retenant les décès des mois de mai à septembre. Cette période contient les mois où peuvent survenir des épisodes de chaleur extrême. L'étape II comporte une analyse descriptive effectuée à l'aide des diagrammes en boîte des décès journaliers des mois de mai à septembre, regroupés par année. Certains épisodes extrêmes de décès peuvent ainsi être identifiés visuellement et, s'ils sont reliés à la météo, devront absolument être prédits par le système. Comme il n'existe pas de règles claires quant à l'attribution d'épisodes à un phénomène météorologique, nous avons arbitrairement inclus tout épisode survenant avec une température maximale au-dessus de 28 °C. Des températures inférieures ont été considérées, principalement pour les RSS plus au Nord, mais n'ont pas mené à des résultats concluants. La surmortalité calculée à l'étape III est un ratio qui représente l'écart relatif du nombre de décès par rapport au nombre moyen de décès normalement observé. Les détails concernant l'évaluation de la surmortalité sont présentés à l'annexe B.

Pour l'étape IV, l'étude de l'InVS (Laaidi et Pascal, 2004) permet d'établir un seuil grossier, 50 % ou 100 % d'excès, pour tenir compte de la variation aléatoire des décès. Ce seuil est déterminé par la taille de la population de la région et l'analyse effectuée à l'étape II. Il est raffiné par une analyse approfondie, comme indiqué dans l'étude de la DSPM (Litvak *et al.*, 2005). Puisque l'intérêt de cette étude est de déterminer le seuil critique d'une variable météorologique entraînant une surmortalité jugée significative d'un point de vue de santé publique (et donc qui se distingue clairement de l'amplitude des variations aléatoires), il est important de s'assurer que le seuil choisi reflète bien cette relation. Pour ce faire, différentes valeurs sont testées, de façon systématique, pour s'assurer que les épisodes identifiés sont optimaux. À l'étape V, il s'agit d'identifier historiquement les jours où le seuil de surmortalité, déterminé à l'étape IV, a été dépassé. Si le seuil a été dépassé durant plusieurs jours consécutifs, ces journées sont regroupées en un épisode unique. Deux épisodes sont séparés d'au moins une journée. Ces épisodes représentent les alertes réelles, c'est-à-dire les alertes qui auraient dû

être lancées s'il y avait eu un système de vigie. Les indicateurs sont la ou les variables météorologiques identifiant le seuil critique. Le choix à l'étape VI se fait parmi les indicateurs donnés par Litvak *et al.* (2005) et celui ajouté, dans l'ordre :

- (t_1, t_2) basé sur T_{max} et T_{min} , c'est-à-dire les températures maximale et minimale du jour;
- (t_1'', t_2'') basé sur T_{max3j} et T_{min3j} , c'est-à-dire la moyenne des températures maximale et minimale sur trois jours : $j-2, j-1$ et j ;
- (t_1', t_2') basé sur T_{max2j} et T_{min2j} , c'est-à-dire la moyenne des températures maximale et minimale sur deux jours : $j-1$ et j .

Pour parvenir à l'étape VII, il faut d'abord identifier les « épisodes prévus » à l'aide de la base de données météorologiques. Il s'agit des alertes qui auraient été lancées historiquement s'il y avait eu un système de vigie. Une journée où la valeur des indicateurs dépasse les valeurs-seuils fixées, (t_1, t_2) , (t_1', t_2') ou (t_1'', t_2'') , est déclarée une journée prévue. Différentes valeurs-seuils sont testées afin d'obtenir les valeurs-seuils optimales. La spécificité et la sensibilité sont utilisées comme critères de comparaison (annexe C). En pratique, la sensibilité varie de façon discrète selon le nombre de journées à prédire. Un seul couple de valeurs-seuils est retenu par valeur de sensibilité, soit celui qui donne la meilleure spécificité (la plus élevée). Tout comme pour l'étude de la DSPM, certains critères particuliers pour le choix du meilleur indicateur seront ajoutés selon la région. Entre autres, certains épisodes incontournables doivent absolument être prédits par le système (voir étape II). Un épisode sera considéré comme correctement prédit pourvu que sa première journée soit prévue, puisque l'intérêt est l'anticipation. Finalement, le meilleur indicateur, (t_1, t_2) , (t_1', t_2') ou (t_1'', t_2'') , est identifié à l'étape VIII, ainsi que les valeurs-seuils optimales correspondantes.

Malgré que cette méthode ne tienne pas compte d'une tendance, elle peut être utilisée en présence d'une tendance, son intérêt étant de prédire un événement où le nombre de décès sera assez élevé pour entraîner la mise en place de mesures d'urgence. Les événements historiques de surmortalité seront ainsi de plus en plus nombreux au fil des ans, en raison de la mortalité croissante. Par contre, ces événements ne seront pas nécessairement dus à la température, mais plus probablement au vieillissement de la population, ce qui ajoutera une erreur supplémentaire aux résultats. Le seuil devra donc être plus élevé pour éviter trop d'événements qui ne sont pas causés par la température. Il est donc possible que certains épisodes des premières années soient ratés même s'ils sont réellement dus à la température.

2.2 MÉTHODOLOGIE AVEC TENDANCE

La présence d'une tendance à l'augmentation de la mortalité brute a été détectée dans les données de mortalité de certaines régions. Différentes méthodes ont été testées pour en tenir compte, chacune ayant des conséquences différentes. La méthode proposée vise à éliminer la tendance à l'aide de la surmortalité. La même procédure que précédemment est utilisée, mais le seuil de surmortalité n'est plus fixe (étape IV). La tendance de la surmortalité est identifiée grâce à une régression linéaire et ajoutée au seuil de surmortalité. Ainsi, les événements historiques qui auraient dû mener à des alertes correspondent à des épisodes de mortalité extrême par rapport à la normale du moment, puisque la mortalité augmente au fil des ans. Cette méthode est plus efficace pour identifier les épisodes extrêmes, mais une alerte lancée en 1981, par exemple, représentera un nombre de décès plus faible qu'une alerte lancée en 2005. Le nombre de décès nécessaire pour lancer une alerte est donc de plus en plus élevé.

Les deux méthodes (avec et sans tendance) ayant leurs avantages et leurs inconvénients, le choix de l'une ou l'autre dépend de l'objectif. Les deux méthodes ont été appliquées à chacune des classes. La méthode suggérée par l'InVS (Laaidi et Pascal, 2004), soit de redéfinir la surmortalité pour qu'elle tienne compte de la tendance (méthode non paramétrique), a été étudiée et abandonnée, car elle mène à des résultats incohérents avec les autres méthodes. Il est à noter qu'une tendance a été détectée également dans les séries de températures. Cette tendance étant négligeable (de l'ordre de 0,0004), elle n'a pas été tenue en compte dans cette étude.

3 DONNÉES UTILISÉES

Dans cette étude, deux types de données ont été utilisées : des données sur les décès et des données météorologiques. La base de données sur les décès contient les décès journaliers par RSS et la base de données météorologique contient les températures et les humidités relatives minimales, maximales et moyennes. Les variables de température serviront à établir des indicateurs et valeurs-seuils et les variables d'humidité, combinées aux variables de températures, serviront au regroupement des RSS. Les régions considérées sont les 16 RSS présentées dans le tableau 1. Notons qu'il y a 18 RSS au Québec, mais les régions du Nunavut et des Terres-Cries-de-la-Baie-James n'ont pas été considérées par manque de données. Dans cette section est présentée la méthode employée pour bâtir les bases de données sur les décès et la météo.

3.1 DONNÉES DE DÉCÈS

Les données sur les décès ont été fournies par l'INSPQ. Cette base de données contient les décès survenus dans les différentes RSS du Québec. Elle s'étend sur la période de 1981 à 2005 et a été mise à jour, validée et homogénéisée. L'assignation d'un décès à une RSS est déterminée par le lieu de résidence de l'individu décédé. Afin d'éliminer les cas de décès n'ayant pas de lien avec la météo, deux bases de données du nombre de décès quotidien ont été construites pour les 16 RSS considérées. La première contient les décès toutes causes confondues et la seconde exclut les décès causés par des traumatismes de toute nature.

3.2 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

Les données météorologiques proviennent de stations du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs et ont été fournies par Environnement Canada (EC). Deux bases de données sont disponibles : la première contient les températures minimales et maximales quotidiennes et la deuxième contient les mesures horaires de la température et de l'humidité relative. La figure 1 présente les stations des deux bases de données sur la carte du Québec avec les limites géographiques des RSS. Comme on s'intéresse à l'influence du climat sur les habitants, seules les stations à l'intérieur ou près des zones d'écoumène ont été considérées. Les zones d'écoumène sont représentées en gris (figure 1) et les symboles différencient les stations incluses et exclues de l'écoumène. À la suite de cette considération, la base de données journalière contient 478 stations et celle horaire 131 stations dans l'ensemble des RSS considérées. Comme il y a beaucoup plus de stations dans la base de données journalières et que la couverture spatiale y est supérieure, les températures de cette dernière sont utilisées pour établir les indicateurs et les valeurs-seuils. Les variables d'humidité de la base de données horaires couplées aux variables de températures seront utilisées pour établir les regroupements des régions homogènes.

À partir de la base de données journalière, la température moyenne à chaque station est calculée par la moyenne des températures journalières minimales et maximales. Cette procédure est utilisée par EC pour le calcul de la température moyenne journalière. Pour le calcul des variables à partir de la base de données horaire, une série des données horaires moyennes est d'abord obtenue avec les stations à l'intérieur des limites de la RSS, ou de la classe (section 5) et les données journalières sont ensuite calculées à partir de cette série horaire régionale. Les températures maximales, minimales et moyennes sont obtenues directement par le maximum, le minimum et la moyenne journaliers. En raison d'un nombre important de données horaires manquantes pour l'humidité relative, la procédure employée

historiquement par EC pour l'archivage des humidités relatives minimales et maximales a été utilisée. L'humidité minimale correspond à la mesure à 15 heures, l'humidité maximale correspond à la mesure à 6 heures et l'humidité moyenne correspond à la moyenne de toutes les mesures horaires disponibles. Cette procédure est basée sur le principe qu'en général l'humidité maximale est observée le matin et l'humidité minimale l'après-midi. La méthodologie utilisée dans la présente étude pour construire le système (section 2) nécessite une valeur unique par région. Les variables météorologiques régionales journalières sont obtenues par la moyenne des variables météorologiques des stations qui se retrouvent à l'intérieur des limites de la RSS ou de la classe. Notons que l'humidité relative a servi uniquement à établir les regroupements de RSS et n'a pas été envisagée pour établir les seuils et les indicateurs, puisqu'il s'agit d'une mesure relative à la température. L'annexe D résume toutes les méthodes employées pour l'obtention des variables météorologiques.

4 MONTRÉAL

La première partie de cette étude consiste en une mise à jour de l'étude de la DSPM (Litvak *et al.*, 2005) qui cible la région de Montréal. Il s'agit d'appliquer la même méthodologie, soit la méthodologie sans tendance (section 2), aux données disponibles présentement. Des stations ont été ajoutées et la période est plus longue, de 1981 à 2005 plutôt que de 1984 à 2003. De plus, les données de décès ont été validées et homogénéisées. Les résultats pour chaque étape de la méthodologie sont présentés dans cette section, selon la base de données de décès utilisée (toutes causes confondues ou sans traumatismes). La RSS de Montréal se trouvant entièrement en zone d'écoumène, par conséquent, toutes les stations ont été utilisées.

4.1 DÉCÈS TOUTES CAUSES CONFONDUES

La première base de données de décès présentée est celle contenant les décès journaliers de toutes causes, telle qu'utilisée par Litvak *et al.* (2005). Chaque étape de la méthodologie est présentée, commentée et les résultats sont discutés.

I. Extraire les décès journaliers des mois de mai à septembre.

La base de données contient les décès journaliers de Montréal, toutes causes confondues, pour les années 1981 à 2005. La nouvelle base de données doit contenir seulement les données du 1^{er} mai au 30 septembre.

II. Explorer les décès journaliers.

La figure 2a présente les diagrammes en boîte des décès journaliers déterminés à l'étape I. Cette figure permet d'identifier des épisodes de mortalité extrême en 1987 et en 1994. La vérification de ces années dans la base de données montre qu'il s'agit en fait de deux épisodes : les 13 et 14 juillet 1987 ainsi que les 18 et 19 juin 1994.

III. Calculer la surmortalité.

La surmortalité journalière est calculée selon la formule présentée à l'annexe B, à partir de la base de données construite à l'étape I. La figure 2b montre l'évolution du nombre de décès attendus en fonction de la journée. Ces valeurs de décès sont utilisées pour le calcul de la surmortalité.

IV. Déterminer un seuil indiquant une surmortalité significative.

L'étude de la DSPM indique qu'un seuil de surmortalité fixé à 60 %, pour Montréal, mène aux meilleurs résultats possibles. Ce seuil est donc repris dans cette mise à jour, pour permettre une comparaison. La figure 2c montre la surmortalité calculée à l'étape précédente ainsi que le seuil choisi.

V. Identifier les jours et épisodes où la surmortalité dépasse le seuil.

On identifie neuf journées de dépassement du seuil de surmortalité. Le tableau 2a présente ces journées de dépassement en indiquant la date, la valeur de surmortalité, la température maximale et minimale de la journée, ainsi que les épisodes correspondants. Ces journées composent six épisodes qui semblent tous être dus à la chaleur.

VI. Explorer les différents indicateurs.

Il s'agit de choisir parmi les indicateurs suivants :

- (t_1, t_2) basé sur : T_{max} et T_{min} ;
- (t_1', t_2') basé sur : T_{max2j} et T_{min2j} ;
- (t_1'', t_2'') basé sur : T_{max3j} et T_{min3j} .

VII. Déterminer les valeurs-seuils des indicateurs.

Les tableaux 2b, 2c et 2d résument les résultats obtenus. Selon l'étape II, il faut ajouter le critère que les épisodes 1 et 4 doivent être correctement prédits. Comme mentionné par la DSPM, la spécificité est très importante, car on ne peut tolérer une grande quantité de fausses alertes. Les trois indicateurs identifient le même niveau de sensibilité : 55,6 %. Le meilleur résultat provient de l'indicateur basé sur T_{max} et T_{min} , avec lequel on réussit à prévoir cinq des six épisodes, ne manquant que l'épisode 3, dont la surmortalité n'est que de 60,1 % (tableau 2). De plus, seulement 19 fausses alertes seraient lancées en 25 ans, soit en moyenne moins d'une par année. Les deux autres indicateurs ne prévoient que quatre épisodes et leurs nombres de fausses alertes sont doublés.

VIII. Identifier l'indicateur du système.

Le tableau 2 permet de conclure qu'un indicateur basé sur (T_{max}, T_{min}) est supérieur à un indicateur basé sur (T_{max2j}, T_{min2j}) ou sur (T_{max3j}, T_{min3j}) . En effet, ces deux derniers indicateurs permettent d'obtenir la même sensibilité qu'avec (T_{max}, T_{min}) , mais un épisode de moins est prévu et la spécificité est diminuée, le nombre de fausses alertes passant de 19 à respectivement 40 et 35. Si on cherche à prédire les mêmes épisodes avec tous les indicateurs, le nombre de fausses alertes passe alors de 19 à 103 et 312. Il est donc préférable de prendre un indicateur basé sur (T_{max}, T_{min}) dont les valeurs-seuils sont : $T_{max} > 33$ °C et $T_{min} > 20$ °C.

Les résultats de cette étude diffèrent de ceux obtenus par l'étude de la DSPM (Litvak *et al.*, 2005) au niveau du choix de l'indicateur. Litvak *et al.* (2005) avaient obtenu une meilleure spécificité avec (T_{max3j}, T_{min3j}) plutôt qu'avec (T_{max}, T_{min}) . Cependant, les valeurs-seuils obtenues (33 °C, 20 °C) sont les mêmes. La mise à jour ainsi que l'homogénéisation des bases de données météorologiques sont les raisons probables de ces légères différences. Le meilleur indicateur est donc (t_1, t_2) basé sur (T_{max}, T_{min}) dont les seuils sont (33 °C, 20 °C).

Le seuil de surmortalité a été exploré, par la suite, pour confirmer le choix de 60 % établi par Litvak *et al.* (2005). Une procédure par simulation a été appliquée pour déterminer le seuil permettant d'identifier les épisodes de surmortalité dus à la température tout en identifiant le moins possible d'épisodes non dus à la température. Une validation supplémentaire a été effectuée et est présentée à la section 8. Il s'avère qu'avec la nouvelle base de données, un seuil de 61 % serait préférable. Ce seuil retire l'épisode 3 mentionné à l'étape VII, ce qui permet de prédire cinq épisodes sur cinq avec (t_1, t_2) . Les conclusions restent les mêmes, c'est-à-dire que le choix de l'indicateur et de ses valeurs-seuils ne change pas, mais la spécificité augmente à 71,4 % (comparée à 55,6 %). Le tableau des résultats est présenté à l'annexe E, tableau E1.

4.2 DÉCÈS SANS TRAUMAS

L'intérêt de cette étude est d'établir un système d'alerte basé sur des variables météorologiques extrêmes. Puisque la base de données des décès excluant les traumatismes est actuellement disponible, la présente étude s'est étendue à cette nouvelle base de données pour déterminer s'il y aurait une amélioration des résultats. La même méthodologie a été utilisée.

La figure 3a présente les décès journaliers, sans traumatismes, des mois de mai à septembre des années 1981 à 2005 pour la région de Montréal, présentés sous forme de diagrammes en boîte. Cette figure permet d'identifier les deux mêmes épisodes de mortalité extrême que précédemment, en 1987 et en 1994. Le nombre de décès diminue légèrement, ce qui est attendu puisqu'on retire les traumatismes. La figure 3b montre l'évolution du nombre de décès attendus en fonction de la journée. La comparaison des figures 2b et 3b montre que les valeurs des décès attendus suivent la même courbe, mais que lorsqu'on retire les traumatismes, la courbe est simplement décalée vers le bas. Le seuil de surmortalité de 60 % a été conservé, dans un premier temps, puisque l'indicateur et les valeurs-seuils choisis ne semblent pas y être très sensibles. La figure 3c montre la surmortalité calculée à l'étape III ainsi que le seuil choisi de 60 %. Le tableau 3a présente les douze journées de dépassement du seuil de surmortalité identifiée. Ces journées composent neuf épisodes dont six coïncident avec ceux identifiés avec les décès toutes causes confondues (DTCC). Les épisodes 4 et 6 ne semblent pas dus à la température. Les mêmes indicateurs sont envisagés : (t_1, t_2) , (t_1', t_2') ou (t_1'', t_2'') . Les tableaux 3b, 3c et 3d résument les résultats obtenus. Les valeurs-seuils identifiées pour (t_1, t_2) sont les mêmes que celles obtenues avec les décès toutes causes confondues. Pour les autres indicateurs, (t_1', t_2') et (t_1'', t_2'') , on observe la même spécificité et le même nombre de fausses alertes qu'avec les décès toutes causes confondues, entraînant les mêmes conclusions. Le meilleur indicateur est le même, avec les mêmes seuils, soit : $T_{max} > 33$ °C et $T_{min} > 20$ °C.

Le retrait des événements traumatiques de la base de données des décès journaliers n'a que très peu d'incidence sur les résultats. Les différences observées sont une diminution du nombre de décès en général, et l'identification d'épisodes historiques de dépassement du seuil de surmortalité de plus. L'application de la procédure mène aux mêmes résultats, hormis pour la sensibilité. Cette dernière diminue en raison des épisodes ajoutés. Il n'y a donc pas de changement important, puisque l'indicateur et ses valeurs-seuils demeurent les mêmes. Il est donc possible d'utiliser l'une ou l'autre base de données sans affecter les résultats : le meilleur indicateur est (t_1, t_2) avec les valeurs-seuils $T_{max} > 33$ °C et $T_{min} > 20$ °C.

Le seuil de surmortalité a été exploré ici également et il s'avère qu'un seuil de 70 % serait préférable (annexe E, tableau E2).

5 REGROUPEMENTS DES RSS

Plusieurs RSS n'ont pas une mortalité quotidienne suffisante pour appliquer la méthodologie présentée à la section 2. Pour remédier à ce problème, le regroupement de plusieurs RSS a été effectué en fonction de l'homogénéité du climat. Différentes variables ont été considérées pour effectuer les regroupements, soient les températures et humidités maximales, minimales et moyennes. Une procédure d'analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée à ces variables pour déterminer lesquelles seraient les plus révélatrices, pour ensuite appliquer la classification ascendante hiérarchique (CAH). Une description détaillée de cette procédure peut être trouvée dans un manuel de statistique (voir par exemple, Saporta, 2006). L'ACP n'a pas donné de résultats concluants étant donné le nombre réduit de variables. En effet, cette méthode est plus efficace sur un grand nombre de variables.

La CAH a été utilisée directement pour regrouper les RSS. Cette méthode permet de regrouper les valeurs les plus semblables par rapport à un critère donné et s'effectue en trois étapes (Saporta, 2006) :

- calculer la distance entre les RSS;
- choisir un indice d'agrégation pour le regroupement sous forme d'arbre (dendrogramme);
- déterminer la coupe d'arbre pour obtenir les classes.

Dans le cas présent, la distance utilisée est la distance euclidienne standardisée et la méthode d'agrégation est la méthode de Ward (1963).

Les premières combinaisons ont été testées sans l'utilisation des zones d'écoumène et sont décrites dans le tableau 4. Les regroupements produits par ces combinaisons sont présentés à l'annexe F (figures F1 et F2). Pour les combinaisons des variables de température (T1, températures de la base de données journalière, et T2, températures de la base de données horaire), les meilleurs résultats proviennent des combinaisons T1.5 et T2.5, soient des températures maximale, minimale et moyenne combinées. Les combinaisons contenant à la fois des variables de températures (T1 ou T2) et d'humidité relative (H) ont donc été déterminées en lien avec ces deux combinaisons (T1.5 et T2.5). Parmi toutes ces combinaisons, les regroupements produits par les combinaisons T1H.4 et T2H.4 ont été retenus. La base de données journalière contenant un plus grand nombre de stations que la base de données horaire, la combinaison T1H.4 a été choisie. Les stations hors de l'écoumène ont ensuite été exclues des bases de données avant l'application de la CAH sur la combinaison T1H.4 pour produire le regroupement proposé (figure 4).

Afin de valider le regroupement proposé, il a été comparé avec les cartes climatiques du Québec produites par l'étude de Gérardin et McKenney (2001). Il s'agit de carte des classes produites avec la température moyenne, la température moyenne des trois mois les plus chauds et la carte des classes de Litynski. Les zones d'écoumènes ont été découpées dans ces cartes, puis les regroupements de RSS ont été effectués visuellement (annexe G, figures G1, G2 et G3). Le regroupement proposé par la combinaison T1H.4 avec les écoumènes (figure 4) correspond bien avec le regroupement des régions climatiques du Québec de l'étude de Gérardin et McKenney (2001), principalement avec les classes de Litynski. Les différences peuvent être expliquées par les limitations de la présente étude (limites géographiques des RSS et nombre de classes désirées). De plus, la mortalité quotidienne (figure 5) et le taux de mortalité (décès/jour/100 000 habitants, voir figure 6) de chaque classe sont semblables et suffisants pour permettre les analyses.

Le regroupement final comprend quatre classes. La classe 1 (rouge) regroupe les RSS Montréal et Laval, la classe 2 (bleue) les RSS Mauricie et Centre-du-Québec, Estrie, Outaouais, Chaudière-Appalaches, Lanaudière, Laurentides et Montérégie, la classe 3 (jaune) les RSS Saguenay–Lac-Saint-Jean, Capitale-Nationale et Abitibi-Témiscamingue et la classe 4 (verte) les RSS Bas-Saint-Laurent, Côte-Nord, Nord-du-Québec et Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine.

6 RÉSULTATS SELON LES CLASSES

Cette section présente la description des tendances observées pour chaque classe de RSS, ainsi que les résultats pour les quatre classes selon la méthode utilisée (avec ou sans tendance) et la base de données choisie (toutes causes confondues ou sans traumatismes).

6.1 DESCRIPTION DES TENDANCES

La figure 7 montre les décès journaliers des mois de mai à septembre de toutes les classes. Les classes 2 et 3 présentent clairement une tendance positive, alors que la tendance de la classe 1 est légère et la tendance de la classe 4 n'est pas visible. Le test de stationnarité de Mann-Kendall a été appliqué à chaque classe; elles présentent toutes une tendance positive significative (à 5 %). Les graphiques des classes 1, 2 et 3 semblent indiquer un plateau vers 2003. Pour les besoins de cette étude, la tendance a été modélisée de façon linéaire, puisqu'il n'était pas possible de détecter un changement de tendance sur seulement deux ans. Il serait donc recommandé d'effectuer une nouvelle étude dans quatre ou cinq ans pour confirmer ou infirmer l'hypothèse du plateau. Il est à noter qu'une fois la tendance retirée, le test de Mann-Kendall indique que les données sont stationnaires.

6.2 CLASSE 1

La classe 1 (rouge) comprend les RSS Montréal et Laval (figure 4).

6.2.1 Méthode sans tendance et décès toutes causes confondues

La méthodologie développée à la section 2 est appliquée directement, sans tenir compte de la tendance. Les diagrammes en boîte des décès de la classe 1 (figure 8a) permettent d'identifier des épisodes de mortalité extrême de 1987 et 1994. Ces épisodes ont aussi été identifiés lors de l'étude pour Montréal (section 4). Le seuil de surmortalité entraînant la meilleure sélection d'épisodes de mortalité élevée dus à la température est de 65 %. La figure 8b montre la surmortalité calculée ainsi que le seuil choisi. L'indicateur basé sur T_{max2j} et T_{min2j} s'est avéré plus performant. Les résultats sont présentés dans les tableaux 5a et 5b. Il est à noter que l'ajout de la RSS de Laval entraîne la modification du nombre de décès. Cette modification implique un ajustement du seuil de surmortalité, ce qui modifie aussi le nombre d'épisodes identifiés, passant de six (section 4) à trois. Les trois épisodes identifiés semblent tous être dus à la chaleur et sont prévus en n'émettant que quatre fausses alertes en 25 ans. Les valeurs-seuils identifiées sont : $T_{max2j} > 33$ °C et $T_{min2j} > 20$ °C.

6.2.2 Méthode avec tendance et décès toutes causes confondues

La nouvelle méthode développée pour tenir compte de la tendance est appliquée à la classe 1. La méthode avec tendance n'affecte pas les décès observés par rapport à la méthode sans tendance, les mêmes observations restent valides (figure 8a). La tendance linéaire ainsi que le seuil de surmortalité variable sont présentés à la figure 8c. Le seuil de surmortalité optimal est maintenant défini par l'équation $60\% + 0,002t$, où t représente le jour ($t = 0$ pour le 1^{er} mai 1981). La tendance étant faible, il n'est pas surprenant d'obtenir les mêmes résultats que pour la méthode sans tendance (tableaux 5c et 5d) : les trois épisodes identifiés sont prévus en n'émettant que quatre fausses alertes en 25 ans et les valeurs-seuils sont $T_{max2j} > 33$ °C et $T_{min2j} > 20$ °C.

6.2.3 Méthode sans tendance et décès sans traumas

La méthode sans tendance est appliquée à la classe 1 en utilisant la base de données des décès sans traumas (DST). Les diagrammes en boîte des décès sans traumas (figure 9a) sont très semblables à ceux des décès toutes causes confondues (figure 8a) et mènent aux mêmes observations. La figure 9b montre la surmortalité calculée ainsi que le seuil optimal de 70 %. Les résultats sont exactement les mêmes qu'avec l'utilisation de la base de données incluant les traumas (tableaux 6a et 6b) : les trois épisodes identifiés sont prévus en n'émettant que deux fausses alertes et les valeurs-seuils sont $T_{max2j} > 33$ °C et $T_{min2j} > 20$ °C. Les décès dus aux traumas semblent suivre la même tendance que les événements météorologiques extrêmes pour cette classe.

6.2.4 Méthode avec tendance et décès sans traumas

La méthode avec tendance est appliquée à la classe 1 en utilisant la base de données de décès sans les traumas. La tendance linéaire ainsi que le seuil de surmortalité variable d'équation $60\% + 0,003t$ sont présentés à la figure 9c. À nouveau, les mêmes résultats que pour la méthode classique sont observés (tableaux 6c et 6d) : les trois épisodes identifiés sont prévus en n'émettant que deux fausses alertes et les valeurs-seuils sont $T_{max2j} > 33$ °C et $T_{min2j} > 20$ °C.

La classe 1 n'est pas sensible à la méthode ou à la base de données utilisée. Les mêmes résultats sont obtenus; seul le seuil de surmortalité optimal varie. Le meilleur indicateur identifié est celui basé sur T_{max2j} et T_{min2j} avec valeurs-seuils (33 °C, 20 °C). Notons que ces résultats sont différents de ceux obtenus pour l'étude de l'île de Montréal (section 4).

6.3 CLASSE 2

La classe 2 (bleue) comprend les RSS Mauricie et Centre-du-Québec, Estrie, Outaouais, Chaudière-Appalaches, Lanaudière, Laurentides et Montérégie (figure 4).

6.3.1 Méthode sans tendance et décès toutes causes confondues

La méthode sans tendance est appliquée directement. Les diagrammes en boîte des décès de la classe 2 (figure 10a) permettent d'identifier deux épisodes de mortalité extrême, en 1994 et 2002. La vérification dans la base de données de température indique qu'il s'agit bien d'épisodes de températures élevés. Le seuil de surmortalité optimal est de 61 % (figure 10b). Les résultats sont présentés dans les tableaux 7a et 7b. L'indicateur basé sur T_{max} et T_{min} s'est avéré plus performant. Les deux épisodes dépassant le seuil de surmortalité sont prévus en émettant neuf fausses alertes en 25 ans. Les valeurs-seuils identifiées sont : $T_{max} > 32$ °C et $T_{min} > 19$ °C.

6.3.2 Méthode avec tendance et décès toutes causes confondues

La tendance linéaire ainsi que le seuil de surmortalité d'équation $40\% + 0,009t$ sont présentés à la figure 10c. Trois épisodes dépassent le seuil de surmortalité dont seulement un, celui de 1994 identifié visuellement, coïncide avec un épisode identifié avec la méthode sans tendance (tableaux 7c et 7d). L'épisode de 2002 identifié visuellement (figure 10a) ne dépasse pas le seuil de surmortalité défini par la méthode avec tendance. La différence entre les deux méthodes est plus marquée pour cette classe, puisque la tendance est plus importante. Le meilleur indicateur pour cette méthode est celui basé sur

T_{max2j} et T_{min2j} . Les trois épisodes dépassant le seuil de surmortalité sont prévus en émettant six fausses alertes plutôt que neuf, et les valeurs-seuils ont diminué d'un degré : $T_{max2j} > 31$ °C et $T_{min2j} > 18$ °C. De plus, plusieurs journées considérées comme de fausses alertes correspondent à des journées de mortalité élevée même si elles sont inférieures au seuil, dont trois journées correspondent à l'épisode de 2002.

6.3.3 Méthode sans tendance et décès sans traumatismes

Les diagrammes en boîte des décès sans traumatismes (figure 11a) permettent d'identifier les mêmes épisodes, en 1994 et 2002. La figure 11b montre la surmortalité calculée ainsi que le seuil optimal de 65 %. Les résultats (tableaux 8a et 8b) sont presque les mêmes qu'avec l'utilisation de la base de données incluant les traumatismes et la méthode avec tendance (tableaux 7c et 7d). La seule différence est dans l'identification des épisodes de dépassement du seuil de surmortalité qui sont les mêmes qu'avec l'utilisation de la base de données incluant les traumatismes et la méthode sans tendance (tableau 7b). L'épisode 2 commence une journée plus tard et finit une journée plus tôt avec le retrait des traumatismes. Les valeurs-seuils sont par contre les mêmes : $T_{max2j} > 31$ °C et $T_{min2j} > 18$ °C, avec le même nombre de fausses alertes, soit six.

6.3.4 Méthode avec tendance et décès sans traumatismes

La tendance linéaire ainsi que le seuil de surmortalité variable d'équation $27\% + 0,010t$ sont présentés à la figure 11c. Les épisodes de 1994 et 2002 dépassent le seuil de surmortalité ainsi que l'épisode de 1987 identifié par la méthode paramétrique avec traumatismes (tableaux 8c et 8d). Le meilleur indicateur est celui basé sur T_{max} et T_{min} . Ces trois épisodes sont prévus et deux épisodes sont manqués, ceux de 2001 et 2002, en émettant huit fausses alertes. Les valeurs-seuils obtenues sont : $T_{max} > 31$ °C et $T_{min} > 20$ °C.

La classe 2 est sensible à la méthode et à la base de données utilisées, ainsi les résultats obtenus sont $T_{max} > 32$ °C et $T_{min} > 19$ °C avec neuf fausses alertes, $T_{max2j} > 31$ °C et $T_{min2j} > 18$ °C avec six fausses alertes, $T_{max2j} > 31$ °C et $T_{min2j} > 18$ °C avec six fausses alertes et $T_{max} > 31$ °C et $T_{min} > 20$ °C avec huit fausses alertes. Puisque le résultat $T_{max2j} > 31$ °C et $T_{min2j} > 18$ °C permet de prévoir tous les épisodes de surmortalité liés à la chaleur identifiés avec les différentes méthodes et bases de données, cet indicateur et ses valeurs-seuils sont proposés pour la classe 2.

6.4 CLASSE 3

La classe 3 (jaune) comprend les RSS Saguenay–Lac-Saint-Jean, Capitale-Nationale et Abitibi-Témiscamingue (figure 4).

6.4.1 Méthode sans tendance et décès toutes causes confondues

Les diagrammes en boîte des décès toutes causes confondues de la classe 3 (figure 12a) ne permettent pas d'identifier d'épisode de mortalité extrême dû à la température. Les épisodes de 1993 et 2000 se démarquent par leur taux de surmortalité, mais leurs températures maximales, respectivement de 27,0 °C et 13,0 °C, et minimale, respectivement de 16,2 °C et 4,6 °C, ne sont pas suffisamment élevées. Le seuil de surmortalité optimal est de 81 % (figure 12b). Un seuil inférieur entraîne l'identification d'au moins vingt journées dépassant le seuil de surmortalité qui ne sont pas dues à la

température (température maximale au-dessous de 23 °C). L'indicateur et les valeurs-seuils choisis dans ces conditions résultent en des sensibilités et spécificités faibles (< 1 %) et ne sont pas fiables. Les résultats sont présentés dans tableaux 9a et 9b. On identifie sept épisodes, dont les épisodes de 1993 et 2000, parmi lesquels deux épisodes seulement semblent dus à la température, les épisodes 2 et 6. Pour prévoir ces deux épisodes, les valeurs-seuils entraînent 30 fausses alertes. Il est à noter que pour améliorer la sensibilité et prévoir deux épisodes de plus (1 et 5), le nombre de fausses alertes grimpe à 92, le seuil de température maximale étant alors de 27 °C. Ceci vient appuyer le choix arbitraire de 28 °C comme seuil, pour la température maximale, indiquant un événement météorologique extrême (section 2.1). L'indicateur et ses valeurs-seuils sont donc $T_{max} > 30$ °C et $T_{min} > 16$ °C.

6.4.2 Méthode avec tendance et décès toutes causes confondues

La tendance linéaire ainsi que le seuil de surmortalité d'équation $65 \% + 0,007t$ sont présentés à la figure 12c. Quatre épisodes dépassent le seuil de surmortalité et coïncident avec les épisodes identifiés avec la méthode sans tendance (tableaux 9c et 9d), dont les épisodes de 1993 et 2000 qui ne sont pas dus à la température. Un seul épisode est prévu sur quatre (1996) avec 31 fausses alertes. Les valeurs-seuils retenues sont les mêmes qu'avec la méthode sans tendance : $T_{max} > 30$ °C et $T_{min} > 16$ °C.

6.4.3 Méthode sans tendance et décès sans traumatismes

Les diagrammes en boîte des décès sans traumatismes (figure 13a) posent le même problème par rapport aux épisodes de 1993 et 2000, la surmortalité élevée n'est donc pas due à des traumatismes. La figure 13b montre la surmortalité calculée ainsi que le seuil optimal de 93 %. À nouveau, un seuil inférieur entraîne des résultats peu fiables. Trois épisodes sont éliminés avec le retrait des traumatismes (tableaux 10a et 10b). Il ne reste qu'un épisode sur les deux identifiés à la section 6.4.1 comme étant dus à la température. Les valeurs-seuils identifiées sont $T_{max} > 33$ °C et $T_{min} > 18$ °C avec une seule fausse alerte, mais basés sur un seul épisode.

6.4.4 Méthode avec tendance et décès sans traumatismes

La tendance linéaire ainsi que le seuil de surmortalité variable d'équation $65 \% + 0,008t$ sont présentés à la figure 13c. Les épisodes de 1993 et 2002 sont toujours problématiques (tableaux 10c et 10d). Un nouvel épisode dû à la température est identifié en 1991. Les valeurs-seuils retenues sont $T_{max} > 31$ °C et $T_{min} > 18$ °C avec cinq fausses alertes.

La classe 3 est sensible à la méthode et la base de données utilisées. Le choix de l'indicateur est toujours le même. Pour l'utilisation de la base de données des décès toutes causes confondues, les valeurs-seuils sont $T_{max} > 30$ °C et $T_{min} > 16$ °C. Pour la base de données sans traumatismes, la méthode sans tendance donne $T_{max} > 33$ °C et $T_{min} > 18$ °C et la méthode avec tendance $T_{max} > 31$ °C et $T_{min} > 18$ °C. Le nombre de fausses alertes varie, passant de 30 à 31, puis à 1 et 5. Le résultat $T_{max} > 30$ °C et $T_{min} > 16$ °C permet de prévoir tous les épisodes de surmortalité liés à la chaleur identifiés avec les différentes méthodes et bases de données. Il semble donc que l'épisode de 1996 ne soit pas réellement dû à la température. Par contre, ce résultat entraîne un nombre important de fausses alertes (plus d'une par année). Le résultat $T_{max} > 31$ °C et $T_{min} > 18$ °C permet, quant à lui, de prévoir deux des trois épisodes de surmortalité liés à la chaleur identifiés, avec un nombre de fausses alertes beaucoup plus faible. Ce dernier résultat est donc choisi pour représenter les seuils de

températures entraînant L'indicateur et les valeurs-seuils proposés pour la classe 3 sont donc : $T_{max} > 31$ °C et $T_{min} > 18$ °C.

6.5 CLASSE 4

La classe 4 (verte) comprend les RSS Bas-Saint-Laurent, Côte-Nord, Nord-du-Québec et Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (figure 4).

6.5.1 Méthode sans tendance et décès toutes causes confondues

Les diagrammes en boîte des décès toutes causes confondues de la classe 4 (figure 14a) permettent d'identifier un épisode de mortalité extrême qui peut être dû à la température (26,9 °C), en 2003, étant donné que cette classe regroupe les RSS les plus au nord. Les épisodes de 1984 et 1988 ont une mortalité élevée, mais leurs températures maximales, respectivement de 23,0 °C et 13,6 °C, et minimale, respectivement de 14,2 °C et 1,3 °C, ne sont pas suffisamment élevées. Le seuil de surmortalité est optimal à 140 % (figure 14b). L'indicateur basé sur T_{max} et T_{min} est le plus performant. Les résultats sont présentés dans les tableaux 11a et 11b. Un seul épisode dépasse le seuil de surmortalité, celui de 2003. Les valeurs seuils sont donc déterminées par rapport à cet unique épisode, $T_{max} > 26$ °C et $T_{min} > 13$ °C avec un nombre de 54 fausses alertes.

6.5.2 Méthode avec tendance et décès toutes causes confondues

La tendance linéaire ainsi que le seuil de surmortalité optimal d'équation $130\% + 0,003t$ sont présentés à la figure 14c. Deux épisodes dépassent le seuil de surmortalité, en 1988 et en 2003 (tableau 11c). L'épisode de 1988 a été identifié à la section précédente comme n'étant pas dû à la température. Les valeurs-seuils sont déterminées selon l'épisode de 2003, de même que pour la méthode sans tendance et les décès toutes causes confondues, produisant le même nombre de fausses alertes (soit 54) : $T_{max} > 26$ °C et $T_{min} > 13$ °C (tableau 11d).

6.5.3 Méthode sans tendance et décès sans traumatismes

Le retrait des traumatismes de la classe 4 permet d'identifier l'épisode de 1988 (figure 15a), mais cet épisode n'est pas dû à la température. La figure 15b montre la surmortalité calculée ainsi que le seuil optimal de 136 %. Deux épisodes dépassent le seuil de surmortalité, dont l'épisode de 1988 (tableaux 12a et 12b). Les valeurs-seuils sont donc à nouveau déterminées par rapport au même unique épisode, $T_{max} > 26$ °C et $T_{min} > 13$ °C avec 54 fausses alertes.

6.5.4 Méthode avec tendance et décès sans traumatismes

La tendance linéaire ainsi que le seuil de surmortalité variable d'équation $121\% + 0,004t$ sont présentés à la figure 15c. Cinq épisodes sont identifiés, dont l'épisode de 1988 (tableaux 12c et 12d). Les épisodes identifiés ne semblent pas dus à la température, sauf peut-être celui de 2003. Les valeurs-seuils sont déterminées par les valeurs de températures les plus élevées des épisodes, soit à nouveau $T_{max} > 26$ °C et $T_{min} > 13$ °C avec 54 fausses alertes.

La classe 4 n'est pas sensible à la méthode et à la base de données utilisées. Le choix de l'indicateur est le même, ainsi que ses valeurs-seuils, $T_{max} > 26$ °C et $T_{min} > 13$ °C. Le nombre de fausses alertes est de 54 en 25 ans. Les valeurs-seuils sont établies à partir d'une seule valeur, la plus extrême.

Puisqu'il est impossible de déterminer si l'unique valeur utilisée pour établir le seuil représente bien un événement météorologique extrême pour cette région, l'utilisation des indicateurs et des valeurs-seuils de la classe 3 est proposée : $T_{max} > 31\text{ °C}$ et $T_{min} > 18\text{ °C}$. Cette classe est la plus près géographiquement (figure 4) ainsi que météorologiquement.

Les résultats de toutes les classes sont compilés dans le tableau 13.

7 INDICATEURS PONDÉRÉS

L'étude de Litvak *et al.* (2005) suggérait l'utilisation d'un indicateur basé sur la température moyennée sur trois jours. Pour faire suite à cette conclusion et aux résultats obtenus à la section 6, l'utilisation d'une moyenne pondérée différente a été explorée. Il s'agit de définir un indicateur basé sur la température de trois jours consécutifs avec différentes pondérations :

(s_1, s_2) basé sur $(\alpha_1 T_{\max_j} + \alpha_2 T_{\max_{j-1}} + \alpha_3 T_{\max_{j-2}}; \alpha_1 T_{\min_j} + \alpha_2 T_{\min_{j-1}} + \alpha_3 T_{\min_{j-2}})$

où $\alpha_1 \geq \alpha_2 \geq \alpha_3 \geq 0$, $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$ et j est le jour de l'alerte. Les cas de la moyenne sur deux ou trois jours sont des cas particuliers.

Les méthodologies présentées dans la section 2 ont été reprises et adaptées. Puisque les bases de données de décès sont les mêmes, les résultats des étapes I à V ont été utilisés directement; les seuils de surmortalité utilisés sont donc les mêmes. Le choix à l'étape VI (explorer les différents indicateurs) se fait maintenant sur la pondération de l'indicateur comme présenté plus haut et l'étape VII (déterminer les valeurs-seuils des indicateurs) revient à l'optimisation de la pondération. Cette optimisation est basée sur la sensibilité et la spécificité (annexe C). Cependant, l'optimisation a apporté la nécessité d'automatiser le processus. Pour ce faire, les critères de comparaison ont été redéfinis directement en fonction des épisodes (section 2) de dépassement des seuils au lieu des jours, plutôt que de tenir compte des épisodes manuellement lors du choix du seuil. Cette correction a permis de donner plus de représentativité aux critères, puisqu'un dépassement du seuil peut durer plusieurs jours tandis qu'une seule alerte sera lancée. L'optimisation a été effectuée systématiquement, en attribuant aux α_i toutes les valeurs satisfaisant les contraintes présentées précédemment, avec un pas de 0,1. De plus, la limite acceptable d'une fausse alerte par année (FA/an) a été ajoutée comme critère d'optimalité. Pour ce faire, le nombre de fausses alertes est présenté en termes d'occurrence par année et représente les fausses alertes réelles, c'est-à-dire le nombre d'épisodes dépassant les valeurs-seuils ne correspondant pas à un dépassement du seuil de surmortalité.

Cette méthodologie a d'abord été testée sur la ville de Montréal (annexe H). L'amélioration des résultats a entraîné l'application de la méthodologie aux quatre classes. Les résultats correspondants aux trois premières classes sont présentés et discutés dans la suite de cette section. Concernant la classe 4, la procédure d'optimisation a indiqué qu'il n'y a pas eu d'épisode de surmortalité lié à la température. Par conséquent, de même qu'à la section 6, s'il est nécessaire d'avoir des seuils pour la classe 4, il est suggéré d'utiliser l'indicateur et les valeurs-seuils de la classe 3.

7.1 CLASSE 1

Les résultats de l'utilisation de la pondération sur trois jours de la classe 1 (tableau 14a) sont cohérents avec les résultats obtenus précédemment (section 6.2). En effet, le choix de la base de données de décès n'affecte pas les résultats, de même que la considération de la tendance. La sensibilité était déjà maximale préalablement à l'utilisation des pondérations, c'est-à-dire qu'on parvenait à identifier tous les épisodes de surmortalité. Par contre, la spécificité est améliorée, s'exprimant comme une réduction du nombre de FA/an de 0,48 à 0,12. La pondération ainsi que les valeurs-seuils optimales sont donc $\alpha_1 = 0,4$, $\alpha_2 = 0,4$, $\alpha_3 = 0,2$, $s_1 = 33$ °C et $s_2 = 20$ °C. Il est à noter que la pondération identifiée diffère de la pondération uniforme obtenue à la section 6.2, mais les valeurs-seuils sont identiques (tableau 13b).

7.2 CLASSE 2

Les résultats de l'utilisation de la pondération sur trois jours de la classe 2 (tableau 14b) changent selon l'utilisation de la base de données de décès ainsi que selon la méthodologie utilisée (avec ou sans tendance). Il y a cependant des facteurs communs : trois fois sur quatre, le choix de la pondération est $\alpha_1 = 0,4$, $\alpha_2 = 0,4$, $\alpha_3 = 0,2$. L'utilisation de la base de données de décès sans traumatismes et de la méthodologie avec tendance indique qu'aucune pondération n'améliore les résultats et les valeurs-seuils sont relativement basses par rapport aux autres cas. Puisque trois résultats sur quatre sont presque identiques (la valeur-seuil de la température maximale diffère d'un degré pour DTCC sans tendance), cette pondération a été adoptée pour la classe 2. La valeur-seuil de la température maximale la plus conservatrice est choisie. La pondération ainsi que les valeurs-seuils optimales sont donc $\alpha_1 = 0,4$, $\alpha_2 = 0,4$, $\alpha_3 = 0,2$, $s_1 = 31$ °C et $s_2 = 19$ °C. Notons qu'à nouveau la pondération identifiée n'est pas la pondération uniforme de la section 6.3, mais la valeur-seuil de la température minimale a augmenté d'un degré (tableau 13b). De plus, il s'agit de la même pondération que celle identifiée pour la classe 1.

7.3 CLASSE 3

Le tableau 14c présente les résultats de l'utilisation de la pondération sur trois jours de la classe 3. Dans la section 6.4, le problème d'identification des épisodes de surmortalité dus à la température a été discuté. D'après les tableaux 9 et 10, il n'y a qu'un ou deux épisodes de surmortalité dus à la température, selon la base de données et la méthode utilisées. La pondération $\alpha_1 = 0,9$, $\alpha_2 = 0,1$, $\alpha_3 = 0,0$ améliore légèrement la spécificité avec l'utilisation la base de données DTCC alors qu'avec la base de données DST et la méthode sans tendance, aucune pondération n'améliore les résultats. Par contre, avec l'utilisation de la base de données DST et la méthode avec tendance, on retrouve la même pondération que pour les classes 1 et 2 avec un faible taux de FA (0,08 FA/an). Le choix des pondérations et des valeurs-seuils optimales est donc $\alpha_1 = 0,4$, $\alpha_2 = 0,4$, $\alpha_3 = 0,2$, $s_1 = 31$ °C et $s_2 = 16$ °C. À nouveau, la pondération est différente de la pondération uniforme de la section 6.4 (tableau 13b). La valeur-seuil de la température maximale reste inchangée alors que celle de la température minimale diminue de deux degrés.

L'utilisation des indicateurs pondérés améliore la spécificité par rapport à l'utilisation des pondérations uniformes (section 6). Le tableau 15 résume les indicateurs pondérés et les valeurs-seuils proposés pour toutes les classes. La comparaison avec le tableau 13b semble indiquer que la valeur-seuil de la température maximale est peu affectée par la pondération utilisée (uniforme ou non), alors que la valeur-seuil de la température minimale y est plus sensible. Le tableau 15 met aussi en évidence que la pondération optimale est la même pour toutes les classes, soit $\alpha_1 = 0,4$, $\alpha_2 = 0,4$, $\alpha_3 = 0,2$. Il peut s'agir d'un hasard ou alors cette pondération représente la pondération optimale, du moins pour le Québec. Il est difficile de généraliser à partir de seulement trois classes, mais il serait intéressant de valider ou infirmer ce résultat lors d'études futures.

8 VÉRIFICATION

Selon EC, les prévisions météorologiques pour la province de Québec s'effectuent sur la base de certaines stations, nommées stations phares (SP). En effet, l'outil de production des prévisions météorologiques utilise des SP considérées comme représentatives de la région. Des modèles statistiques utilisent les observations de ces SP et les sorties de modèles numériques pour faire une prévision statistique pour ces SP. Cette prévision est ce qu'on appelle la prévision « brute », sans l'intervention de l'humain. Par la suite, le prévisionniste ajuste cette prévision en considérant toutes les observations environnantes ainsi que les sorties directes des différents modèles. Notons que la prévision d'une région doit refléter l'ensemble du territoire et non seulement la SP, tout en tenant compte de la densité de la population.

Une vérification des seuils établis dans les sections 6 et 7 sur les observations historiques de ces SP a été effectuée. Cette procédure consiste à vérifier localement le nombre de fois où les valeurs de températures observées historiquement aux SP dépassent les valeurs-seuils, en termes d'épisodes, et de comparer avec les résultats identifiés dans les sections précédentes d'épisodes de surmortalité dus à la température. L'ajout du critère local de l'Humidex comme étape secondaire a aussi été envisagé lors de cette vérification. Le seuil d'Humidex de 40, établi par EC comme étant critique pour l'être humain, a été utilisé pour la vérification. La vérification a été effectuée sur les trois classes dont les seuils ont été établis, soit les classes 1, 2 et 3.

La figure 16 présente l'emplacement des SP utilisées, ainsi qu'un numéro de référence qui se retrouve dans le tableau 16. Ce tableau contient la compilation des résultats de la vérification. Les données de températures des SP ne sont pas toutes disponibles pour les vingt-cinq années de l'étude, c'est pourquoi les alertes sont présentées en fonction des années disponibles. Certaines SP n'ont pas de mesures enregistrées pour l'Humidex, ou très peu, et elles sont indiquées dans le tableau 16 également. Les épisodes de surmortalité ont été pris à partir des tableaux 5 à 10, en additionnant tous les épisodes identifiés comme dus à la température (section 6) pendant la période de disponibilité des données.

8.1 CLASSE 1

La vérification pour la classe 1 est effectuée sur une SP. L'utilisation de l'indicateur pondéré améliore les résultats, en ce sens qu'ils s'approchent du nombre d'épisodes de surmortalité. L'utilisation de l'Humidex comme critère additionnel local ajoute à la précision, retirant ainsi une alerte ne correspondant pas à un épisode de surmortalité. La combinaison de l'indicateur pondéré et de l'Humidex permet d'atteindre un nombre d'alertes égal au nombre d'épisodes de surmortalité identifiés.

Il est donc suggéré, pour la classe 1, d'utiliser l'indicateur pondéré, avec $\alpha_1 = 0,4$, $\alpha_2 = 0,4$, $\alpha_3 = 0,2$, $s_1 = 33$ °C et $s_2 = 20$ °C, et l'Humidex > 40 en seconde étape.

8.2 CLASSE 2

Les résultats de la classe 2 varient en fonction des SP. Pour la RSS 4, la SP Trois-Rivières engendre une alerte de plus que le nombre d'épisodes de surmortalité lorsque l'indicateur et les valeurs-seuils de la section 6.3 ($T_{max2j} > 31$ °C et $T_{min2j} > 18$ °C) sont utilisés, alors que l'utilisation de l'indicateur pondéré donne une alerte de moins que le nombre d'épisodes. La SP Lemieux indique une alerte pour

tous les cas qui correspondent au nombre d'épisodes de surmortalité. L'utilisation de l'indicateur pondéré sur la SP La Tuque permet d'obtenir le même nombre d'alertes que d'épisodes identifiés. Pour la RSS 5, la SP est similaire à la SP Trois-Rivières (RSS 4), et les RSS 7 et 12 sont similaires à la SP La Tuque (RSS 4). La SP de la RSS 15 entraîne l'identification d'une alerte de moins que le nombre d'épisodes avec l'utilisation de l'indicateur pondéré. Les RSS 14 et 16 présentent un nombre d'alertes très grand, malgré l'utilisation de l'indicateur pondéré et de l'Humidex pour les stations où il est disponible. Puisqu'il y a deux stations phares par RSS et qu'une seule enregistre l'Humidex, l'utilisation de ces stations est primée, soit les SP de L'Assomption et L'Acadie. La position géographique de ces stations sur la figure 16 montre qu'elles sont proches de la classe 1. La vérification de ces stations en utilisant les indicateurs et les seuils de la classe 1 entraîne des résultats plus près du nombre d'épisodes de surmortalité.

De façon générale, pour les RSS 4, 5, 7, 12 et 15, l'utilisation de l'indicateur pondéré, avec ou sans Humidex, entraîne un nombre d'alertes inférieur ou égal au nombre d'épisodes de surmortalité. L'utilisation de l'indicateur et des valeurs-seuils $T_{max2j} > 31$ °C et $T_{min2j} > 18$ °C, combinés à l'Humidex, entraîne les meilleurs résultats. Cet indicateur représente un cas particulier de pondération, avec $\alpha_1 = 0,5$, $\alpha_2 = 0,5$, $\alpha_3 = 0,0$ avec les valeurs-seuils $s_1 = 31$ °C et $s_2 = 18$ °C. Il s'agit de l'indicateur pondéré optimal, combiné à un Humidex > 40 , pour la classe 2 excluant les RSS 14 et 16. Pour les RSS 14 et 16, l'utilisation de l'indicateur et des valeurs-seuils de la classe 1 sur les SP L'Assomption et L'Acadie est suggérée pour les prévisions.

8.3 CLASSE 3

Les résultats de la validation pour la classe 3 varient en fonction des RSS. Pour la RSS 2, le nombre d'alertes diminue avec l'utilisation de l'indicateur pondéré, mais demeure élevé, soit 9 et 7 alertes de plus que le nombre d'épisodes de surmortalité (3). L'ajout de l'Humidex à l'indicateur pondéré entraîne par contre un nombre inférieur d'alertes que d'épisodes, ce qui semble indiquer que la valeur-seuil de l'Humidex n'est pas optimale pour cette RSS. En effet, une valeur-seuil d'Humidex de 37 est plus adéquate, permettant d'obtenir 4 alertes pour la SP Bagotville et 3 alertes pour la SP Roberval, très proche de 3 (épisodes de surmortalité).

Pour la RSS 8, l'utilisation de l'indicateur pondéré augmente le nombre d'alertes pour une SP et le diminue pour l'autre SP. Par contre, l'Humidex ajoute une précision aux résultats. À nouveau, une valeur-seuil de 37 pour l'Humidex est préférable pour éviter de rejeter trop d'alertes réelles.

Pour la RSS 3, seule la SP Jean-Lesage enregistre l'Humidex et ce, depuis 2005 seulement. La SP Forêt Montmorency se trouve hors de l'écoumène, donc peu adaptée aux besoins de cette étude et la SP de Charlevoix n'enregistre pas l'Humidex. La SP Jean-Lesage est donc suggérée pour la RSS 3, avec l'utilisation de l'indicateur pondéré. Les résultats précédents pour cette classe (RSS 3 et 8) laissent penser que l'ajout de l'Humidex > 37 améliorerait la précision des résultats.

Il est donc suggéré d'utiliser l'indicateur pondéré, avec $\alpha_1 = 0,4$, $\alpha_2 = 0,4$, $\alpha_3 = 0,2$, les valeurs-seuils $s_1 = 31$ °C et $s_2 = 16$ °C, et l'Humidex > 37 en seconde étape pour la classe 3. Les SP pour chaque RSS des classes 1, 2 et 3, proposées pour l'application, sont présentées dans le tableau 17. Les pondérations des indicateurs ainsi que leurs valeurs-seuils correspondantes y sont aussi indiquées.

9 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La mise à jour de l'étude de Litvak *et al.* (2005) sur Montréal a permis d'identifier l'indicateur le plus performant, soit celui basé sur T_{max} et T_{min} basé sur une journée plutôt que trois jours. Ce choix est la seule différence entre les conclusions de l'étude de Litvak *et al.* (2005) et celles de la présente étude. L'utilisation de la base de données contenant les décès de toutes causes a été remise en cause en comparant les résultats de son utilisation à celle de cette même base de données de laquelle les traumatismes sont exclus. Une classification ascendante hiérarchique basée sur la météo a été utilisée pour obtenir un regroupement en classes de RSS, ce qui a donné lieu au regroupement en quatre classes. Une tendance ayant été détectée dans les données de décès, la méthodologie a été modifiée pour en tenir compte, par l'utilisation d'une régression linéaire de la surmortalité. Les méthodes avec et sans tendance ont été appliquées à chaque classe, et ce, avec et sans traumatismes.

Les résultats des classes 1 (RSS Montréal et Laval) et 4 (RSS Bas-Saint-Laurent, Côte-Nord et Nord-du-Québec) sont toujours exactement les mêmes, peu importe la base de données (complète ou sans traumatismes) et la méthode (avec ou sans tendance) utilisées. Pour la classe 4, les résultats sont tout de même peu fiables, car ils sont basés sur un seul événement. Cet événement est celui qui possède les températures les plus extrêmes enregistrées sur la période d'étude (1981 à 2005), mais il n'est pas nécessairement représentatif des températures entraînant une hausse de la mortalité. Puisqu'il ne semble pas y avoir eu de grandes vagues de chaleur dans cette région, l'établissement d'un seuil est délicat, c'est pourquoi il est suggéré d'utiliser les seuils de la classe 3 (RSS Saguenay–Lac-Saint-Jean, Capitale-Nationale et Abitibi-Témiscamingue). Pour la classe 3, un phénomène semblable est observé. Il est difficile de déterminer quels événements sont réellement des événements de surmortalité causés par la température et les valeurs-seuils diffèrent selon la méthode et la base de données utilisées. Pour la classe 2 (RSS Mauricie et Centre-du-Québec, Estrie, Outaouais, Chaudière-Appalaches, Lanaudière, Laurentides et Montérégie), les résultats sont plus différents. Le choix de l'indicateur change selon la méthode et la base de données. Il en est de même pour le seuil de surmortalité, les valeurs-seuils et le nombre de fausses alertes engendrées. Les conclusions ainsi que les indicateurs et valeurs-seuils proposées pour toutes les classes sont présentés dans le tableau 13. Les auteurs recommandent qu'une nouvelle étude soit effectuée dans quatre ans pour confirmer les tendances établies.

L'utilisation d'un indicateur pondéré sur trois jours améliore généralement les résultats. Une pondération optimale de $\alpha_1 = 0,4$, $\alpha_2 = 0,4$ et $\alpha_3 = 0,2$ a été déterminée pour les trois classes considérées (la classe 4 a été retirée, car elle ne présente aucune surmortalité due à des températures élevées). Cependant, la validation sur les stations phares indique que cette pondération n'est pas optimale pour la classe 2, puisque cette dernière se divise en deux parties. Les RSS 4 (Mauricie et Centre-du-Québec), 5 (Estrie), 7 (Outaouais) et 15 (Laurentides) sont mieux représentées par la pondération $\alpha_1 = 0,5$, $\alpha_2 = 0,5$ et $\alpha_3 = 0,0$ de la section 6.3, tandis que les RSS 14 (Lanaudière) et 16 (Montérégie) sont mieux représentées par les seuils de la classe 1. L'ajout de l'Humidex comme critère secondaire ajoute généralement à la précision, mais un seuil de 37 plutôt que 40 s'avère plus représentatif pour la classe 3. Les stations de prévision suggérées pour chaque classe et chaque RSS sont présentées dans le tableau 17. Les pondérations et les valeurs-seuils y sont indiquées.

Les résultats obtenus lors de la validation partielle de la classe 2 semblent indiquer qu'une définition des seuils par une approche de voisinage des stations de mesure plutôt que par classe pourrait être préférable. Cette optique pourrait être étudiée dans une étude future. Il serait aussi intéressant d'étudier d'autres variables, séparément ou simultanément, par exemple la vitesse du vent ou encore les degrés-

jours cumulés. Aussi, cette étude pourrait être faite par une approche multivariée. L'utilisation des prévisions météorologiques historiques plutôt que des valeurs observées permettrait de juger des performances du système proposé en cas réel; cependant, de telles données historiques de prévision pour le Québec ne sont pas disponibles en format exploitable. Une démarche pour valider notre approche avec des prévisions historiques a été tentée avec l'Institut national de veille sanitaire de France sans succès. De plus, il serait intéressant d'établir les seuils pour tout le Canada en suivant cette méthodologie.

TABLEAUX

Tableau 1 Description des 16 RSS utilisées dans cette étude

No RSS	Nom de la région
01	Bas-Saint-Laurent
02	Saguenay–Lac-Saint-Jean
03	Capitale-Nationale
04	Mauricie et Centre-du-Québec
05	Estrie
06	Montréal
07	Outaouais
08	Abitibi-Témiscamingue
09	Côte-Nord
10	Nord-du-Québec
11	Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine
12	Chaudière-Appalaches
13	Laval
14	Lanaudière
15	Laurentides
16	Montérégie

Tableau 2 Résultats pour l'étude de Montréal avec décès toutes causes confondues

a) Journées avec une surmortalité de plus de 60 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1987	7	13	123,6	33,8	24,0	Épisode 1
1987	7	14	142,2	29,4	19,4	
1987	7	15	60,3	21,6	12,4	
1988	6	15	73,0	33,8	20,8	Épisode 2
1989	6	26	60,1	28,2	19,6	Épisode 3
1994	6	18	145,0	34,0	20,8	Épisode 4
1994	6	19	105,6	27,6	18,0	
2002	7	3	80,8	34,0	24,4	Épisode 5
2002	8	14	61,5	35,0	21,6	Épisode 6

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin*

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
21	12	9	0	100,0 %	2018	47,1 %	1-2-3-4-5-6
27	17	8	1	88,9 %	520	86,4 %	1-2-3-4-5-6
28	19	7	2	77,8 %	241	93,7 %	1-2-3-4-5-6
29	19	6	3	66,7 %	185	95,2 %	1-2-4-5-6
33	20	5	4	55,6 %	19	99,5 %	1-2-4-5-6
33	21	3	6	33,3 %	17	99,6 %	1-5-6
34	20	2	7	22,2 %	1	100,0 %	4-6
35	21	1	8	11,1 %	0	100,0 %	6

c) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax2j* et *Tmin2j*

<i>Tmax2j</i>	<i>Tmin2j</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
26	16	9	0	100,0 %	725	81,0 %	1-2-3-4-5-6
28	18	8	1	88,9 %	281	92,6 %	1-2-3-4-5-6
30	18	7	2	77,8 %	104	97,3 %	1-2-4-5-6
31	18	6	3	66,7 %	48	98,7 %	1-2-4-5-6
31	19	5	4	55,6 %	40	99,0 %	1-4-5-6
31	21	4	5	44,4 %	13	99,7 %	1-5-6
32	21	3	6	33,3 %	8	99,8 %	1-5-6
33	21	2	7	22,2 %	0	100,0 %	1-6
33	23	1	8	11,1 %	0	100,0 %	1

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax3j* et *Tmin3j*

<i>Tmax3j</i>	<i>Tmin3j</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
27	15	9	0	100,0 %	540	85,8 %	1-2-3-4-5-6
27	17	8	1	88,9 %	362	90,5 %	1-3-4-5-6
28	15	7	2	77,8 %	313	91,8 %	1-2-4-5-6
29	17	6	3	66,7 %	113	97,0 %	1-4-5-6
30	17	5	4	55,6 %	35	99,1 %	1-4-5-6
30	19	4	5	44,4 %	23	99,4 %	1-5-6
30	20	3	6	33,3 %	14	99,6 %	1-5
31	19	2	7	22,2 %	6	99,8 %	1-6
31	21	1	8	11,1 %	0	100,0 %	1

Tableau 3 Résultats pour l'étude de Montréal avec décès sans traumatismes

a) Journées avec une surmortalité de plus de 60 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	
1987	7	13	117,2	33,8	24,0	Épisode 1
1987	7	14	153,3	29,4	19,4	
1987	7	15	60,6	21,6	12,4	
1988	6	15	76,3	33,8	20,8	Épisode 2
1989	6	26	65,4	28,2	19,6	Épisode 3
1993	5	15	60,9	19,8	10,5	Épisode 4
1994	6	18	145,2	34,0	20,8	Épisode 5
1994	6	19	116,1	27,6	18,0	
1994	6	24	61,6	24,8	12,9	Épisode 6
2002	7	3	76,9	34,0	24,4	Épisode 7
2002	8	14	60,6	35,0	21,6	Épisode 8
2005	8	10	62,6	30,8	20,3	Épisode 9

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur Tmax et Tmin

Tmax	Tmin	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausse alertes	Spécificité	Épisodes prévus
24	12	10	2	83,3 %	1544	59,5 %	1-2-3-5-6-7-8-9
27	17	9	3	75,0 %	519	86,4 %	1-2-3-5-6-7-8-9
28	19	8	4	66,7 %	240	93,7 %	1-2-3-5-7-8-9
29	19	7	5	58,3 %	184	95,2 %	1-2-5-7-8-9
30	20	6	6	50,0 %	96	97,5 %	1-2-5-7-8-9
33	20	5	7	41,7 %	19	99,5 %	1-2-5-7-8-9
33	21	3	9	25,0 %	17	99,6 %	1-2-5-7-8
34	20	2	10	16,7 %	1	100,0 %	1-7-8
35	21	1	11	8,3 %	0	100,0 %	5-8

c) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur Tmax2j et Tmin2j

Tmax2j	Tmin2j	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausse alertes	Spécificité	Épisodes prévus
26	16	10	2	83,3 %	724	81,0 %	1-2-3-5-7-8-9
28	18	9	3	75,0 %	280	92,7 %	1-2-3-5-7-8-9
30	18	8	4	66,7 %	103	97,3 %	1-2-5-7-8-9
31	18	6	6	50,0 %	48	98,7 %	1-2-5-7-8
31	19	5	7	41,7 %	40	99,0 %	1-5-7-8
31	21	4	8	33,3 %	13	99,7 %	1-7-8
32	21	3	9	25,0 %	8	99,8 %	1-7-8
33	21	2	10	16,7 %	0	100,0 %	1-8
33	23	1	11	8,3 %	0	100,0 %	1

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur Tmax3j et Tmin3j

Tmax3j	Tmin3j	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausse alertes	Spécificité	Épisodes prévus
27	15	10	2	83,3 %	539	85,9 %	1-2-3-5-7-8-9
27	17	9	3	75,0 %	361	90,5 %	1-3-5-7-8-9
28	15	8	4	66,7 %	312	91,8 %	1-2-5-7-8-9
29	17	7	5	58,3 %	112	97,1 %	1-5-7-8-9
27	18	6	6	50,0 %	211	94,5 %	1-7-8-9
30	17	5	7	41,7 %	35	99,1 %	1-5-7-8
30	19	4	8	33,3 %	23	99,4 %	1-7-8
30	20	3	9	25,0 %	14	99,6 %	1-7
31	19	2	10	16,7 %	6	99,8 %	1-8
31	21	1	11	8,3 %	0	100,0 %	1

Tableau 4 Combinaisons testées avec la CAH

T1 est la température de la base journalière;

T2 est la température de la base horaire;

H est l'humidité relative de la base horaire.

Combinaison	Variables utilisées
T1.1	T1 max
T1.2	T1 moy
T1.3	T1 max et T1 min
T1.4	T1 max et T1 moy
T1.5	T1 max, T1 min et T1 moy
T2.1	T2 max
T2.1	T2 moy
T2.3	T2 max et T2 min
T2.4	T2 max et T2 moy
T2.5	T2 max, T2 min et T2 moy
H.1	H max
H.2	H moy
H.3	H max et H min
H.5	H max et H moy
H.5	H max, H min et H moy
T1H.1	T1 max, T1 min, T1 moy et H max
T1H.2	T1 max, T1 min, T1 moy et H moy
T1H.3	T1 max, T1 min, T1 moy, H max et H min
T1H.4	T1 max, T1 min, T1 moy, H max et H moy
T1H.5	T1 max, T1 min, T1 moy, H max, H min et H moy
T2H.1	T2 max, T2 min, T2 moy et H max
T2H.2	T2 max, T2 min, T2 moy et H moy
T2H.3	T2 max, T2 min, T2 moy, H max et H min
T2H.4	T2 max, T2 min, T2 moy, H max et H moy
T2H.5	T2 max, T2 min, T2 moy, H max, H min et H moy

Tableau 5 Résultats pour l'étude de la classe 1 avec décès toutes causes confondues

a) Journées avec une surmortalité de plus de 65 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1987	7	13	122,4	33,7	23,9	Épisode 1
1987	7	14	138,8	29,2	19,5	
1994	6	18	129,7	34,4	21,1	Épisode 2
1994	6	19	103,2	27,4	18,5	
2002	7	3	84,3	34,1	24,4	Épisode 3

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax2j* et *Tmin2j* avec la méthode sans tendance

<i>Tmax2j</i>	<i>Tmin2j</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
30	19	5	0	100,0 %	75	98,0 %	1-2-3
31	20	4	1	80,0 %	31	99,2 %	1-2-3
33	20	3	2	60,0 %	4	99,9 %	1-2-3
33	22	2	3	40,0 %	0	100,0 %	1-3
33	23	1	4	20,0 %	0	100,0 %	1

c) Journées avec une surmortalité de plus de 60 % + 0,002*t* et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1987	7	13	122,4	33,7	23,9	Épisode 1
1987	7	14	138,8	29,2	19,5	
1994	6	18	129,7	34,4	21,1	Épisode 2
1994	6	19	103,2	27,4	18,5	
2002	7	3	84,3	34,1	24,4	Épisode 3

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax2j* et *Tmin2j* avec la méthode avec tendance

<i>Tmax2j</i>	<i>Tmin2j</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
30	19	5	0	100,0 %	75	98,0 %	1-2-3
31	20	4	1	80,0 %	31	99,2 %	1-2-3
33	20	3	2	60,0 %	4	99,9 %	1-2-3
33	22	2	3	40,0 %	0	100,0 %	1-3
33	23	1	4	20,0 %	0	100,0 %	1

Tableau 6 Résultats pour l'étude de la classe 1 avec décès sans traumatismes

a) Journées avec une surmortalité de plus de 70 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1987	7	13	118,6	33,7	23,9	Épisode 1
1987	7	14	148,3	29,2	19,5	
1994	6	18	128,7	34,4	21,1	Épisode 2
1994	6	19	111,9	27,4	18,5	
2002	7	3	82,4	34,1	24,4	Épisode 3

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax2j* et *Tmin2j* avec la méthode sans tendance

<i>Tmax2j</i>	<i>Tmin2j</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
30	19	5	0	100,0 %	75	98,0 %	1-2-3
31	20	4	1	80,0 %	31	99,2 %	1-2-3
33	20	3	2	60,0 %	4	99,9 %	1-2-3
33	22	2	3	40,0 %	0	100,0 %	1-3
33	23	1	4	20,0 %	0	100,0 %	1

c) Journées avec une surmortalité de plus de 65 % + $0,003t$ et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1987	7	13	118,6	33,7	23,9	Épisode 1
1987	7	14	148,3	29,2	19,5	
1994	6	18	128,7	34,4	21,1	Épisode 2
1994	6	19	111,9	27,4	18,5	
2002	7	3	82,4	34,1	24,4	Épisode 3

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax2j* et *Tmin2j* avec la méthode avec tendance

<i>Tmax2j</i>	<i>Tmin2j</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
30	19	5	0	100,0 %	75	98,0 %	1-2-3
31	20	4	1	80,0 %	31	99,2 %	1-2-3
33	20	3	2	60,0 %	4	99,9 %	1-2-3
33	22	2	3	40,0 %	0	100,0 %	2-3
33	23	1	4	20,0 %	0	100,0 %	

Tableau 7 Résultats pour l'étude de la classe 2 avec décès toutes causes confondues

a) Journées avec une surmortalité de plus de 61 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1994	6	18	79,9	32,7	19,5	Épisode 1
2002	7	2	62,1	33,3	22,4	Épisode 2
2002	7	3	63,1	33,3	22,2	
2002	7	4	65,6	30,2	19,7	
2002	7	5	67,0	23,4	14,8	

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin* avec la méthode sans tendance

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
23	14	5	0	100,0 %	754	80,3 %	1-2
30	19	4	1	80,0 %	30	99,2 %	1-2
32	19	3	2	60,0 %	9	99,8 %	1-2
33	22	2	3	40,0 %	0	100,0 %	2

c) Journées avec une surmortalité de plus de 40 % + 0,009*t* et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1987	7	13	53,8	32,0	21,2	Épisode 1
1988	7	10	51,5	31,2	18,3	Épisode 2
1994	6	18	79,9	32,7	19,5	Épisode 3

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax2j* et *Tmin2j* avec la méthode avec tendance

<i>Tmax2j</i>	<i>Tmin2j</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
31	18	3	0	100,0 %	6	99,8 %	1-2-3
31	20	1	2	33,3 %	2	99,9 %	1

Tableau 8 Résultats pour l'étude de la classe 2 avec décès sans traumatismes

a) Journées avec une surmortalité de plus de 65 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1994	6	18	76,2	32,7	19,5	Épisode 1
2002	7	3	65,3	33,3	22,2	Épisode 2
2002	7	4	69,8	30,2	19,7	

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax2j* et *Tmin2j* avec la méthode sans tendance

<i>Tmax2j</i>	<i>Tmin2j</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
31	18	3	0	100,0 %	6	99,8 %	1-2
31	20	2	1	66,7 %	1	100,0 %	2
32	20	1	2	33,3 %	0	100,0 %	2

c) Journées avec une surmortalité de plus de 27 % + 0,010*t* et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1987	7	13	38,2	32,0	21,2	Épisode 1
1994	6	17	50,0	32,7	20,1	Épisode 2
1994	6	18	76,2	32,7	19,5	
2001	8	10	60,2	28,6	20,1	Épisode 3
2002	7	3	65,3	33,3	22,2	Épisode 4
2002	7	4	69,8	30,2	19,7	
2002	7	5	62,2	23,4	14,8	
2002	7	8	63,1	28,2	14,9	Épisode 5

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin* avec la méthode avec tendance

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
23	14	8	0	100,0 %	751	80,3 %	1-2-3-4-5
28	14	7	1	87,5 %	248	93,5 %	1-2-3-4-5
28	19	6	2	75,0 %	46	98,8 %	1-2-3-4
30	19	5	3	62,5 %	29	99,2 %	1-2-4
31	19	4	4	50,0 %	17	99,6 %	1-2-4
31	20	3	5	37,5 %	8	99,8 %	1-2-4
31	21	2	6	25,0 %	2	99,9 %	1-4
33	22	1	7	12,5 %	1	100,0 %	4

Tableau 9 Résultats pour l'étude de la classe 3 avec décès toutes causes confondues

a) Journées avec une surmortalité de plus de 81 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1993	7	10	106,8	27,0	16,2	Épisode 1
1996	6	11	81,8	30,3	16,1	Épisode 2
2000	9	22	99,8	13,0	4,6	Épisode 3
2002	7	6	85,4	21,4	13,0	Épisode 4
2002	7	29	93,3	27,2	17,9	Épisode 5
2003	6	26	85,2	33,5	18,4	Épisode 6
2005	8	5	83,5	25,8	14,9	Épisode 7

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin* avec la méthode sans tendance

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausse alertes	Spécificité	Épisodes prévus
21	12	6	1	85,7 %	833	78,2 %	1-2-4-5-6-7
25	14	5	2	71,4 %	296	92,2 %	1-2-5-6-7
27	16	4	3	57,1 %	92	97,6 %	1-2-5-6
30	16	2	5	28,6 %	30	99,2 %	2-6
33	18	1	6	14,3 %	1	100,0 %	6

c) Journées avec une surmortalité de plus de 65 % + 0,007*t* et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1993	7	10	106,8	27,0	16,2	Épisode 1
1996	6	11	81,8	30,3	16,1	Épisode 2
2000	9	22	99,8	13,0	4,6	Épisode 3
2002	7	29	93,3	27,2	17,9	Épisode 4

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin* avec la méthode avec tendance

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausse alertes	Spécificité	Épisodes prévus
27	16	3	1	75,0 %	93	97,6 %	1-2-4
30	16	1	3	25,0 %	31	99,2 %	2

Tableau 10 Résultats pour l'étude de la classe 3 avec décès sans traumatismes

a) Journées avec une surmortalité de plus de 93 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1993	7	10	101,4	27,0	16,2	Épisode 1
2000	9	22	107,2	13,0	4,6	Épisode 2
2002	7	29	102,5	27,2	17,9	Épisode 3
2003	6	26	93,7	33,5	18,4	Épisode 4
2003	6	27	99,0	27,8	15,6	

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin* avec la méthode sans tendance

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
27	15	4	1	80,0 %	137	96,4 %	1-3-4
27	16	3	2	60,0 %	93	97,6 %	1-3-4
27	17	2	3	40,0 %	47	98,8 %	3-4
33	18	1	4	20,0 %	1	100,0 %	4

c) Journées avec une surmortalité de plus de 65 % + 0,007*t* et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1991	7	20	83,8	31,0	18,1	Épisode 1
1993	7	10	101,4	27,0	16,2	Épisode 2
2000	9	22	107,2	13,0	4,6	Épisode 3
2002	7	29	102,5	27,2	17,9	Épisode 4
2003	6	26	93,7	33,5	18,4	Épisode 5
2003	6	27	99,0	27,8	15,6	

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin* avec la méthode avec tendance

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
27	15	5	1	83,3 %	136	96,4 %	1-2-4-5
27	16	4	2	66,7 %	92	97,6 %	1-2-4-5
27	17	3	3	50,0 %	46	98,8 %	1-4-5
31	18	2	4	33,3 %	5	99,9 %	1-5
33	18	1	5	16,7 %	1	100,0 %	5

Tableau 11 Résultats pour l'étude de la classe 4 avec décès toutes causes confondues

a) Journées avec une surmortalité de plus de 140 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
2003	6	27	144,3	26,9	13,8	Épisode 1

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin* avec la méthode sans tendance

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
26	13	1	0	100,0 %	54	98,6 %	1

c) Journées avec une surmortalité de plus de 130 % + 0,003*t* et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1988	9	16	138,3	13,6	1,3	Épisode 1
2003	6	27	144,3	26,9	13,8	Épisode 2

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin* avec la méthode avec tendance

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
26	13	1	1	50,0 %	54	98,6 %	2

Tableau 12 Résultats pour l'étude de la classe 4 avec décès sans traumas

a) Journées avec une surmortalité de plus de 136 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1988	9	16	164,2	13,6	1,3	Épisode 1
2003	6	27	136,8	26,9	13,8	Épisode 2

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin* avec la méthode sans tendance

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
26	13	1	1	50,0 %	54	98,6 %	2

c) Journées avec une surmortalité de plus de 121 % + $0,005t$ et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1984	8	1	135,5	23,0	14,2	Épisode 1
1985	6	23,0	132,7	20,7	9,2	Épisode 2
1988	9	16	164,2	13,6	1,3	Épisode 3
1993	8	26,0	130,0	24,6	14,4	Épisode 4
2003	6	27,0	136,8	26,9	13,8	Épisode 5

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin* avec la méthode avec tendance

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
20	9	4	1	80,0 %	1057	72,3 %	1-2-4-5
22	13	3	2	60,0 %	243	93,6 %	1-4-5
22	14	2	3	40,0 %	149	96,1 %	1-4
26	13	1	4	20,0 %	54	98,6 %	5

Tableau 13 Résultats pour toutes les classes de RSS

a) Compilation des résultats pour tous les cas étudiés en section 6

Classe	Base de données	Méthode	Base de l'indicateur	Valeurs-seuils	Fausses alertes	Épisodes prévus
1	DTCC	ST	(T_{max2j}, T_{min2j})	(33, 20)	4	3/3
		AT				
	DST	ST				
		AT				
2	DTCC	ST	(T_{max}, T_{min})	(32, 19)	9	2/2
		AT	(T_{max2j}, T_{min2j})	(31, 18)	6	3/3
	DST	ST	(T_{max2j}, T_{min2j})			(31, 20)
		AT	(T_{max}, T_{min})	3/5		
3	DTCC	ST	(T_{max}, T_{min})	(30, 16)	30	2/7
		AT			31	1/4
	DST	ST		(33, 18)	1	1/4
		AT		(31, 18)	5	2/5
4	DTCC	ST	(T_{max}, T_{min})	(26, 13)	54	1/1
		AT				1/2
	DST	ST				1/2
		AT				1/5

b) Indication des indicateurs et seuils proposés pour chaque classe (note : les seuils de la classe 4 sont ceux de la classe 3)

Classe	Indicateur	Base de l'indicateur	Seuil (°C)	Nombre de fausses alertes
Classe 1	(t'_1, t'_2)	(T_{max2j}, T_{min2j})	(33, 20)	4
Classe 2	(t'_1, t'_2)	(T_{max2j}, T_{min2j})	(31, 18)	6
Classe 3	(t_1, t_2)	(T_{max}, T_{min})	(31, 18)	5
Classe 4	(t_1, t_2)	(T_{max}, T_{min})	(31, 18)	N/A

Tableau 14 Comparaison des résultats avec et sans l'utilisation des seuils pondérés sur trois jours (section 7)

FA/an représente le nombre de fausses alertes par année. La sensibilité et la spécificité sont définies en fonction des épisodes.

a) Classe 1

			s_1	s_2	Épisodes prévus	Épisodes manqués	Sensibilité	FA/an	Spécificité	α_1	α_2	α_3
DTCC	ST	Pondération optimale	33	20	3/3	0/3	1,00	0,12	0,9992	0,4	0,4	0,2
		Sans pondération	33	21	3/3	0/3	1,00	0,48	0,9969	1,0	0,0	0,0
	AT	Pondération optimale	33	20	3/3	0/3	1,00	0,12	0,9992	0,4	0,4	0,2
		Sans pondération	33	21	3/3	0/3	1,00	0,48	0,9969	1,0	0,0	0,0
DST	ST	Pondération optimale	33	20	3/3	0/3	1,00	0,12	0,9992	0,4	0,4	0,2
		Sans pondération	33	21	3/3	0/3	1,00	0,48	0,9969	1,0	0,0	0,0
	AT	Pondération optimale	33	20	3/3	0/3	1,00	0,12	0,9992	0,4	0,4	0,2
		Sans pondération	33	21	3/3	0/3	1,00	0,48	0,9969	1,0	0,0	0,0

b) Classe 2

			s_1	s_2	Épisodes prévus	Épisodes manqués	Sensibilité	FA/an	Spécificité	α_1	α_2	α_3
DTCC	ST	Pondération optimale	31	19	2/2	0/2	1,00	0,12	0,9992	0,4	0,4	0,2
		Sans pondération	32	19	2/2	0/2	1,00	0,28	0,9982	1,0	0,0	0,0
	AT	Pondération optimale	31	19	3/3	0/3	1,00	0,08	0,9995	0,4	0,4	0,2
		Sans pondération	31	18	3/3	0/3	1,00	0,84	0,9945	1,0	0,0	0,0
DST	ST	Pondération optimale	32	19	2/2	0/2	1,00	0,04	0,9997	0,4	0,4	0,2
		Sans pondération	32	19	2/2	0/2	1,00	0,28	0,9982	1,0	0,0	0,0
	AT	Pondération optimale	28	20	4/5	1/5	0,80	0,52	0,9966	1,0	0,0	0,0
		Sans pondération	28	20	4/5	1/5	0,80	0,52	0,9966	1,0	0,0	0,0

c) Classe 3

			s_1	s_2	Épisodes prévus	Épisodes manqués	Sensibilité	FA/an	Spécificité	α_1	α_2	α_3
DTCC	ST	Pondération optimale	30	15	2/7	5/7	0,29	0,84	0,9945	0,9	0,1	0,0
		Sans pondération	30	16	2/7	5/7	0,29	0,92	0,9940	1,0	0,0	0,0
	AT	Pondération optimale	30	15	1/4	3/4	0,25	0,88	0,9942	0,9	0,1	0,0
		Sans pondération	30	16	1/4	3/4	0,25	0,96	0,9937	1,0	0,0	0,0
DST	ST	Pondération optimale	33	18	1/4	3/4	0,25	0,04	0,9997	1,0	0,0	0,0
		Sans pondération	33	18	1/4	3/4	0,25	0,04	0,9997	1,0	0,0	0,0
	AT	Pondération optimale	31	16	2/5	3/5	0,40	0,08	0,9995	0,4	0,4	0,2
		Sans pondération	31	18	2/5	3/5	0,40	0,12	0,9992	1,0	0,0	0,0

Tableau 15 Indicateurs pondérés et valeurs-seuils proposés pour chaque classe

FA/an représente le nombre de fausses alertes par année. La sensibilité et la spécificité sont définies en fonction des épisodes. (Note : les seuils de la classe 4 sont ceux de la classe 3).

Classe	Indicateur	Pondération			Seuils (°C)	FA/an
		α_1	α_2	α_3		
Classe 1	(s_1, s_2)	0,4	0,4	0,2	(33, 20)	0,12
Classe 2	(s_1, s_2)	0,4	0,4	0,2	(31, 19)	0,08
Classe 3	(s_1, s_2)	0,4	0,4	0,2	(31, 16)	0,08
Classe 4	(s_1, s_2)	0,4	0,4	0,2	(31, 16)	N/A

Tableau 16 Vérification des indicateurs et valeurs-seuils proposés pour chaque classe

SP = station phare

ND = non disponible

Hx = Humidex

	RSS	No référence Figure 16	Nom de la SP	Indicateurs uniformes		Indicateurs pondérés		Années disponibles (sauf Hx)	Épisodes de surmortalité sur ces années	Années disponibles pour Hx	Épisodes de surmortalité sur ces années
				Alertes/an sans Hx	Alertes/an avec Hx	Alertes/an sans Hx	Alertes/an avec Hx				
Classe 1	6	1	Mc TAVISH	4/11	3/11	2/11	1/11	1995-2005	1	1995-2005	1
Classe 2*	14	8	L'ASSOMPTION	5/25	1/11	3/25	0/11	1981-2005	4	1995-2005	1
	16	11	L'ACADIE	2/11	0/11	2/11	0/11	1995-2005	1	1995-2005	1
Classe 2	4	2	TROIS-RIVIERES	3/12	2/12	1/12	1/12	1994-2005	2	1994-2005	2
	4	3	LEMIEUX	1/7	1/7	1/7	1/7	1999-2005	1	1999-2005	1
	4	4	LA TUQUE	4/11	3/11	1/11	1/11	1995-2005	1	1995-2005	1
	5	5	SHERBROOKE	6/25	4/25	3/25	3/25	1981-2005	4	1981-2005	4
	7	6	HIGH FALLS	3/7	1/7	1/7	1/7	1999-2005	1	1999-2005	1
	12	7	BEUCEVILLE	2/11	ND	1/11	ND	1995-2005	1	ND	ND
	14	8	L'ASSOMPTION	31/25	7/11	12/25	3/11	1981-2005	4	1995-2005	1
	14	9	SAINT-MICHEL-DES-SAINTS	3/25	ND	1/25	ND	1981-2005	4	ND	ND
	15	10	SAINT-JOVITE	1/11	1/11	0/11	0/11	1995-2005	1	1995-2005	1
	16	11	L'ACADIE	16/11	5/11	7/11	2/11	1995-2005	1	1995-2005	1
	16	12	SAINT-ANICET	42/25	ND	29/25	ND	1981-2005	4	1981-2005	4
Classe 3	2	13	BAGOTVILLE	22/25	11/25	12/25	1/25	1981-2005	3	1981-2005	3
	2	14	ROBERVAL	31/25	14/25	10/25	1/25	1981-2005	3	1981-2005	3
	3	15	JEAN-LESAGE	8/13	1/1	5/13	0/1	1993-2005	2	2005	0
	3	16	FORÊT MONTMORENCY	0/2	ND	0/2	ND	2004-2005	0	ND	ND
	3	17	CHARLEVOIX	0/8	ND	0/8	ND	1998-2005	1	ND	ND
	8	18	BARRAGE TÉMISCAMINGUE	18/25	5/8	20/25	1/8	1981-2005	3	1998-2005	1
	8	19	VAL D'OR	16/25	5/25	12/25	1/25	1981-2005	3	1981-2005	3

* RSS de la classe 2 auxquelles sont appliqués les pondérations et seuils de la classe 1.

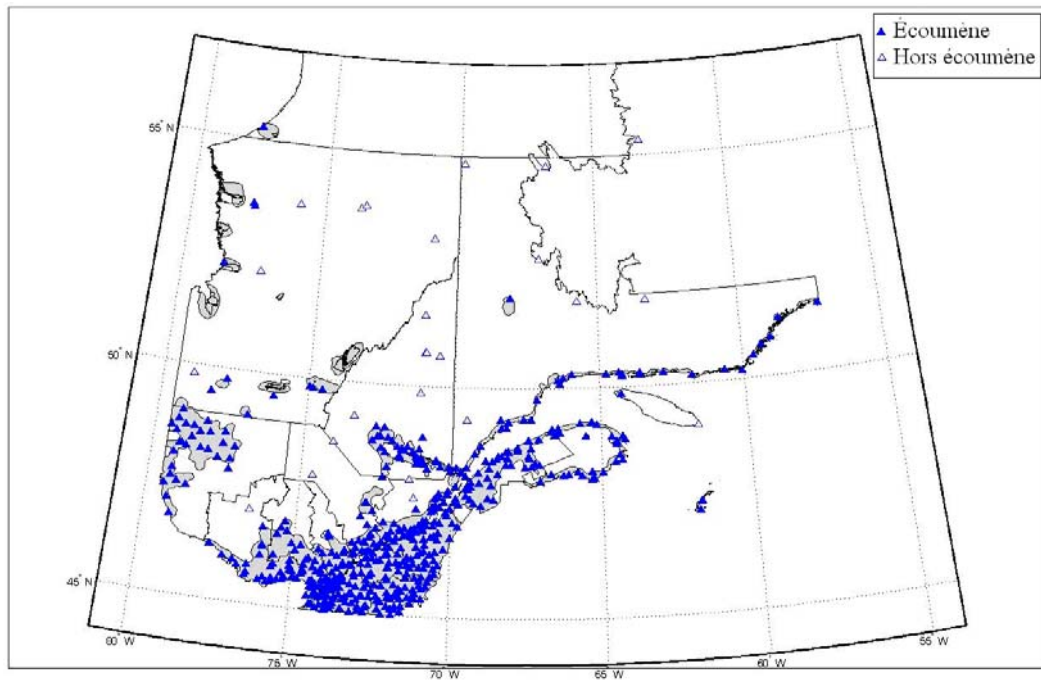
Tableau 17 Station de prévision correspondant aux stations phares (SP) proposées pour chaque classe, avec la pondération de l'indicateur et ses valeurs-seuils

	RSS	Nom station phare (EC)	Pondération			Seuil (°C)	Seuil d'Humidex
			α_1	α_2	α_3		
Classe 1	6	Mc TAVISH	0,4	0,4	0,2	(33, 20)	40
Classe 2*	14	L'ASSOMPTION	0,4	0,4	0,2	(33, 20)	40
	16	L'ACADIE					
Classe 2	4	TROIS-RIVIÈRES	0,5	0,5	0	(31, 18)	40
		LEMIEUX					
		LA TUQUE					
	5	SHERBROOKE					
	7	HIGH FALLS CS					
	12	BEAUCEVILLE					
15	SAINT-JOVITE						
Classe 3	2	BAGOTVILLE	0,4	0,4	0,2	(31, 16)	37
		ROBERVAL					
	3	JEAN-LESAGE					
	8	BARRAGE TÉMISCAMINGUE					
VAL D'OR							

* RSS de la classe 2 auxquelles sont appliqués les pondérations et seuils de la classe 1.

FIGURES

a)



b)

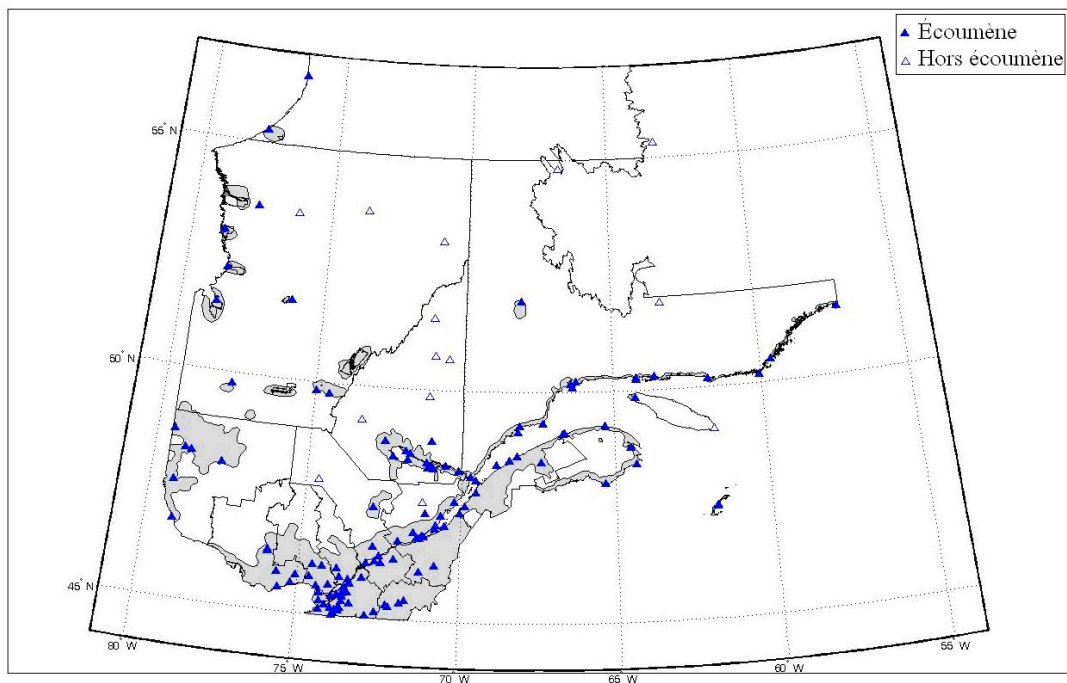
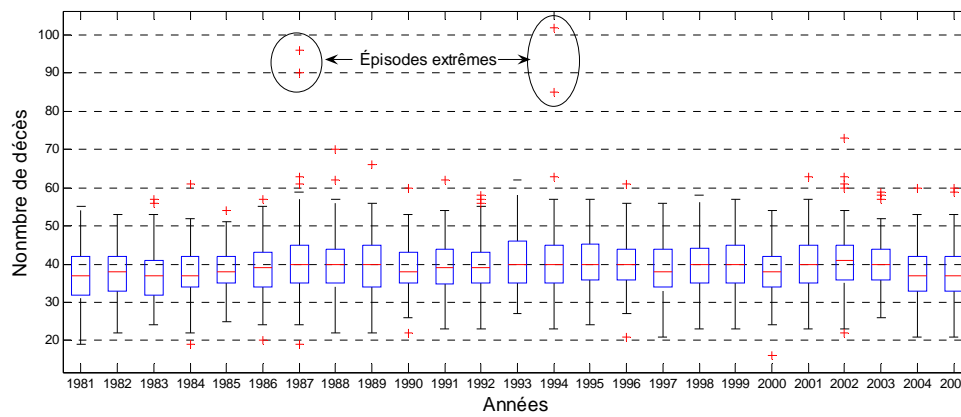


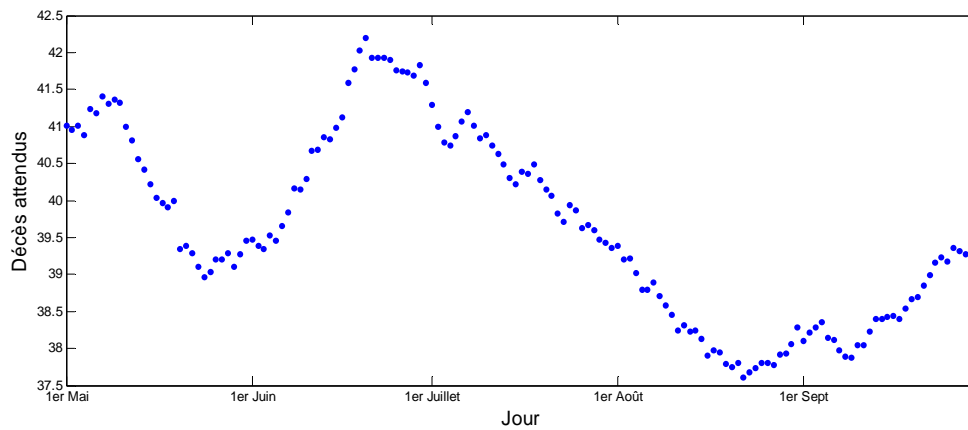
Figure 1 Position des stations météorologiques

a) journalières; b) horaires disponibles.

a)



b)



c)

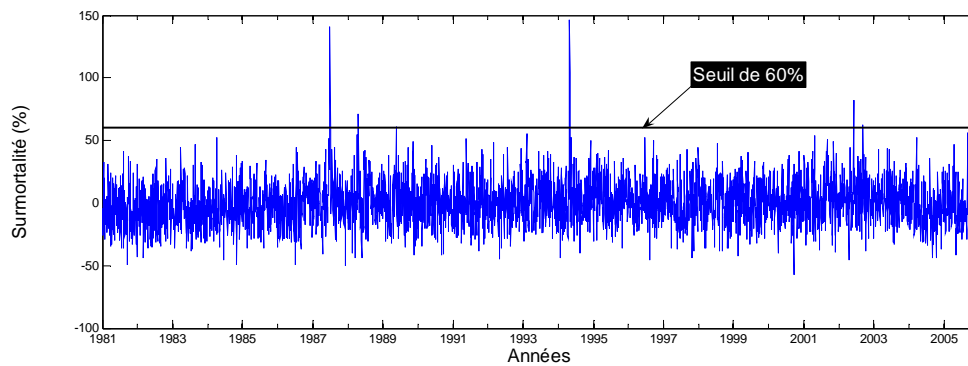
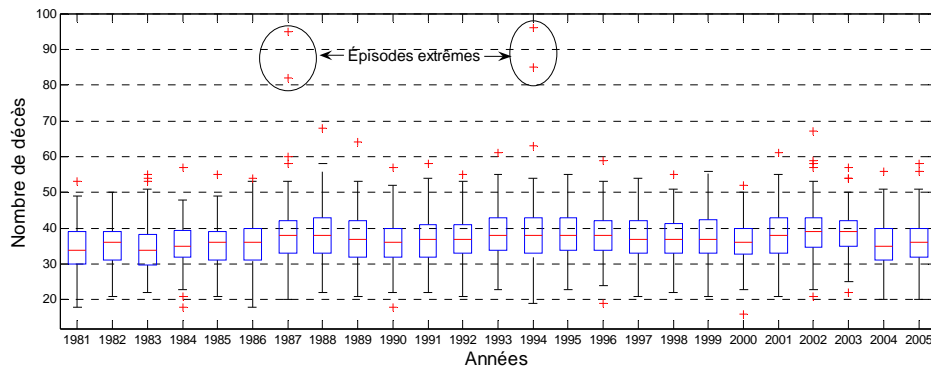


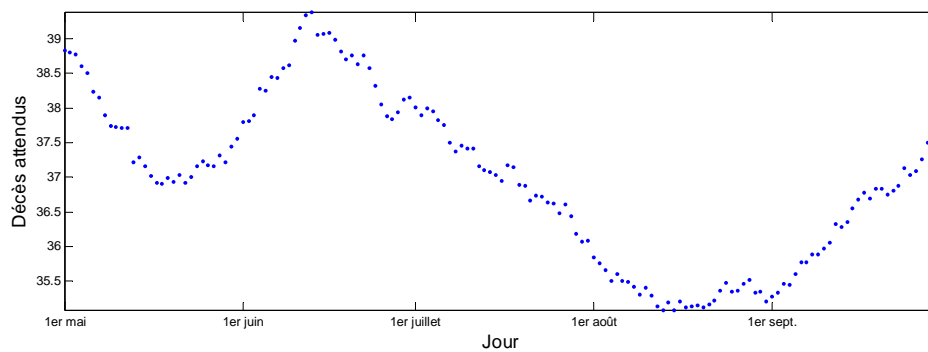
Figure 2 Résultats pour l'étude de Montréal avec décès toutes causes confondues

a) diagramme en boîte de la mortalité quotidienne, mois de mai à septembre; b) décès attendus par jour, mois de mai à septembre; c) surmortalité journalière mois de mai à septembre.

a)



b)



c)

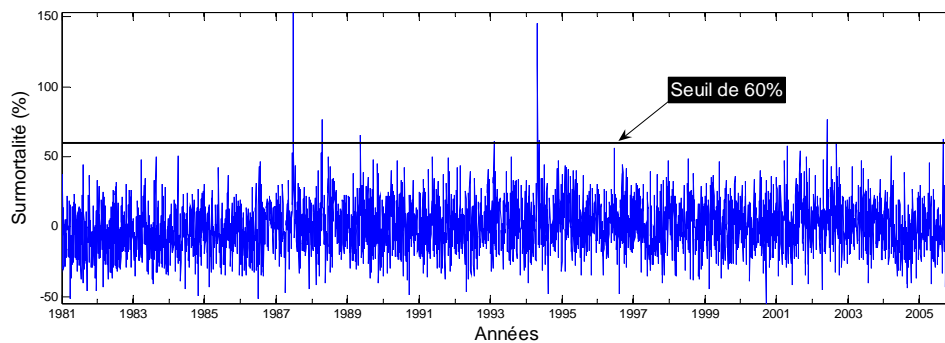


Figure 3 Résultats pour l'étude de Montréal avec décès sans traumas

a) diagramme en boîte de la mortalité quotidienne, mois de mai à septembre;
b) décès attendus par jour, mois de mai à septembre; c) surmortalité journalière
mois de mai à septembre.

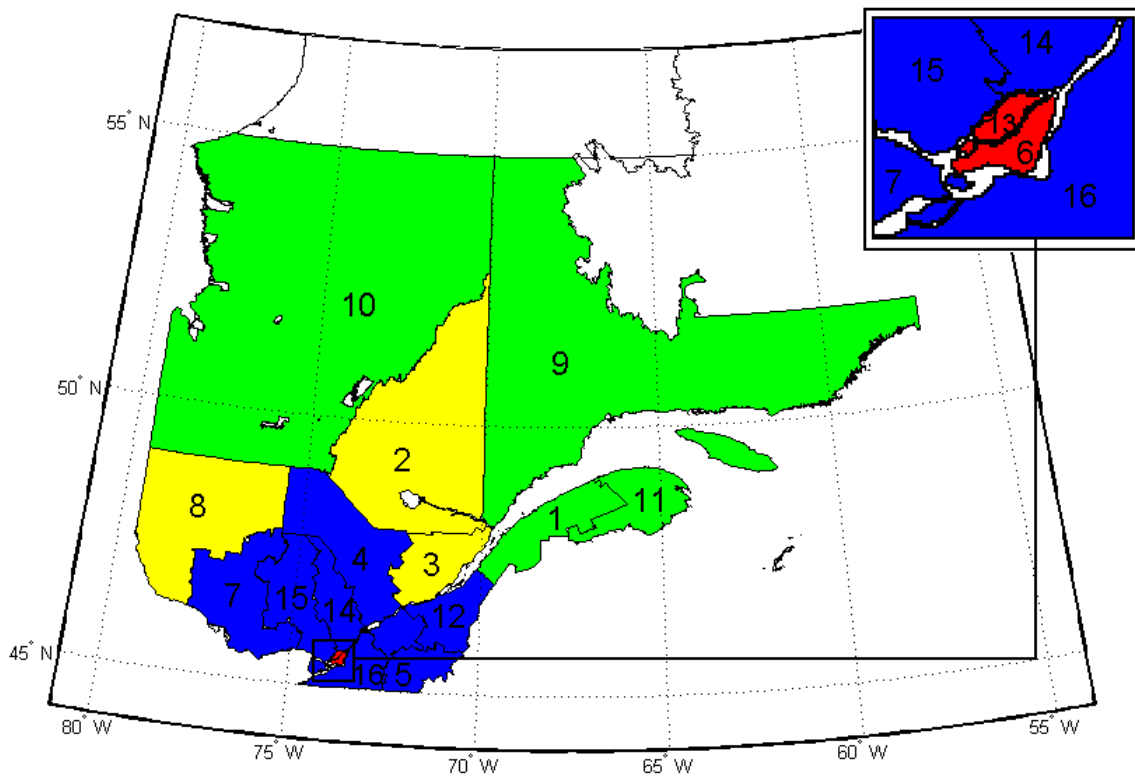


Figure 4 Regroupement des RSS utilisé dans la présente étude

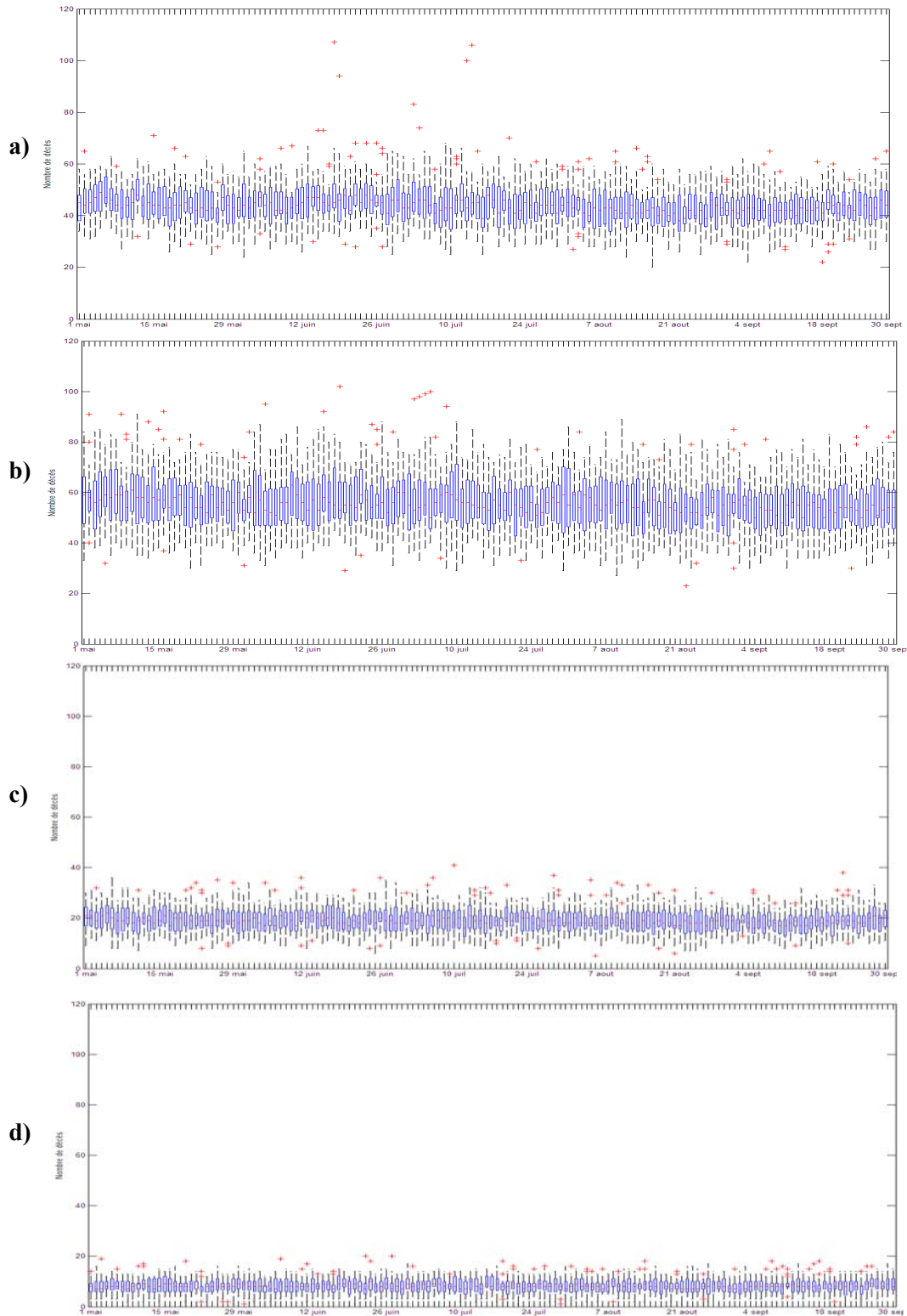


Figure 5 Diagrammes en boîte des décès journaliers des mois de mai à septembre

a) classe 1; b) classe 2; c) classe 3; d) classe 4.

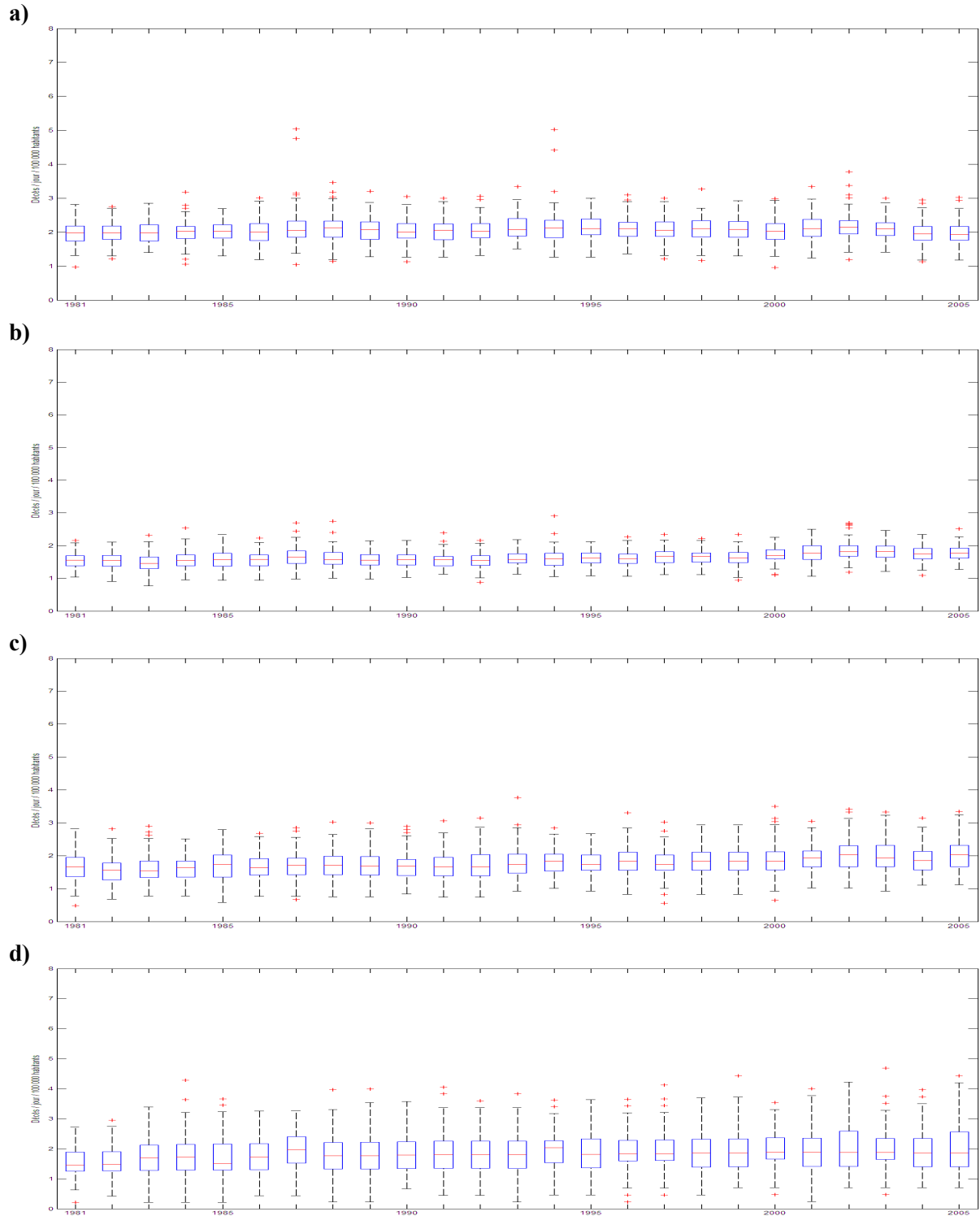


Figure 6 Diagrammes en boîte des taux de mortalité quotidiens des mois de mai à septembre

a) classe 1; b) classe 2; c) classe 3; d) classe 4.

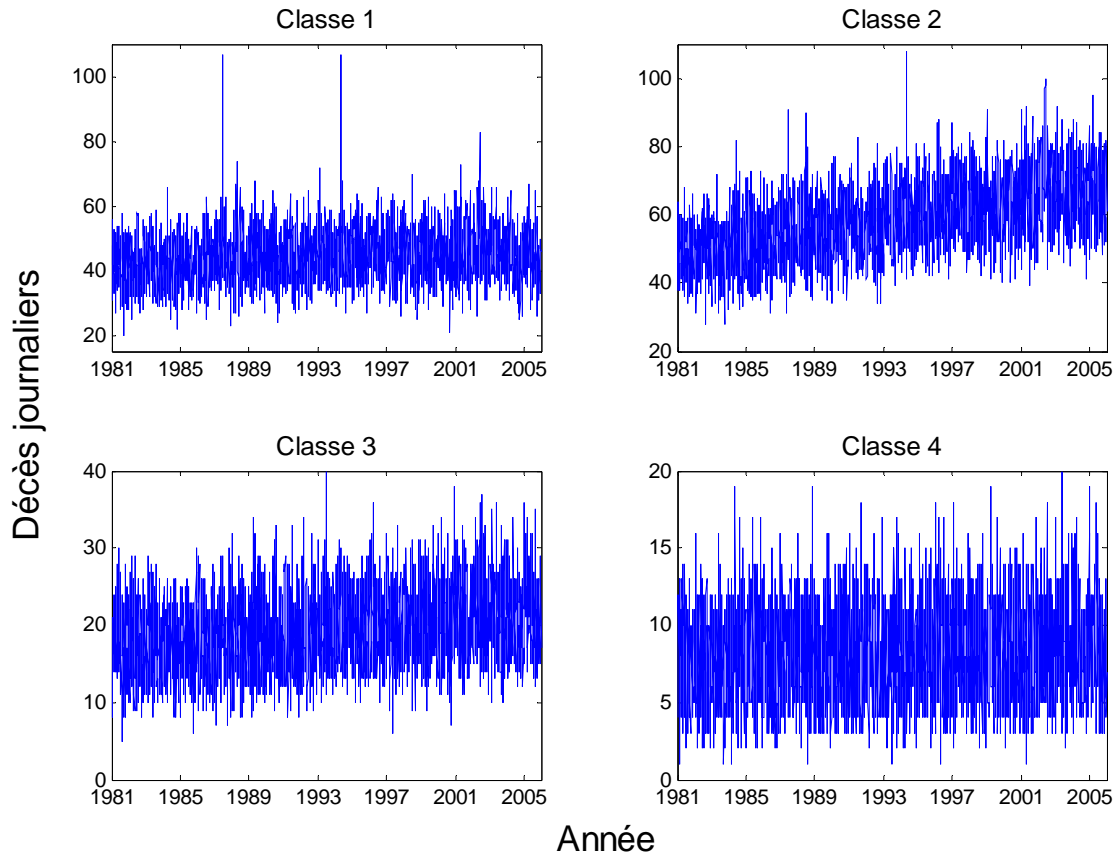
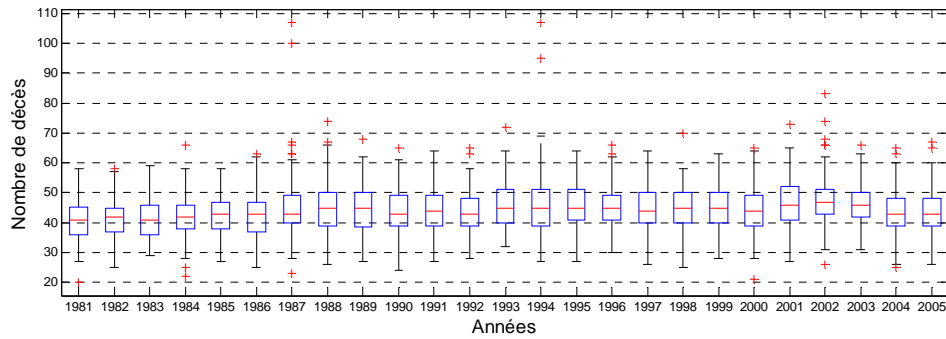
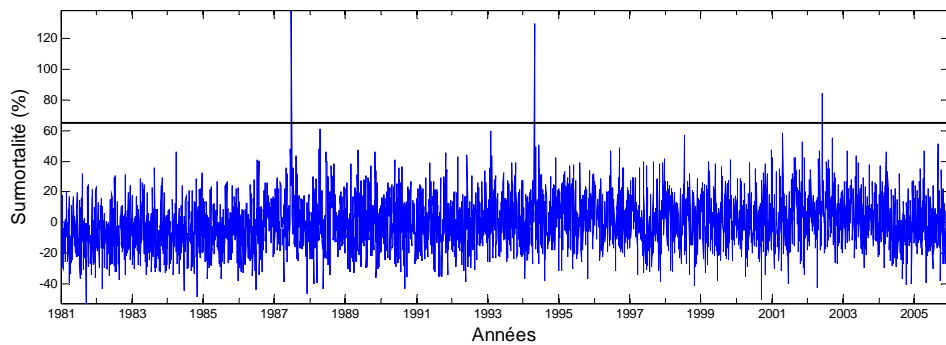


Figure 7 Décès journaliers des mois de mai à septembre de chaque classe de RSS

a)



b)



c)

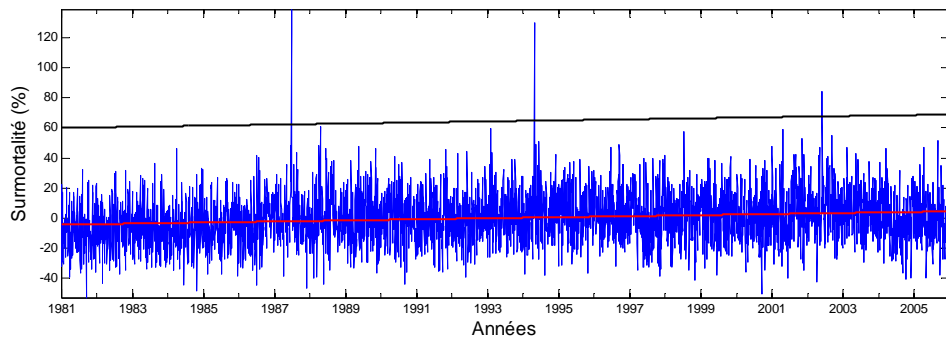
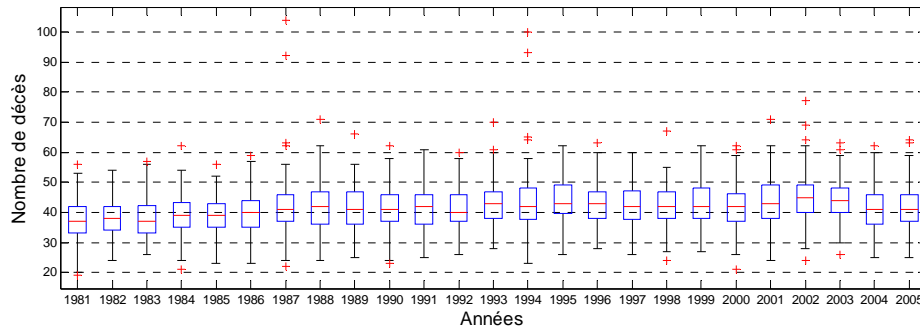


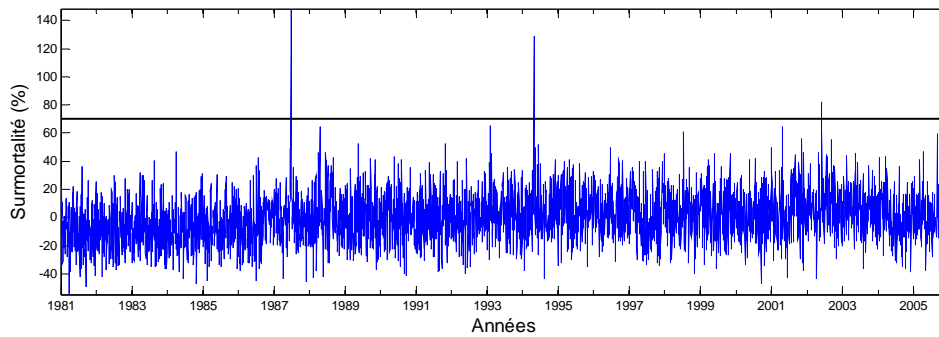
Figure 8 Résultats pour l'étude de la classe 1 avec décès toutes causes confondues

a) diagramme en boîte de la mortalité quotidienne; b) surmortalité journalière avec la méthode sans tendance; c) surmortalité journalière avec la méthode avec tendance.

a)



b)



c)

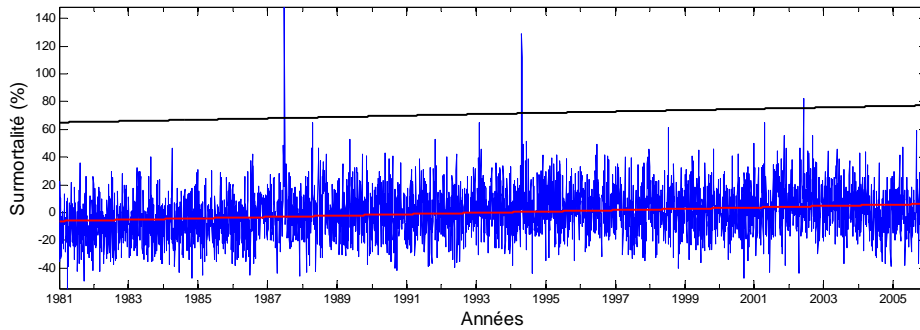
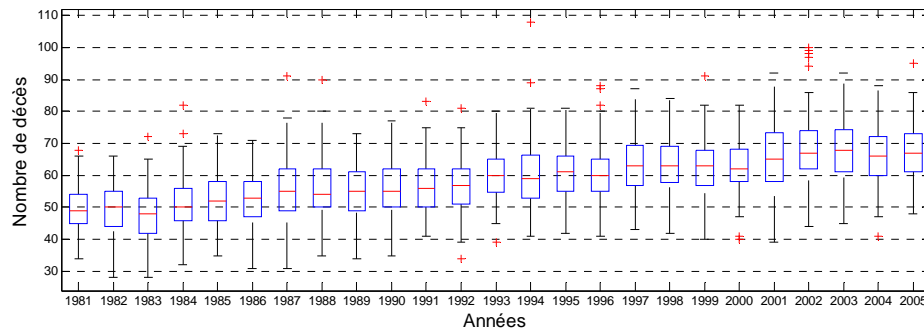


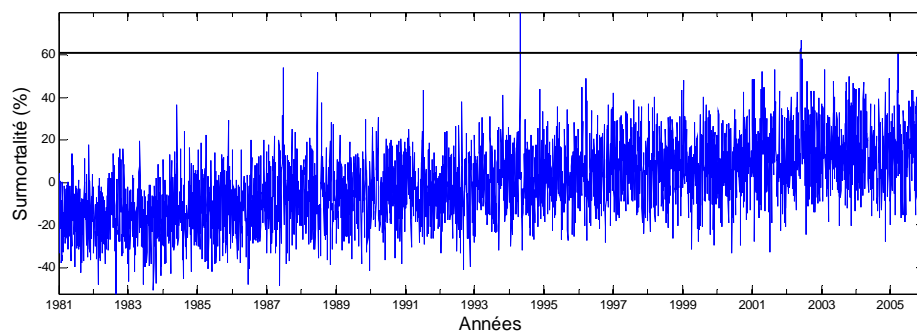
Figure 9 Résultats pour l'étude de la classe 1 avec décès sans traumatismes

a) diagramme en boîte de la mortalité quotidienne; b) surmortalité journalière avec la méthode sans tendance; c) surmortalité journalière avec la méthode avec tendance.

a)



b)



c)

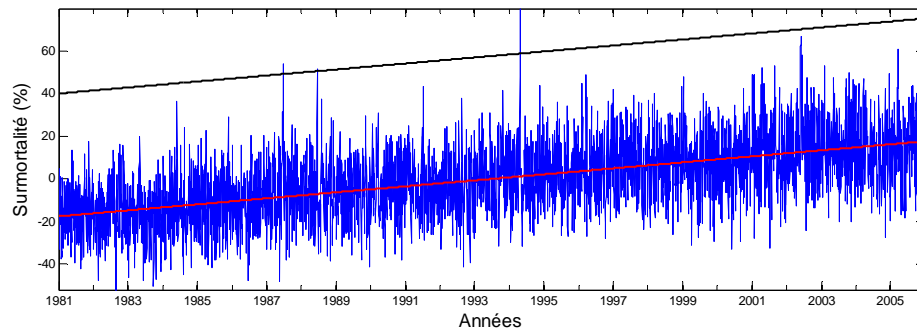
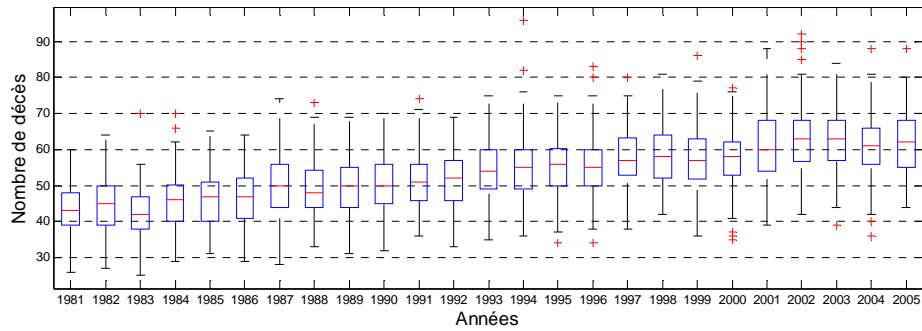


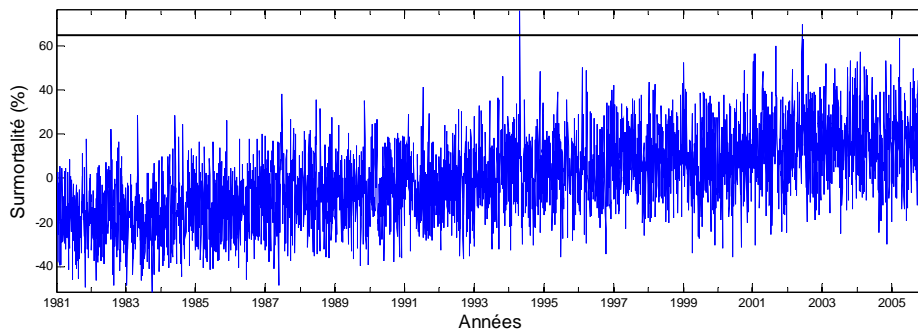
Figure 10 Résultats pour l'étude de la classe 2 avec décès toutes causes confondues

a) diagramme en boîte de la mortalité quotidienne; b) surmortalité journalière avec la méthode sans tendance; c) surmortalité journalière avec la méthode avec tendance.

a)



b)



c)

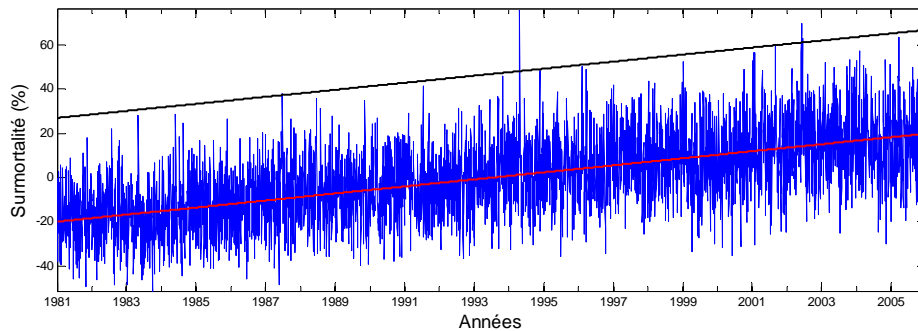
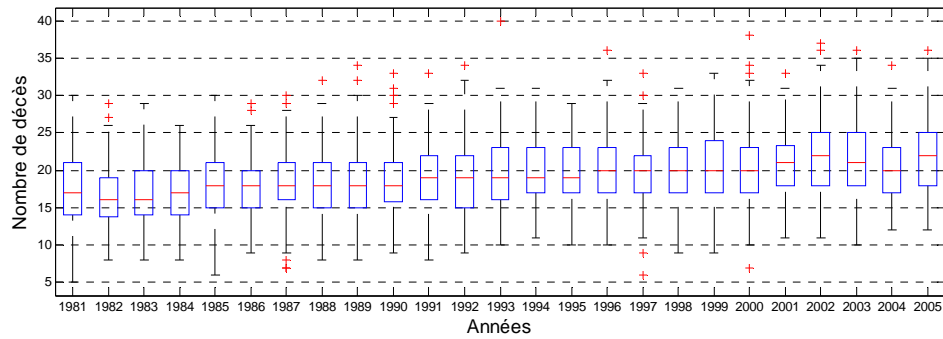


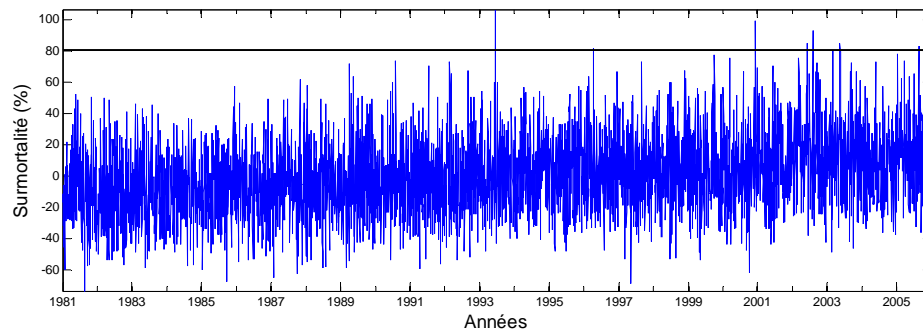
Figure 11 Résultats pour l'étude de la classe 2 avec décès sans traumatismes

a) diagramme en boîte de la mortalité quotidienne; b) surmortalité journalière avec la méthode sans tendance; c) surmortalité journalière avec la méthode avec tendance.

a)



b)



c)

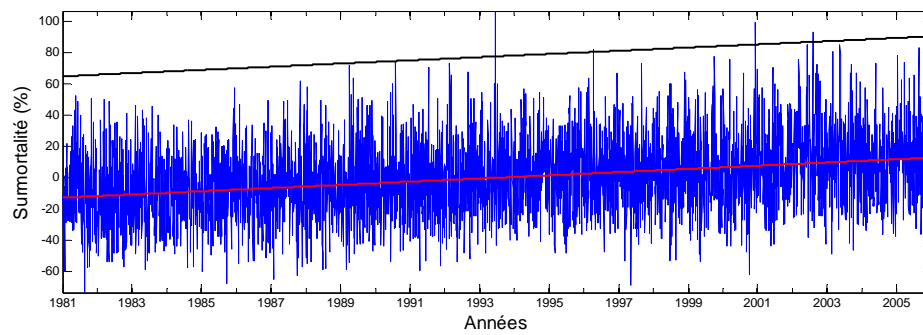
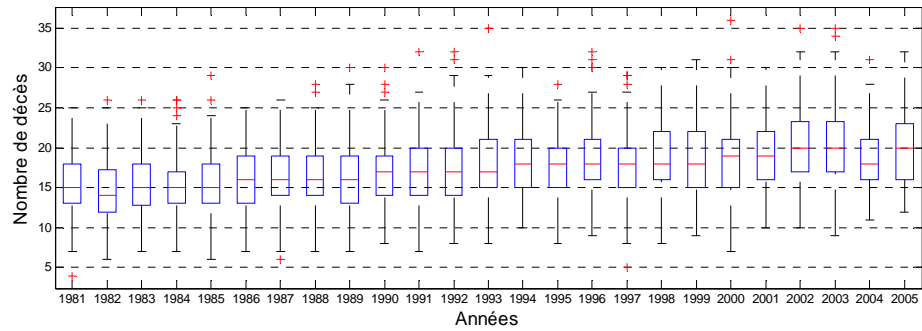


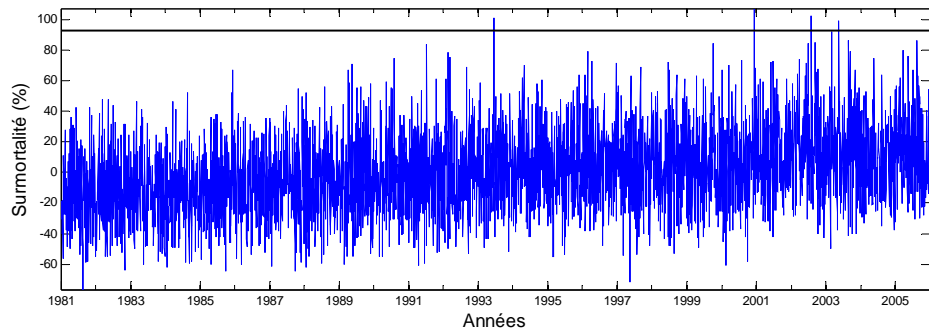
Figure 12 Résultats pour l'étude de la classe 3 avec décès toutes causes confondues

a) diagramme en boîte de la mortalité quotidienne; b) surmortalité journalière avec la méthode sans tendance; c) surmortalité journalière avec la méthode avec tendance.

a)



b)



c)

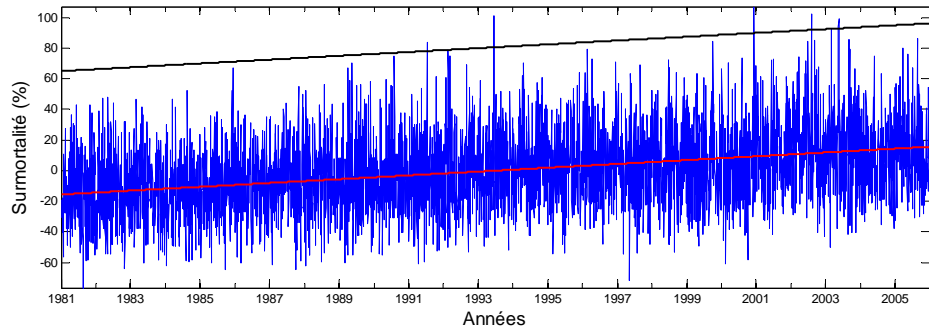
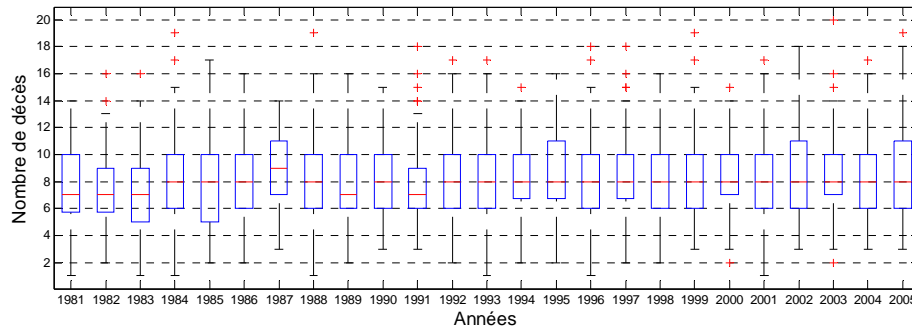


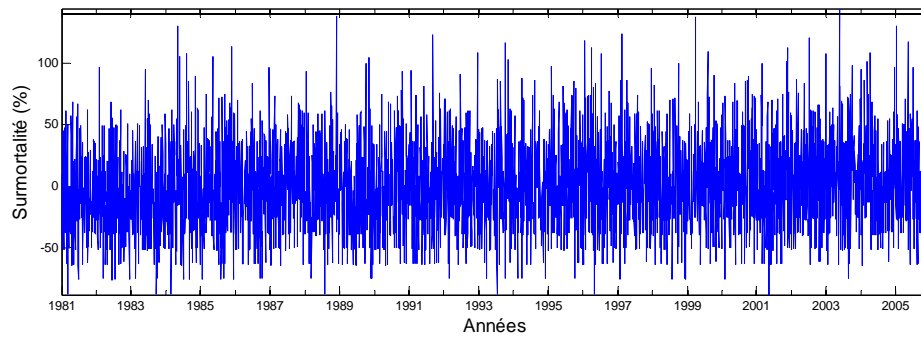
Figure 13 Résultats pour l'étude de la classe 3 avec décès sans traumatismes

a) diagramme en boîte de la mortalité quotidienne; b) surmortalité journalière avec la méthode sans tendance; c) surmortalité journalière avec la méthode avec tendance.

a)



b)



c)

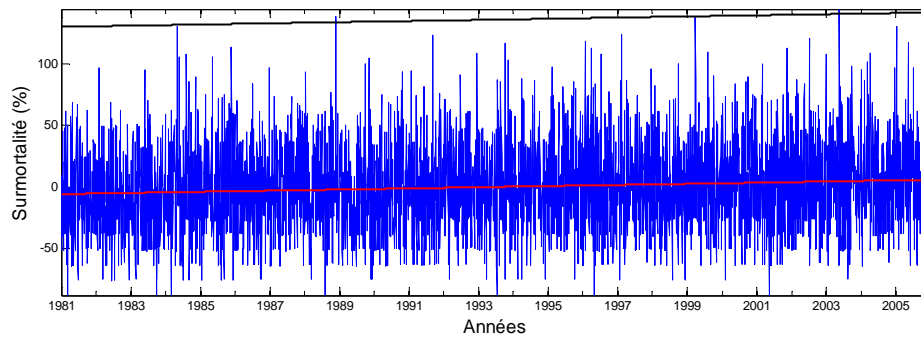
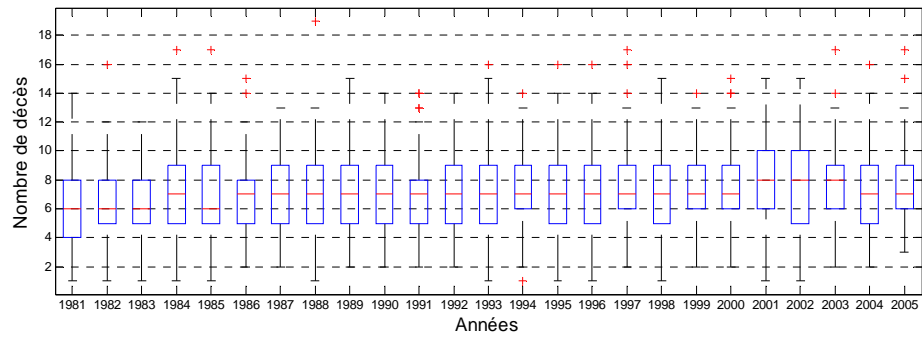


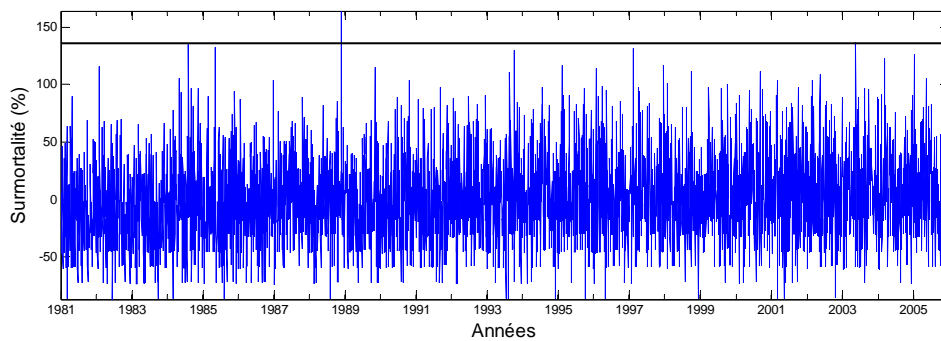
Figure 14 Résultats pour l'étude de la classe 4 avec décès toutes causes confondues

a) diagramme en boîte de la mortalité quotidienne; b) surmortalité journalière avec la méthode sans tendance; c) surmortalité journalière avec la méthode avec tendance.

a)



b)



c)

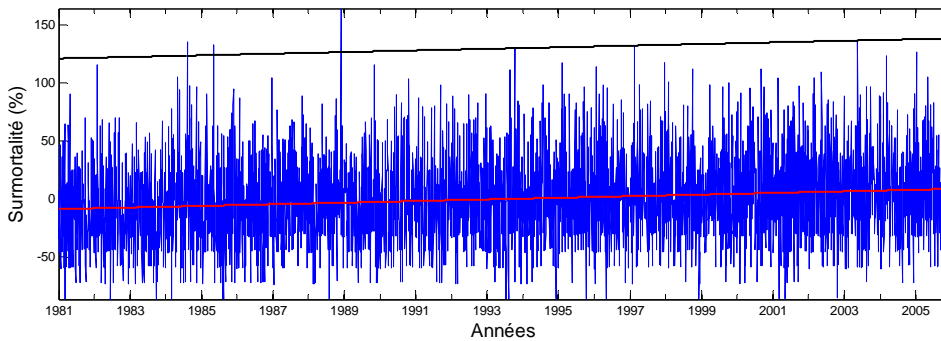


Figure 15 Résultats pour l'étude de la classe 4 avec décès sans traumatismes

a) diagramme en boîte de la mortalité quotidienne; b) surmortalité journalière avec la méthode sans tendance; c) surmortalité journalière avec la méthode avec tendance.

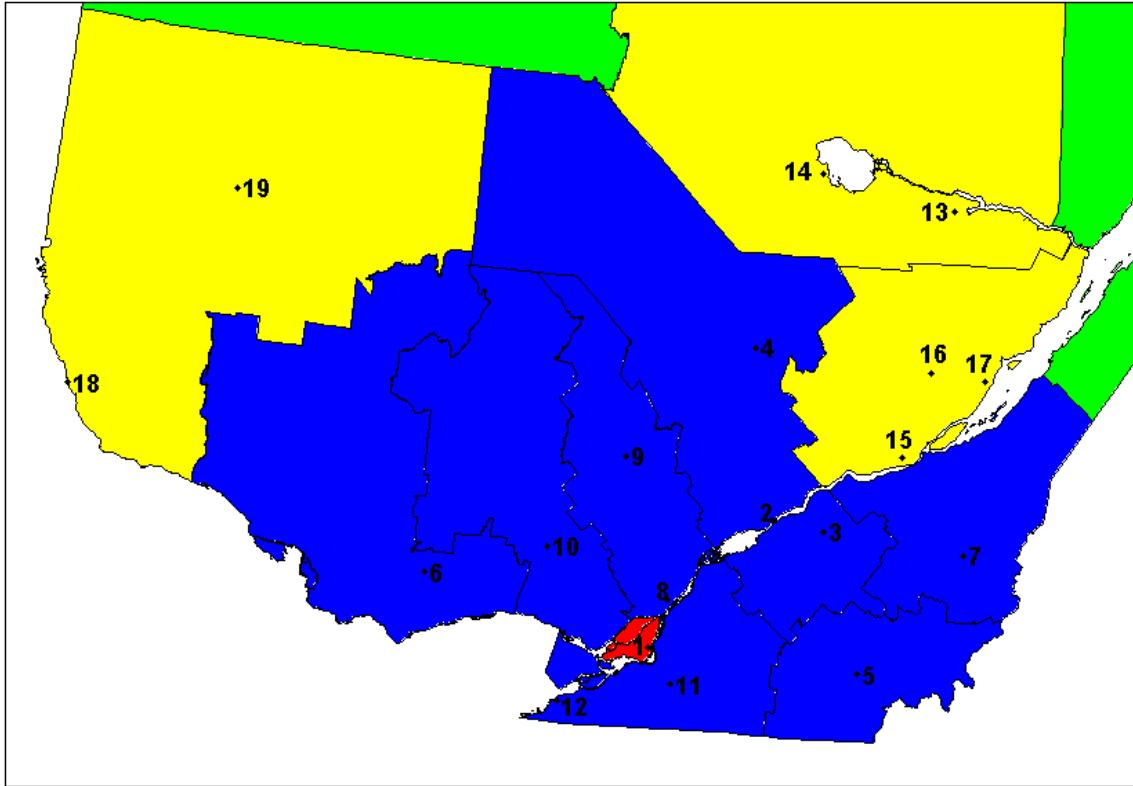


Figure 16 Position des stations phares

BIBLIOGRAPHIE

- Gérardin, V. et McKenney, D. [rédacteurs] (2001). Une classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : vers une définition des bioclimats du Québec, 48 pages, ISBN 2-550-38100-9.
- Laaidi, K. et Pascal, M. [rédacteurs] (2004). Système d'alerte canicule et santé 2004. Rapport opérationnel, Institut national de veille sanitaire de France (InVS), 35 pages, http://www.invs.sante.fr/publications/2004/syst_alerte_canicule/rapport_SACS_2004.pdf.
- Litvak, E., Fortier, I., Gouillou, G., Jehanno, A. et Kosatsky, T. (2005). Programme de vigie et de prévention des effets de la chaleur accablante à Montréal, Automne 2005, Direction de santé publique de Montréal (DSPM), 33 pages, ISBN 2-89494-468-3.
- Nicholls N., Skinner C., Loughnan M., Tapper N. (2008). "A simple heat alert system for Melbourne, Australia", *Inter J Biometeorol*, 52, 375-384.
- Pascal M., Laaidi K., Ledrans M., Baffert E., Caserio-Schönemann C., Le Tertre A., Manach J., Medina S., Rudant J., Empereur-Bissonnet P. (2006). "France's heat health watch warning system", *Inter J Biometeorol*, 50, 144-153.
- Saporta, G. (2006). Probabilités, analyse des données et statistiques, Éditions Technip, Paris, France, ISBN 2-7108-0814-5.
- Ward, J.H.J. (1963). "Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function", *J. Am. Stat. Ass*, 58, 236-244.
- Weisskopf M. G., Anderson H. A., Foldy S., Hanrahan L. P., Blair K., Torok T. J., Rumm P. D. (2002). "Heat Wave Morbidity and Mortality, Milwaukee, Wis, 1999 vs 1995, An Improved Response?", *Am J Public Health*, 92, 830-833.

ANNEXE A

DÉFINITION DE L'HUMIDEX

DÉFINITION DE L'HUMIDEX

Calcul de l'Humidex, selon le site d'Environnement Canada :

http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/prods_servs/glossary_f.html#h
(Consulté le 19 octobre 2009)

L'Humidex est un indice indiquant le degré de chaleur et d'humidité ressenti par un individu moyen. On l'établit en combinant les valeurs de la température et de l'humidité en un chiffre unique qui représente la température ressentie. Par exemple, un indice Humidex de 40 signifie que, lorsque la température est de 30 degrés et l'air humide, les conditions ressenties sont plus ou moins les mêmes que lorsque la température est de 40 degrés et l'air sec. La formule standard de calcul de l'indice Humidex utilisée par Environnement Canada est la suivante :

indice Humidex = (température de l'air) + h

$$h = (0,5555) * (e - 10,0)$$

e = pression de vapeur en hPa (mbar), donnée par :

$$e = 6,11 * \exp [5417,7530 * ((1/273,16) - (1/\text{point de rosée}))]$$

où le point de rosée est exprimé en kelvins (température en K = température en °C + 273,1) et 5417,7530 est une constante arrondie basée sur le poids moléculaire de l'eau, sur la chaleur latente d'évaporation et sur la constante des gaz parfaits.

ANNEXE B
CALCUL DE LA SURMORTALITÉ

CALCUL DE LA SURMORTALITÉ

Calcul de la surmortalité selon Litvak *et al.* (2005) :

$$\text{Surmortalité}_{i,j} = \frac{DO_{i,j} - DA_i}{DA_i} * 100$$

où $DO_{i,j}$ est le nombre de décès observés au jour i de l'année j et DA_i est le nombre de décès attendus au jour i . La valeur de DA_i est calculée, à partir du nombre de décès journaliers observé, par :

- moyenne mobile sur le nombre quotidien de décès, avec une fenêtre de 15 jours;
- moyenne par date de calendrier sur toutes les années de données disponibles.

ANNEXE C
SPÉCIFICITÉ ET SENSIBILITÉ

SPÉCIFICITÉ ET SENSIBILITÉ

On utilise la spécificité et la sensibilité comme critères de comparaison. Ces deux indices sont adoptés par Litvak *et al.* (2005) et se déterminent ainsi :

- spécificité : probabilité de ne pas prédire d’alerte lorsqu’il n’y en aura pas : $D/(B + D)$;
- sensibilité : probabilité de prédire une alerte lorsqu’il y en aura une : $A/(A + C)$.

Tableau C1 Représentation des variables pour le calcul de la surmortalité

	Historique = Alerte	Historique = Pas d’alerte
Prédiction = Alerte	Nb de vraies alertes (vrai positif) A	Nb de fausses alertes (faux positif) B
Prédiction = Pas d’alerte	Nb d’alertes ratées (faux négatif) C	Nb d’aucune alerte (vrai négatif) D

ANNEXE D

DÉTERMINATION DES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

DÉTERMINATION DES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

D.1 Données météorologiques journalières

On calcule de la température moyenne journalière, pour une station k :

$$Tmoy_{i,k} = \frac{1}{2}(Tmin_{i,k} + Tmax_{i,k}) \quad \text{pour une journée } i.$$

On calcule des statistiques pour une RSS composée de n stations :

$$Tmin_i = \frac{1}{n} \sum_k^n Tmin_{i,k}$$

$$Tmax_i = \frac{1}{n} \sum_k^n Tmax_{i,k} \quad \text{pour une journée } i.$$

$$Tmoy_i = \frac{1}{n} \sum_k^n Tmoy_{i,k}$$

D.2 Données météorologiques horaires

On définit la moyenne spatiale des stations d'une RSS par :

$$S_{i,j} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{i,j,k}$$

où $x_{i,j,k}$ est la température ou l'humidité relative, pour une journée i , une heure j et n stations k .

On calcule les statistiques pour les m heures de données disponibles :

$$Tmoy_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_{i,j}$$

$$Tmin_i = \min_i(S_{i,j})$$

$$Tmax_i = \max_i(S_{i,j}) \quad \text{pour une journée } i.$$

$$Hmoy_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_{i,j}$$

$$Hmin_i = S_{i,15}$$

$$Hmax_i = S_{i,6}$$

ANNEXE E

AUTRES SEUILS DE SURMORTALITÉ POUR MONTRÉAL

Tableau E1 Résultats pour l'étude de Montréal avec décès toutes causes confondues

a) Journées avec une surmortalité de plus de 61 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	
1987	7	13	123,6	33,8	24,0	Épisode 1
1987	7	14	142,2	29,4	19,4	
1988	6	15	73,0	33,8	20,8	Épisode 2
1994	6	18	145,0	34,0	20,8	Épisode 3
1994	6	19	105,6	27,6	18,0	
2002	7	3	80,8	34,0	24,4	Épisode 4
2002	8	14	61,5	35,0	21,6	Épisode 5

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur Tmax et Tmin

Tmax	Tmin	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausse alertes	Spécificité	Épisodes prévus
27	17	7	0	100,0 %	521	86,4 %	1-2-3-4-5
29	19	6	1	85,7 %	185	95,2 %	1-2-3-4-5
33	20	5	2	71,4 %	19	99,5 %	1-2-3-4-5
33	21	3	4	42,9 %	17	99,6 %	1-4-5
34	20	2	5	28,6 %	1	100,0 %	3-5
35	21	1	6	14,3 %	0	100,0 %	5
40	30	0	7	0,0 %	0	100,0 %	

c) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur Tmax2j et Tmin2j

Tmax2j	Tmin2j	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausse alertes	Spécificité	Épisodes prévus
30	18	7	0	100,0 %	104	97,3 %	1-2-3-4-5
31	18	6	1	85,7 %	48	98,7 %	1-2-3-4-5
31	19	5	2	71,4 %	40	99,0 %	1-3-4-5
31	21	4	3	57,1 %	13	99,7 %	1-4-5
32	21	3	4	42,9 %	8	99,8 %	1-4-5
33	21	2	5	28,6 %	0	100,0 %	1-5
33	23	1	6	14,3 %	0	100,0 %	1
40	30	0	7	0,0 %	0	100,0 %	

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur Tmax3j et Tmin3j

Tmax3j	Tmin3j	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausse alertes	Spécificité	Épisodes prévus
28	15	7	0	100,0 %	313	91,8 %	1-2-3-4-5
29	17	6	1	85,7 %	113	97,0 %	1-3-4-5
30	17	5	2	71,4 %	35	99,1 %	1-3-4-5
30	19	4	3	57,1 %	23	99,4 %	1-4-5
30	20	3	4	42,9 %	14	99,6 %	1-4
31	19	2	5	28,6 %	6	99,8 %	1-5
31	21	1	6	14,3 %	0	100,0 %	1
40	30	0	7	0,0 %	0	100,0 %	

Tableau E2 Résultats pour l'étude de Montréal avec décès sans traumas

a) Journées avec une surmortalité de plus de 70 % et épisodes correspondants

Année	Mois	Jour	Surmortalité (%)	<i>Tmax</i> (°C)	<i>Tmin</i> (°C)	
1987	7	13	117,2	33,8	24,0	Épisode 1
1987	7	14	153,3	29,4	19,4	
1988	6	15	76,3	33,8	20,8	Épisode 2
1994	6	18	145,2	34,0	20,8	Épisode 3
1994	6	19	116,1	27,6	18,0	
2002	7	3	76,9	34,0	24,4	Épisode 4

b) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax* et *Tmin*

<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
27	17	6	0	100,0 %	522	86,3 %	1-2-3-4
29	19	5	1	83,3 %	186	95,1 %	1-2-3-4
33	20	4	2	66,7 %	20	99,5 %	1-2-3-4
33	24	2	4	33,3 %	3	99,9 %	1-4
34	20	1	5	16,7 %	2	99,9 %	3
40	30	0	6	0,0 %	0	100,0 %	

c) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax2j* et *Tmin2j*

<i>Tmax2j</i>	<i>Tmin2j</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
30	18	6	0	100,0 %	105	97,3 %	1-2-3-4
31	18	5	1	83,3 %	49	98,7 %	1-2-3-4
31	19	4	2	66,7 %	41	98,9 %	1-3-4
31	21	3	3	50,0 %	14	99,6 %	1-4
32	23	2	4	33,3 %	0	100,0 %	1-4
33	23	1	5	16,7 %	0	100,0 %	1
40	30	0	6	0,0 %	0	100,0 %	

d) Seuils optimaux avec un indicateur basé sur *Tmax3j* et *Tmin3j*

<i>Tmax3j</i>	<i>Tmin3j</i>	Jours prévus	Jours manqués	Sensibilité	Fausses alertes	Spécificité	Épisodes prévus
28	15	6	0	100,0 %	314	91,8 %	1-2-3-4
29	17	5	1	83,3 %	114	97,0 %	1-3-4
30	17	4	2	66,7 %	36	99,1 %	1-3-4
30	20	3	3	50,0 %	14	99,6 %	1-4
31	21	1	5	16,7 %	0	100,0 %	1
40	30	0	6	0,0 %	0	100,0 %	

ANNEXE F
RÉSULTATS DES REGROUPEMENTS

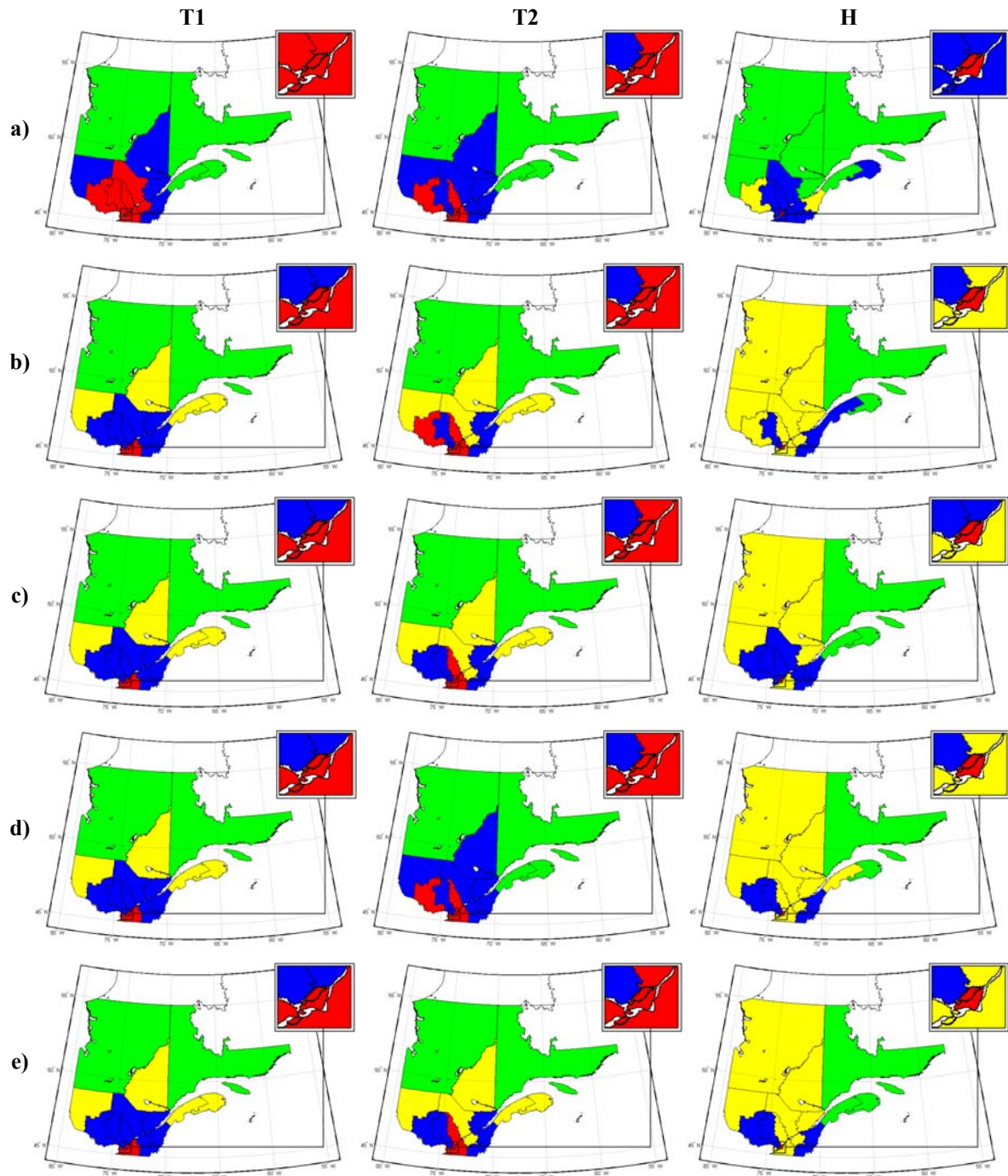


Figure F1 Regroupements obtenus avec les températures de la base journalière (T1), de la base horaire (T2) et les humidités relatives (H)

a) max.; b) moy.; c) max. et min.; d) max. et moy.; e) max., min. et moy.

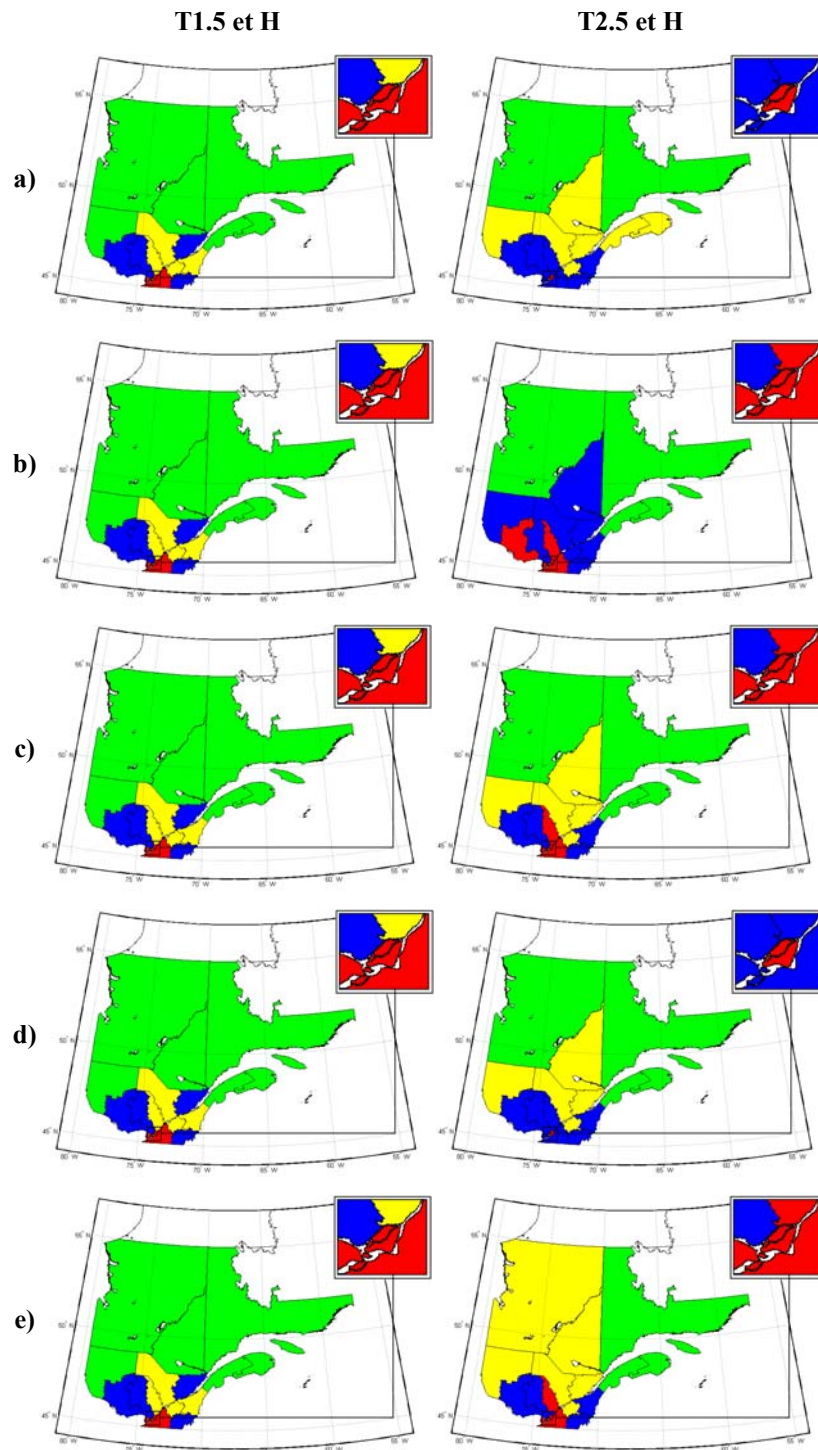


Figure F2 Regroupements obtenus avec les températures maximale, minimale et moyenne de la base journalière (T1.5), de la base horaire (T2.5) et les humidités relatives (H)

a) max.; b) moy.; c) max. et min.; d) max. et moy.; e) max., min. et moy.

ANNEXE G

COMPARAISON DES CARTES CLIMATIQUES

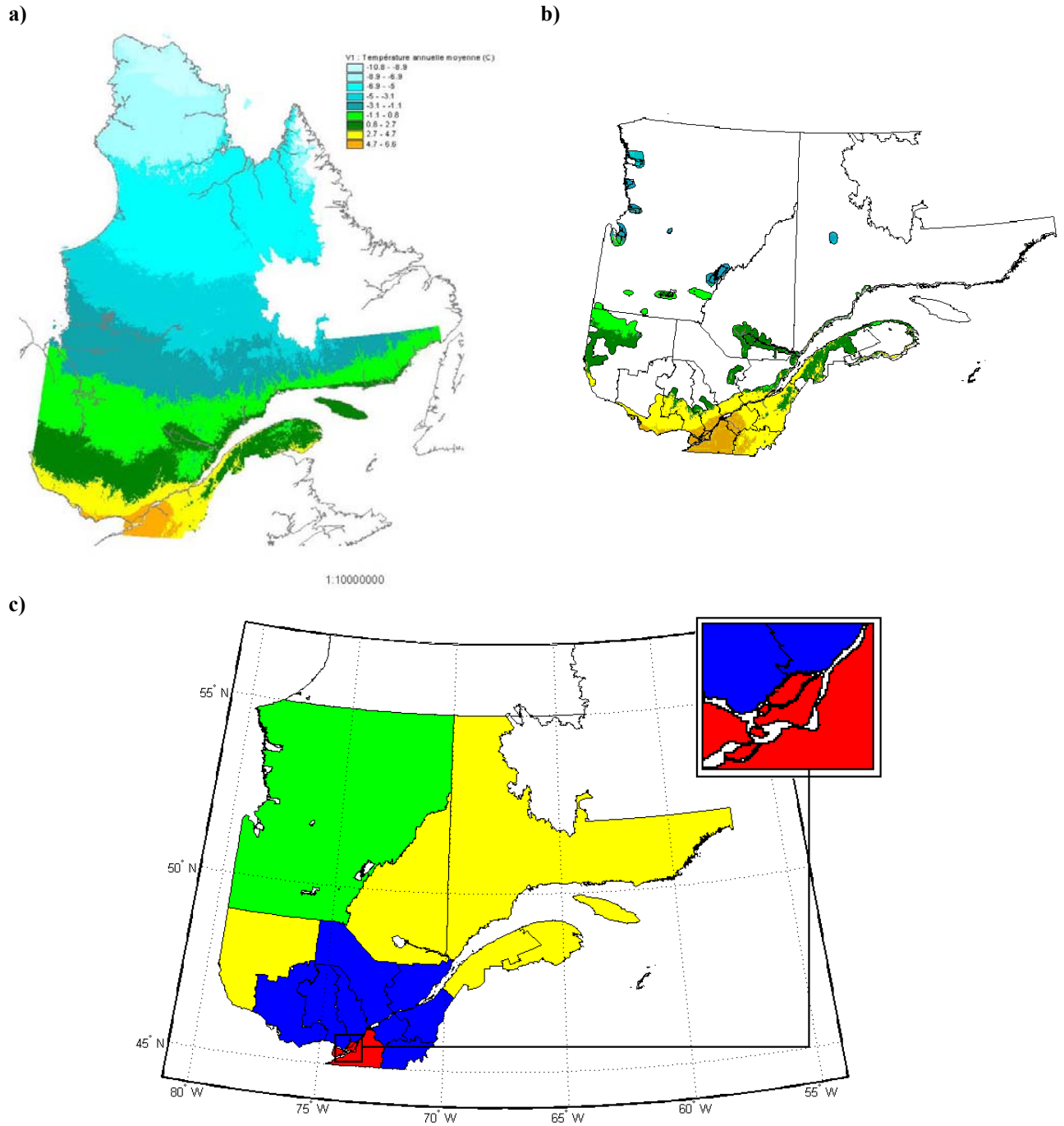


Figure G1 Cartes climatiques de la température moyenne

a) tirée de Gérardin et McKenney (2001); b) tirée de Gérardin et McKenney (2001) avec seulement les zones d'écumène; c) RSS regroupées visuellement selon les zones d'écumène de la figure b).

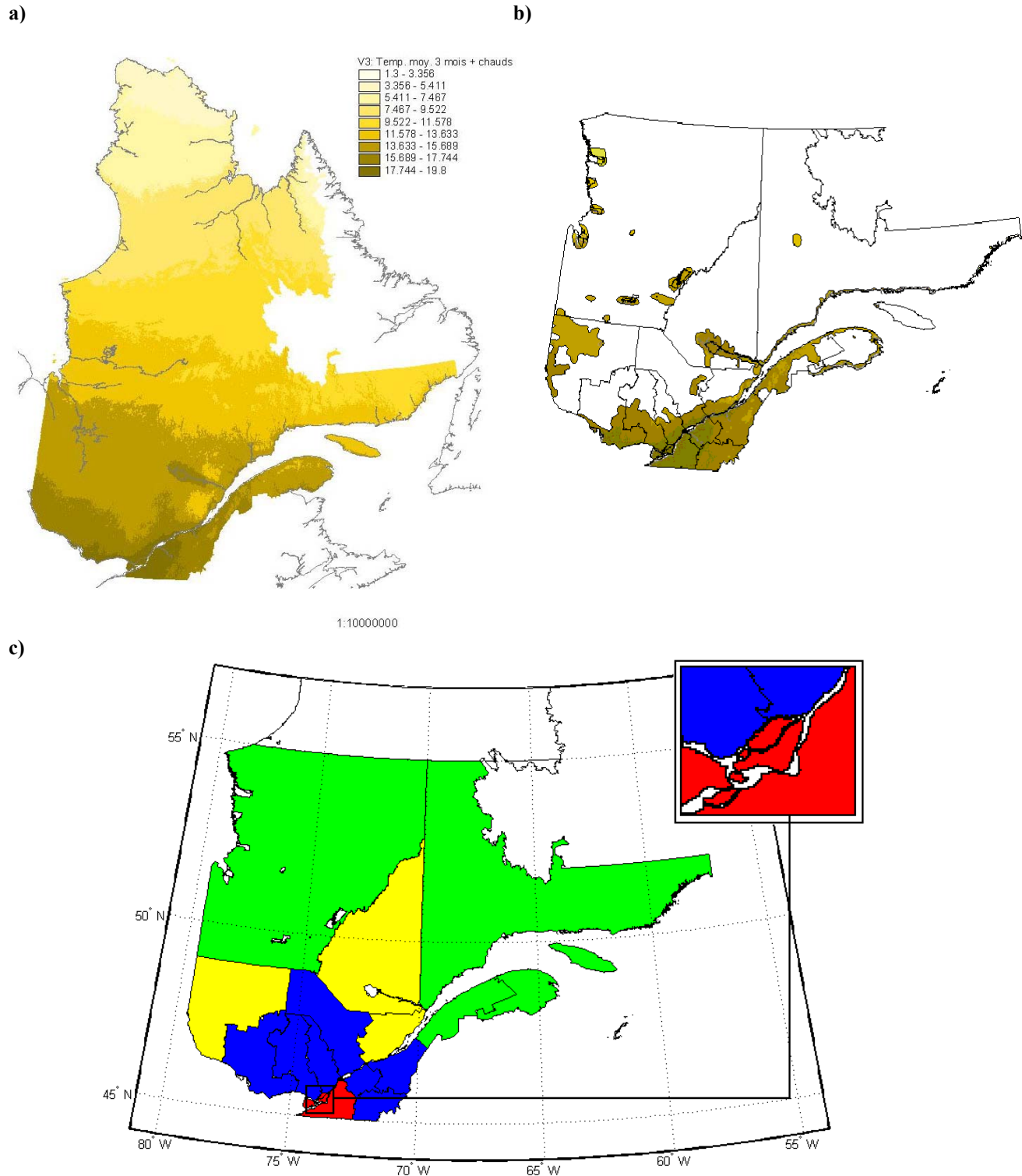


Figure G2 Cartes climatiques de la température moyenne des trois mois les plus chauds

a) tirée de Gérardin et McKenney (2001); b) tirée de Gérardin et McKenney (2001) avec seulement les zones d'écoumène; c) RSS regroupées visuellement selon les zones d'écoumène de la figure b).

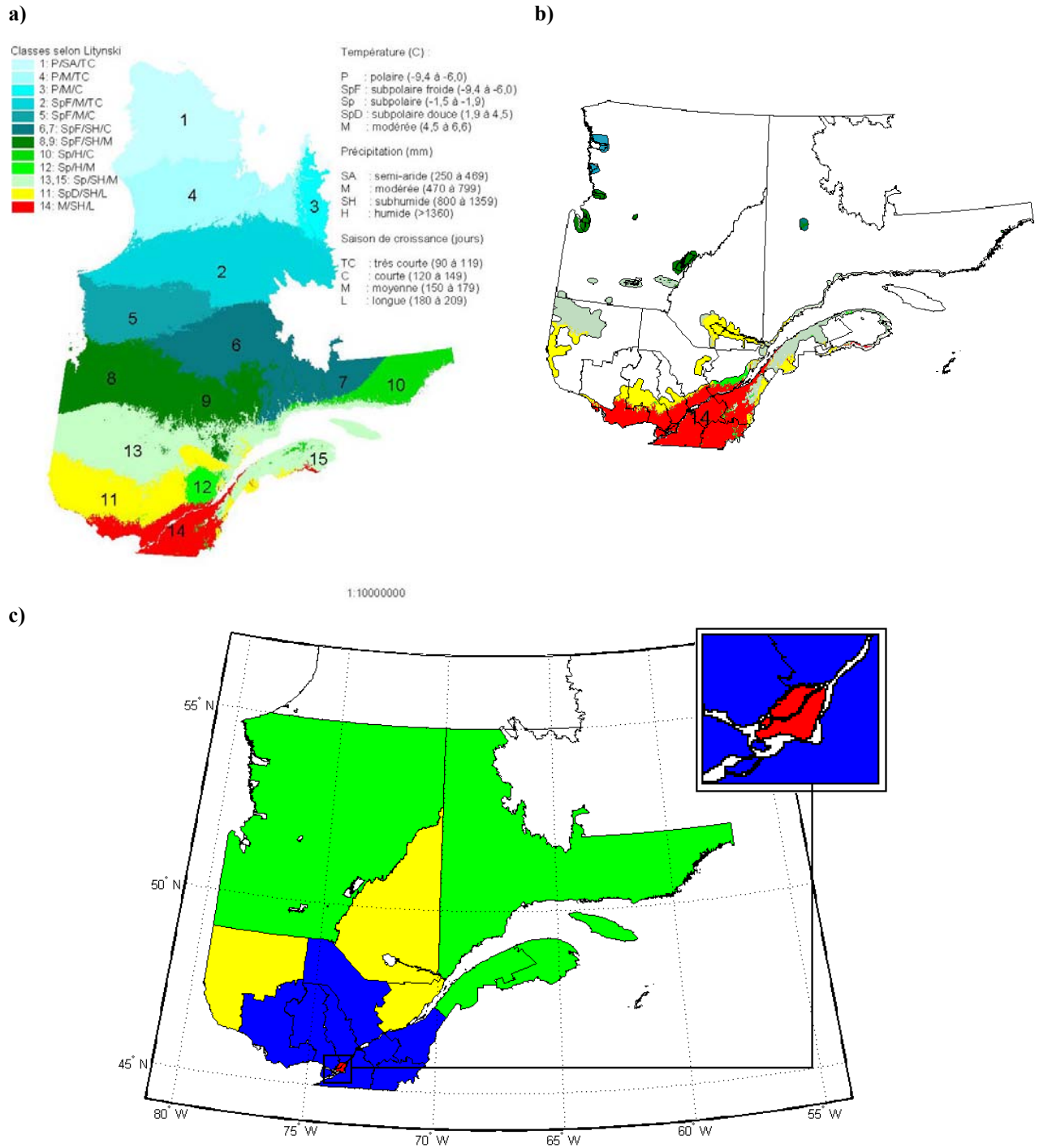


Figure G3 Cartes climatiques des classes de Litynski

a) tirée de Gérardin et McKenney (2001); b) tirée de Gérardin et McKenney (2001) avec seulement les zones d'écumène; c) les RSS regroupées visuellement selon les zones d'écumène de la figure b).

ANNEXE H

RÉSULTATS DE L'UTILISATION DES SEUILS PONDÉRÉS SUR LA VILLE DE MONTRÉAL

Tableau H1 Comparaison des résultats pour l'étude de Montréal avec et sans l'utilisation des seuils pondérés sur trois jours (section 7)

Le seuil de surmortalité est de 60 %. FA/an représente le nombre de fausses alertes par année. La sensibilité et la spécificité sont définies en fonction des épisodes.

a) Décès toutes causes confondues

	s_1	s_2	Épisodes prévus	Épisodes manqués	Sensibilité	FA/an	Spécificité	α_1	α_2	α_3
Pondération optimale	33	20	5/6	1/6	0,83	0,28	0,9982	0,8	0,1	0,1
Sans pondération	33	20	5/6	1/6	0,83	0,60	0,9961	1,0	0,0	0,0

b) Décès sans traumatismes

	s_1	s_2	Épisodes prévus	Épisodes manqués	Sensibilité	FA/an	Spécificité	α_1	α_2	α_3
Pondération optimale	33	20	5/9	4/9	0,56	0,28	0,9982	0,8	0,1	0,1
Sans pondération	33	20	5/9	4/9	0,56	0,60	0,9961	1,0	0,0	0,0

*Institut national
de santé publique*

Québec

