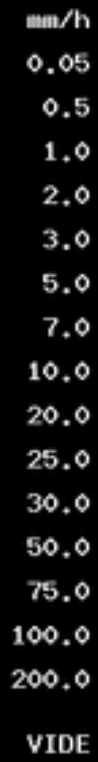


ANALYSE DU CAS DE TEMPS VIOLENT DU 1^{ER} AOÛT 2006



CARTE COM
00:40 Z
No. Radars=9
A= 200.0 b=1.
MHN 89 289 W
XFT 75 286 X



AUTEUR : Pierre Vaillancourt
Environnement Canada
CPI, Montréal

Note technique, Région du Québec, 2006N-001

© TOUS DROITS RÉSERVÉS PAR / COPYRIGHT OF :

Environnement Canada
Environment Canada



TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES.....	2
INTRODUCTION	3
SOURCE DES DONNÉES.....	4
SITUATION SYNOPTIQUE	5
THERMODYNAMIQUE.....	7
MODÈLE ET RÉALITÉ :.....	9
LIGNE DE GRAIN	9
TORNADES	13
PRÉVISION	16
DISCUSSION.....	17
CONCLUSION	19
BIBLIOGRAPHIE	20
ANNEXE	22
AWCN60 CWUL 020143	23
COMMUNIQUÉ DU GOUVERNEMENT DU QUÉBEC	24
ARTICLE DE RADIO-CANADA	25
PHOTOS DES DÉGÂTS	26
TABLE DES FIGURES	29

INTRODUCTION

Le 1^{er} août fut l'une des journées les plus convectives de l'été 2006. Des orages se sont développés en Abitibi en début d'après-midi et se sont rapidement organisés en ligne orageuse. Cette ligne est descendue vers la vallée du Saint-Laurent qu'elle a atteinte vers 20 HAE. Elle s'étendait alors sur 300 km de longueur et avait causée des dommages par le vent tout le long de son parcours. Elle continuera vers la côte est américaine avant de se dissiper vers minuit. Pendant ce temps, des orages isolés dans l'Estrie-Beauce se sont transformés en supercellules et ont donné deux tornades.

Dans cette note, je décrirai la situation météorologique qui prévalait ce jour-là et les aides à la prévision qui ont permis de lancer une série de veilles et d'alertes pour prévenir la population. En particulier, je décrirai les sorties du modèle de prévision numérique GEM du Centre météorologique canadien (CMC) dont une version à fine échelle de 2,5 km de résolution permet de mieux simuler la convection profonde.

Les rapports de dommages proviennent d'observateurs volontaires et de stations du SMC et de ses partenaires, ainsi que des médias et de certains employés du SMC comme André Giguère. On a compté plus de 400,000 foyers¹ sans électricité selon Hydro-Québec et les dommages aux arbres et autres structures sont très importants. Les vents selon nos stations ont variés entre 80 et 107 km/h alors que la Société Radio-Canada rapporte des vents de 150 km/h². Les médias rapportent également deux pertes de vie : un arbre est tombé sur une automobile tuant son conducteur à Montréal et un homme est mort foudroyé à Saint-Alexis-des-Monts en Mauricie.

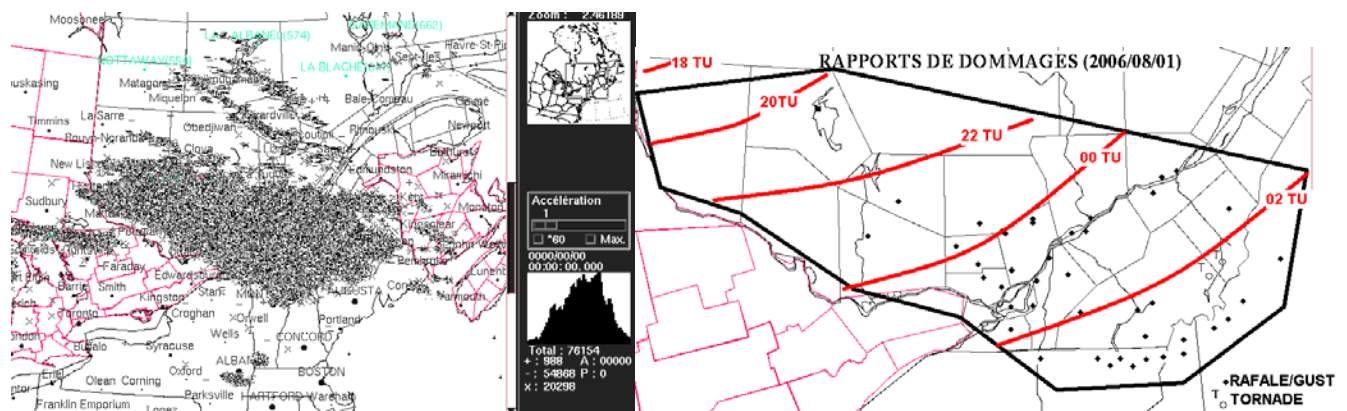


Figure 1: L'image de gauche montre les coups de foudre entre 18 TU le 1er août 2006 et 04 TU le 2 août 2006 (76 000+). On y voit le large corridor affecté par les orages. Le graphique intégré au centre montre la variation temporelle du taux durant la période. Dans l'image de droite, on voit la superposition de cette zone d'orages et les rapports de dommages par le vent et les deux tornades. Il est à noter que ces signalements sont surtout dans des zones fortement peuplées et qu'ils ne sont qu'une faible portion des dégâts réels.

¹ Bilan du mois d'août 2006 par le CRIACC (http://www.criacc.qc.ca/climat/suivi/200608_f.html)

² Articles du site de Radio-Canada, en annexe, du dimanche 6 août 2006 à 7 h 19 (<http://www.radio-canada.ca/nouvelles/regional/modele.asp?page=/regions/Montreal/2006/08/03/001-pannes-electricite.shtml>)

SOURCE DES DONNÉES

Données radars :

- Radar de Villeroy (WVY), Landrienne (XLA), Britt (WBI), Lac castor (WMB) et Franktown (XFT) par Environnement Canada (EC)
- Radar de McGill (WMN) par l'université McGill, Montréal
- Traitement des données par le logiciel RAPID développé par l'Observatoire Météorologique Radar J.S. Marshall de l'université McGill en collaboration avec EC, région du Québec.

Données de foudre :

- Réseau canadien de détection de la foudre d'EC

Données des modèles :

- Modèle GEM (Global Environnemental à échelles Multiples)-LAM (Limited Area Model) à résolution horizontale de 2,5 km développé par EC avec sorties quotidiennes d'algorithmes simili-radar : une collaboration du laboratoire national des intempéries de Montréal et du CMC.
- Affichage de ces données par le logiciel MAX développé par EC.
- Affichage des données de radiosondage par STRATUS, logiciel développé pour EC par le CRIME.
- Carte de surface et d'altitude par NCEP/NCAR.

Autres :

- Plusieurs vidéos font partie de ces données ce qui nous a permis entre autre de capturer l'entonnoir de la tornade du Lac-Drolet.
- Les deux tornades et d'autres sites de dommages ont été l'objet d'une enquête par M. André Cantin, MSCM basé à Québec. Il a pris plusieurs clichés et rédigé des rapports avec cartes des corridors de dégâts.
- En annexe vous trouverez un résumé des événements, des photos caractéristiques et articles parus à ce sujet.
- Rapport de dommages du Storm Prediction Center, Norman Oklahoma, une composante du National Weather Service américain.

SITUATION SYNOPTIQUE

En surface, on voit une importante dépression près sur la Baie James avec un front froid vers le lac Supérieur à 12TU et un front chaud vers les Appalaches. La dépression se retrouve dans la région de La Grande IV à 00TU le 2 août alors qu'une onde s'en est détachée et se retrouve près du lac Saint-Jean. Le front chaud étant resté presque stationnaire et le front froid s'étend maintenant de l'onde vers la Baie Georgienne (Figure 2). Le secteur chaud maritime qui recouvre le sud de la province donc bouge peu durant la journée du 1^{er} car la circulation d'altitude (Figure 3) est zonale et beaucoup plus au nord que la vallée du Saint-Laurent sauf pour le passage du front froid.

Le courant-jet supporte bien la dépression du nord du Québec mais peu l'onde. C'est le jet de bas niveau qui va donner de la convergence vers le front froid, associé à cette dernière, et qui servira à concentrer la convection.

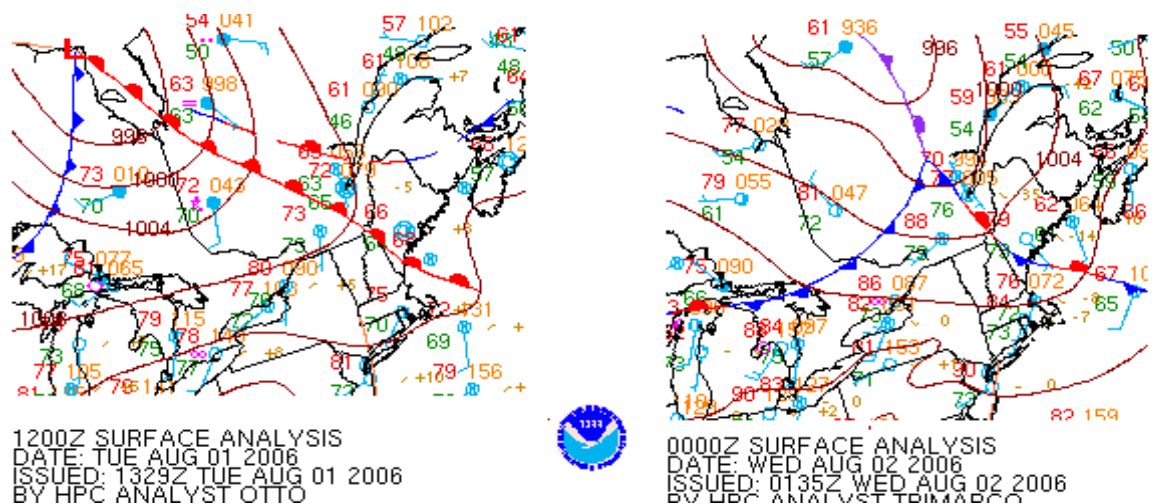


Figure 2 : Analyse de surface de 12 TU le 1er août et de 00TU le 2 par NOAA.

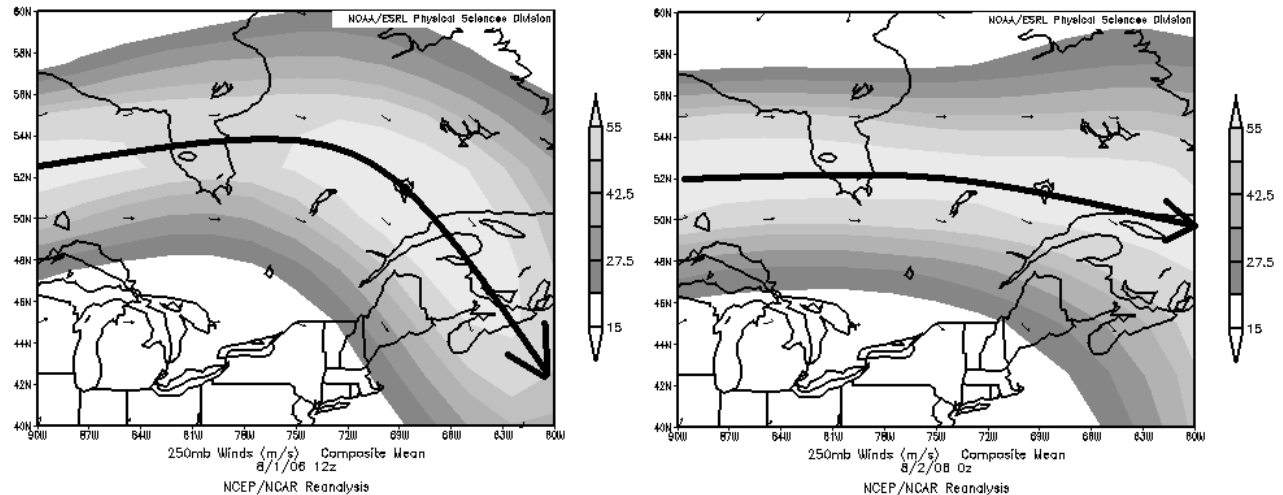


Figure 3 : Vents de 250 mb montrant le déplacement du Courant-jet entre 12TU le 1er et 00TU le 2 août 2006 (Source NCEP/NCAR).

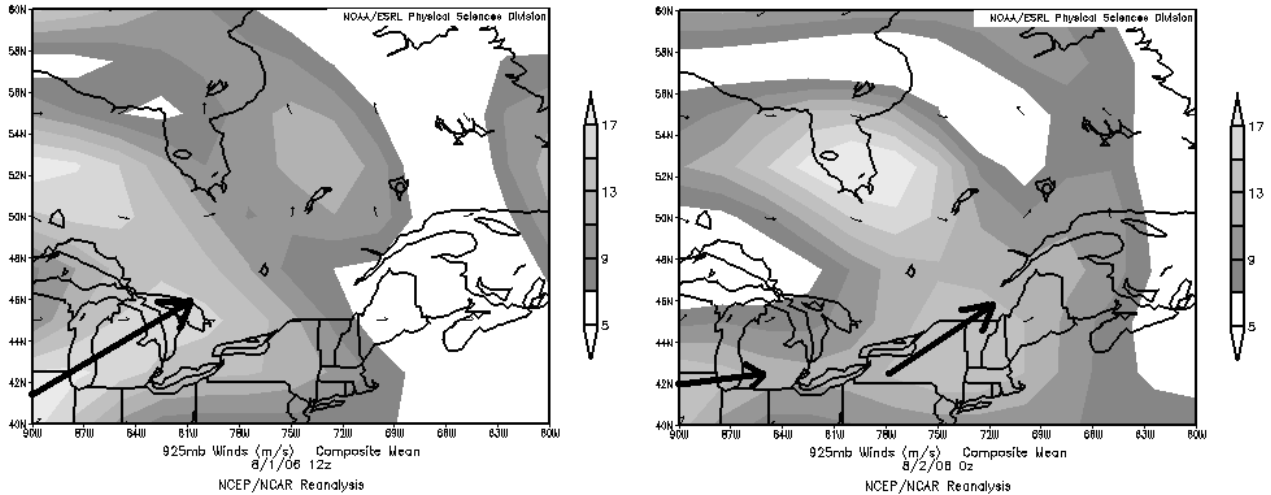


Figure 4 : Vents de 925 mb montrant le déplacement du Courant-jet de bas niveau entre 12TU le 1er et 00TU le 2 août 2006 (Source NCEP/NCAR).

Cette situation synoptique avait lentement évoluée au cours des derniers jours. En effet, le flux zonal entre le nord de l’Ontario et le nord du Québec était stable et une crête nord-sud à tous les niveaux recouvraient la région des Grands-Lacs. On a donc eu des lignes d’orages intenses le long du front froid, des Dakotas vers la région du Lac Supérieur, les deux jours antérieurs. Ces lignes bougeaient lentement, donnant un fort taux d’éclairs et du temps violent.

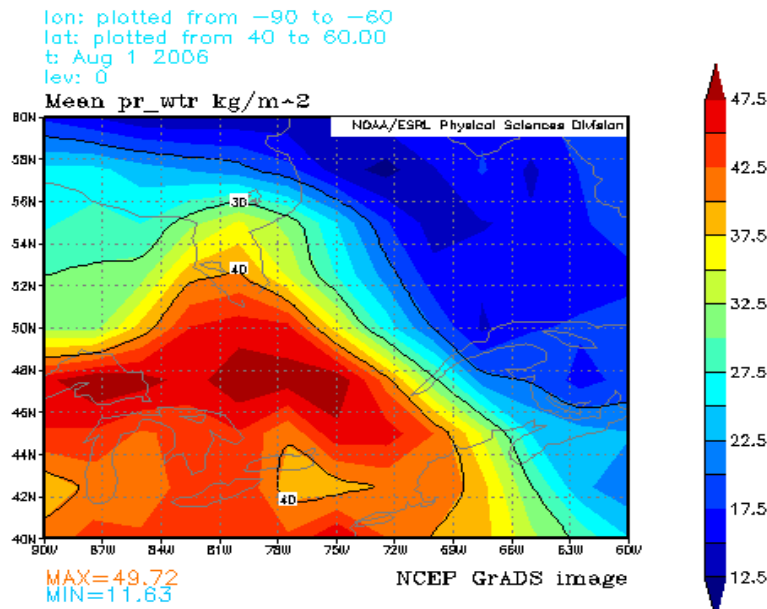


Figure 5: Humidité disponible durant toute la journée du 1er août 2006. On voit que le maximum est de 50 mm et que l’axe Timmins, ON à Montréal dans le secteur chaud maritime est partout au-dessus de 40 mm.

La crête commence à s’effriter le 1^{er} août comme on peut le voir (Figure 2). Dès le 31 juillet, les modèles tant américains (NAM) que canadiens (GEM-15 km), montraient que le

secteur chaud maritime descendrait vers l'ouest et le centre du Québec durant la journée du 1^{er} août. En faisant la carte des déclencheurs synoptiques, on obtient le passage d'un secteur chaud avec plus de 40 mm (Figure 5) d'eau précipitable et d'un jet de bas niveau sur les régions au nord du fleuve entre l'Abitibi et la région de Québec. Au sud du fleuve, entre la région au nord de Montréal et celle de la Beauce, on a la même masse d'air mais sans fort déclencheur, seulement la présence du front chaud plus ou moins stationnaire.

THERMODYNAMIQUE

Le téphigramme de Maniwaki (WMN), dans le secteur chaud mais au sud du jet de bas niveau, montre que la masse d'air est très instable. Avec un maximum de 33C et point de rosée de 21C, on obtient des cumulonimbus (CB) de 50 000 pieds de sommet et une Énergie potentielle de convection disponible (EPCD) de 2000 J/kg selon l'analyse faite le matin ce qui est largement suffisant pour donner des orages violents. En faisant monter la température à 34C et le point de rosée à 22C, ce qui était très caractéristique de la journée, on obtient même un EPCD de 2900 J/kg.

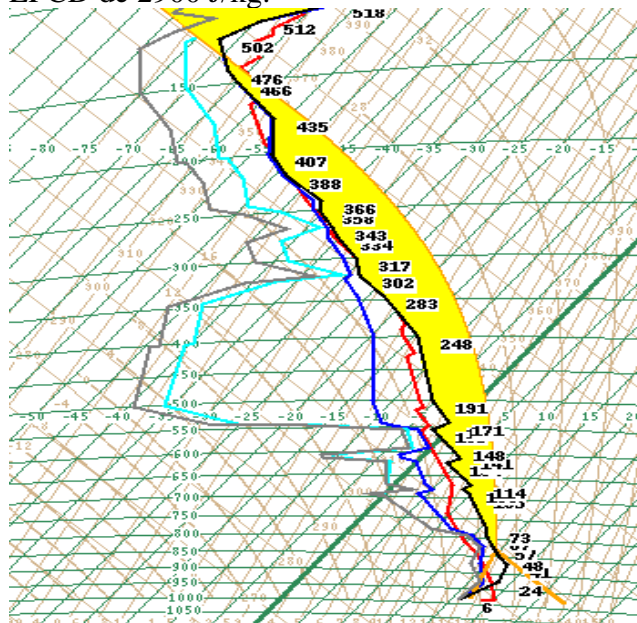


Figure 6: Téphigramme de Maniwaki, Qc (CWMN) à 1200TU le 1er août 2006. La courbe noire est la température (T), celle en gris représente le point de rosée (Td), la bleue est la température du thermomètre mouillé (Tw) et la rouge la température à 00 TU. La zone en jaune représente l'Énergie potentielle de convection disponible (EPCD= 2894 J/kg) avec T=34C et Td=22C typique de la masse d'air cet après-midi-là.

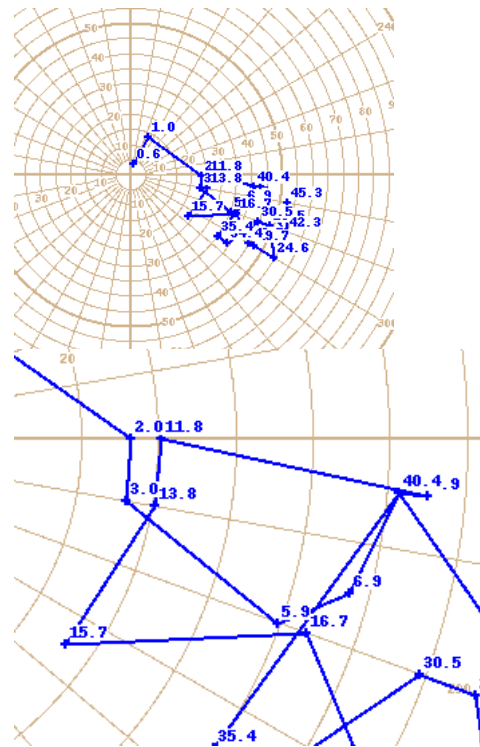


Figure 7: Hodographe de Maniwaki, Qc (CWMN) à 12 TU le 1er août 2006. Le cisaillement total sous 6 km est de $1.15 \times 10^{-2}/s$ et on remarque une boucle entre 3 000 et 14 000 pieds. Avec l'EPCD et ce cisaillement, on obtient un Indice de sévérité (SSI) de 135, ce qui indique que des orages violents sont très probables avec pluie torrentielles, rafales violentes ($\Delta\theta_e=22C$ et/ou tornades (EHI=3,6).

La différence des températures potentielles ($\Delta\theta_e$) entre l'environnement et les parcelles soulevées est de 22C, ce qui dépasse 19C qui est le seuil critique pour des rafales descendantes violentes.

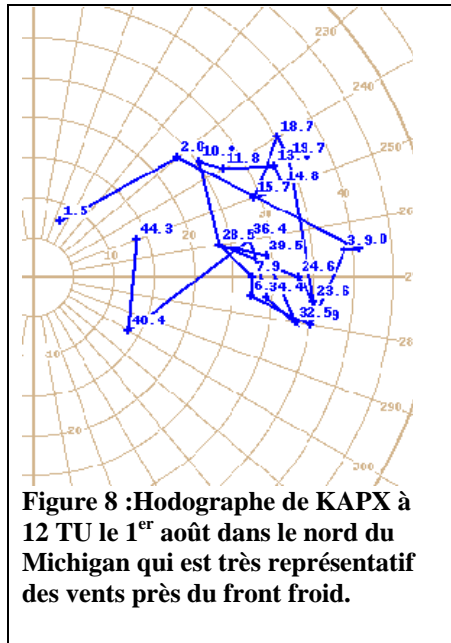


Figure 8 :Hodographe de KAPX à 12 TU le 1^{er} août dans le nord du Michigan qui est très représentatif des vents près du front froid.

On voit sur l'hodographe (Figure 7) un cisaillement dans les bas niveaux en forme de boucle ce qui laisse présager la possibilité de tornade, ce que confirme un EHI (indice d'hélicité) qui atteint 3,6. Ce cisaillement est de 48 nœuds entre le sol et 5 km d'altitude. Cependant, le vent est de 20 nœuds ou moins dans les premiers 3 000 pieds. L'hodographe de KAPX (Figure 8) est assez similaire à celui de Maniwaki à l'exception que le vent de bas niveau est beaucoup plus fort, atteignant d'environ 40 nœuds à 3 000 pieds puis retombe à plus haut niveau ce qui montre la présence du courant-jet de bas niveau.

Toutes ces données donnent des indices de convections élevés. Le SSI (Severe Storm Index) atteint ou dépasse 120, soit beaucoup plus que le seuil critique de 100. Comme WMN est dans le secteur chaud mais loin des déclencheurs dynamiques, le plus probable dans ce secteur devrait être des orages supercellulaires avec PT et tornade le

long du front chaud. Par contre, entre le front froid et le jet de bas niveau, le temps le plus probable serait des lignes d'orages avec PT et rafales descendantes violentes à cause de l'organisation donnée par ces déclencheurs selon KAPX.

Les cartes de prévision du temps violent (Figure 9) faites la veille et le matin des événements montrent donc la possibilité de pluies torrentielles (PT) et de tornades (T) pour une bonne partie du sud du Québec. Il est à remarquer que la carte de prévision du 1^{er} au matin couvre une période qui va jusqu'à 22 HAE (02 TU), soit deux heures de plus que la carte faite la veille. Elle ajoute également la possibilité de temps violent au sud du fleuve dans les régions autour de Montréal et dans l'Estrie.

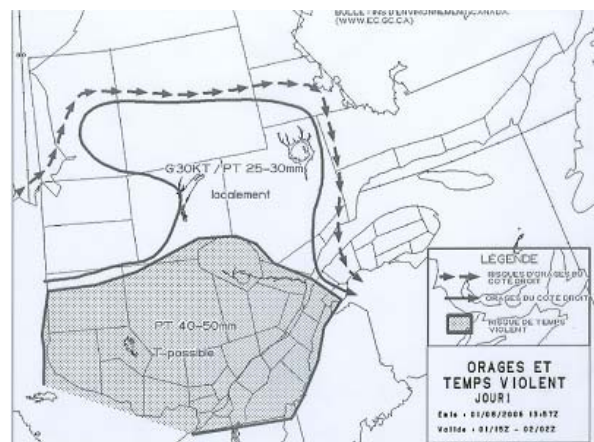
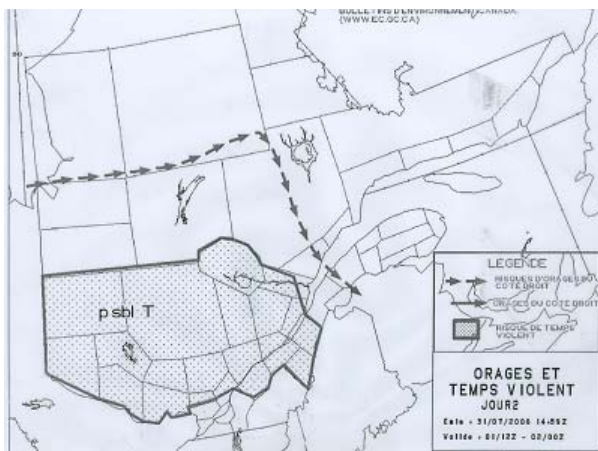


Figure 9: Prévision des zones à risque de temps violent pour le 1er août 2006. À gauche, on a la prévision faite le 31 juillet et à droite celle faite le matin des événements. On note la possibilité de tornade (T) mentionné-

MODÈLE ET RÉALITÉ :

Durant tout l'été 2006, le Centre Météorologique Canadien (CMC) a roulé un modèle de méso-échelle sur une fenêtre couvrant le sud et l'est de l'Ontario ainsi que l'ouest et le centre du Québec. Ce modèle (GEM-LAM) a une résolution horizontale de 2,5 km et 58 niveaux dans la verticale. Il est possible à cette résolution d'utiliser des équations explicites pour la convection profonde et ainsi générer des sorties en trois dimensions similaires à ce qu'un radar verrait pour des orages de 10 km ou plus de diamètre. Dans les Figure 10 et Figure 11, on peut voir à gauche la progression des échos des radars surimposés aux des nuages et à droite, la progression des prévisions du GEM-LAM.

Ligne de grain

On voit d'abord que le ciel était très dégagé dans le secteur d'intérêt, permettant un réchauffement maximal. À 1815 TU, on remarque très bien dans le coin supérieur gauche de l'image satellitaire la forme du front froid, qui s'étire du nord-est vers le sud-ouest, par la dissipation des cumulus. On voit également le début de convection dans le secteur de Earlington (YXR) à Rouyn (YUY) ainsi que des échos isolés sur le centre du Québec (près de WTY). Dans l'image correspondante du modèle, on a des zones de convection très semblables mais un peu décalées vers l'ouest.

Les images suivantes montrent la progression des échos radars et des orages qui s'organisent en lignes sur le nord-ouest du Québec et déferlent vers la vallée du Saint-Laurent. Ces orages traversent le fleuve entre 20 et 21 HAE (00 à 01 TU) pour sortir dans le Maine (É-U) après 22h. On y voit également la formation de cellules importantes le long du front chaud en Estrie-Beauce sur les échos radar (partie du bas à droite des images radar). On voit donc que notre analyse se confirme avec des cellules importantes mais plutôt isolées le long du front chaud, à la bordure du nuage, et une ligne d'orage entre le front froid et le jet de bas niveau.

La simulation du GEM-LAM, mise en parallèle, donne une progression similaire mais un peu retardée dans le temps et l'espace. De plus, la ligne simulée ne se développe pas sur une aussi grande longueur que la réalité. En particulier, elle ne passe jamais sur la région de Montréal et des Laurentides (partie sud-ouest) alors que ce sont parmi les régions les plus affectées par les orages. Les couleurs indiquent des pseudo-réflexivités comme sur un affichage radar et on y voit la forme en arc de la ligne.

En annexe, on a le compte-rendu des dégâts enregistrés cette journée-là. Au passage de la ligne d'orage, des rafales descendantes ont causé des bris systématiques tout le long de la trajectoire : arbres déracinés, poteaux électriques cassés, rafales de plus de 90 km/h aux stations et plus de 400 000 foyers privés de courant. Les secteurs les plus touchés ont été les Laurentides et Québec. Le zoom (Figure 12) montre que l'on a des ondulations sur l'arrière de la ligne d'orages dans ces régions ce qui indique la descente du jet des niveaux moyen à l'arrière de la ligne. Ce dernier s'ajoute aux rafales descendantes pour les augmenter.

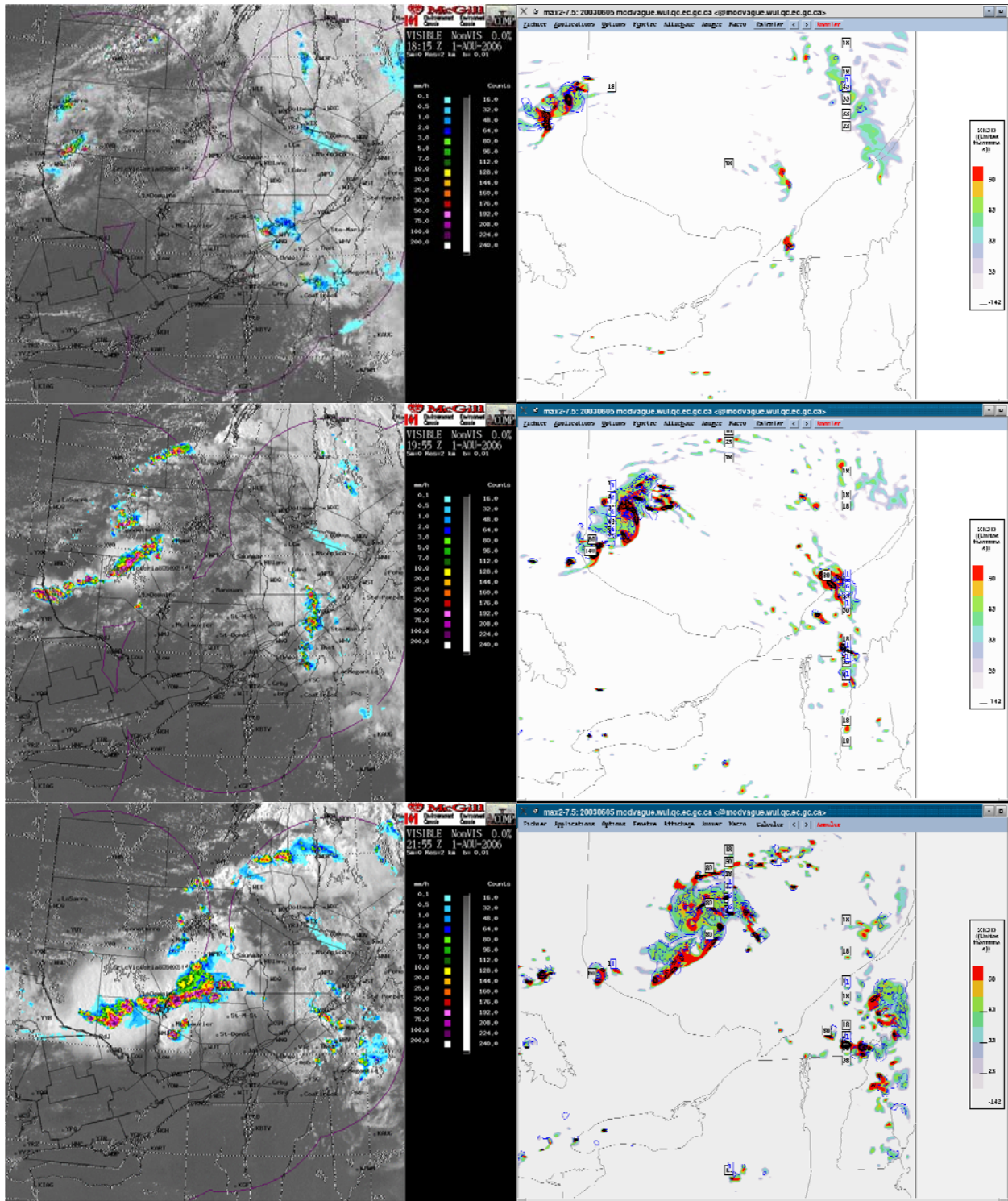


Figure 10: À gauche, série d'images satellites visibles sur lesquelles les échos des radars (CAPPI de 1,5 km d'altitude) sont superposés de 1815 à 2155 TU, soit de 14h15 à 17h55 HAE. À droite, la prévision de réflectivités simulées du GEM-LAM pour les mêmes heures avec les minces lignes bleues représentant les zones où la réflectivité aux niveaux supérieures est plus forte (surplomb) et les lignes noires indiquant le potentiel de rafales de plus de 80 km/h dans les images de droite.

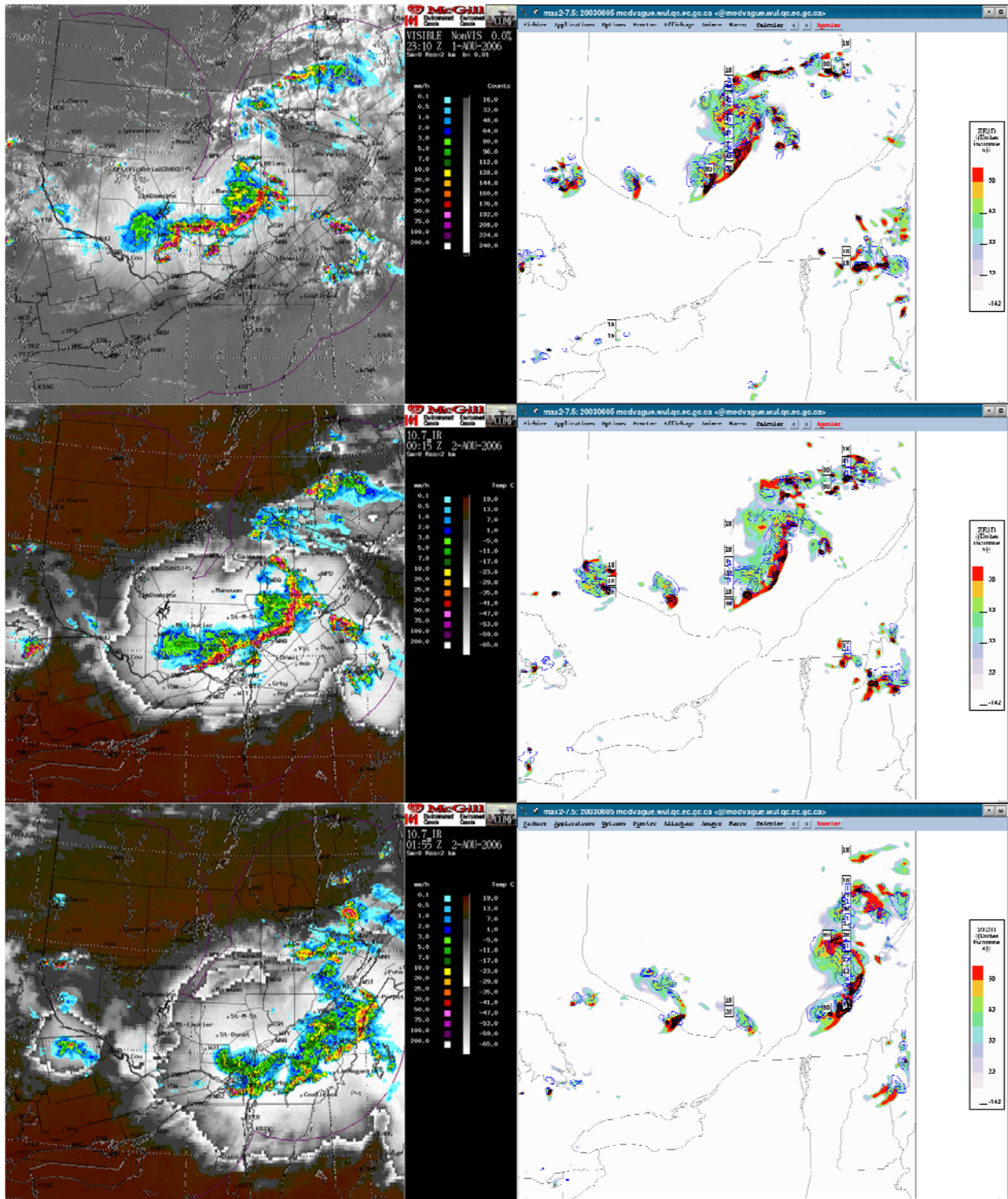


Figure 11: À gauche, série d'images satellite visibles et infrarouges sur lesquelles les échos des radars (CAPPI de 1,5 km d'altitude) sont superposés de 2310 TU le 1^{er} à 0155 TU le 2, soit de 19h10 à 21h55 HAE. À remarquer que la ligne semble s'atténuer et se fragmenter sur la dernière image radar mais cela est dû à la perte du radar de McGill (WMN) et à l'atténuation sur le radar de Villeroy (WVY), qui est de 5 cm de longueur d'onde. À droite, les sorties du GEM-LAM qui leur correspondent.

On voit même dans la partie sud-ouest de la ligne l'arc très prononcé appelé « bow echo » et c'est dans ce secteur que les dégâts ont été le plus sévère. Pour confirmer notre analyse de la ligne, on n'a qu'à regarder les coupes verticales (Figure 13) des réflectivités à travers la ligne est caractéristique d'une ligne de grain intense suivi d'une zone stratiforme. Dans ces coupes on voit également qu'il y a toujours reformation à l'avant de la zone principale de convection. Ceci est le signe de la présence du front de rafales ce qui est confirmé par les données Doppler (en vitesses relatives à l'orage de la partie droite de la Figure 12) qui montre le front de rafales en jaune/orange, sur le devant de la ligne. Les vents s'éloignent de l'orage à plus de 14 m/s (60 km/h).

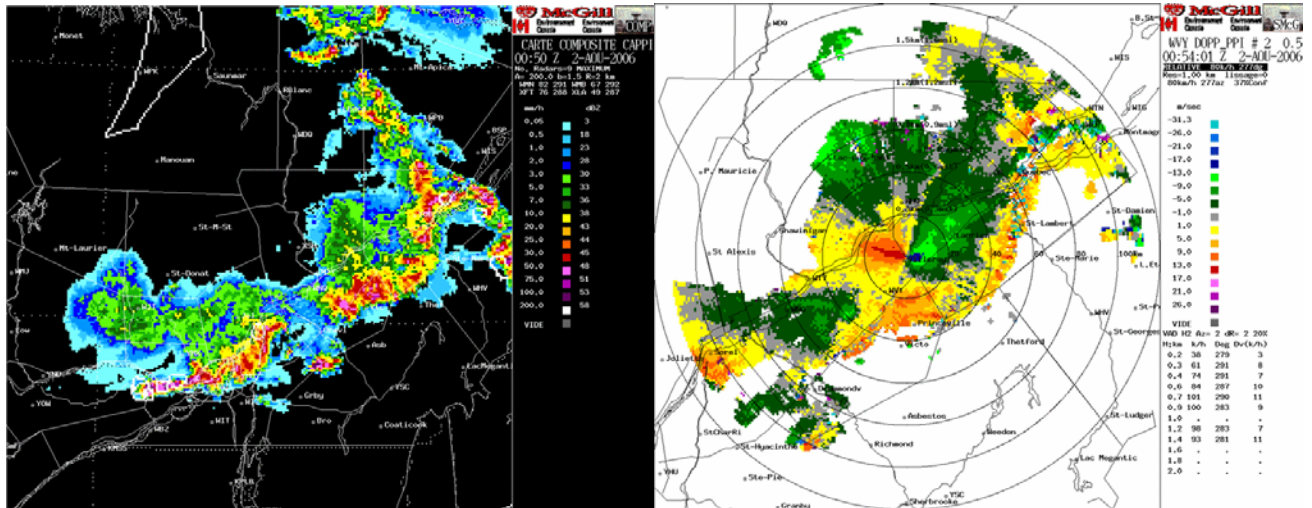


Figure 12 : Zoom sur la ligne d'orages à 0054 TU (gauche) qui montrent les ondulations en réflectivité et le front de rafales dans les Données Doppler (droite).

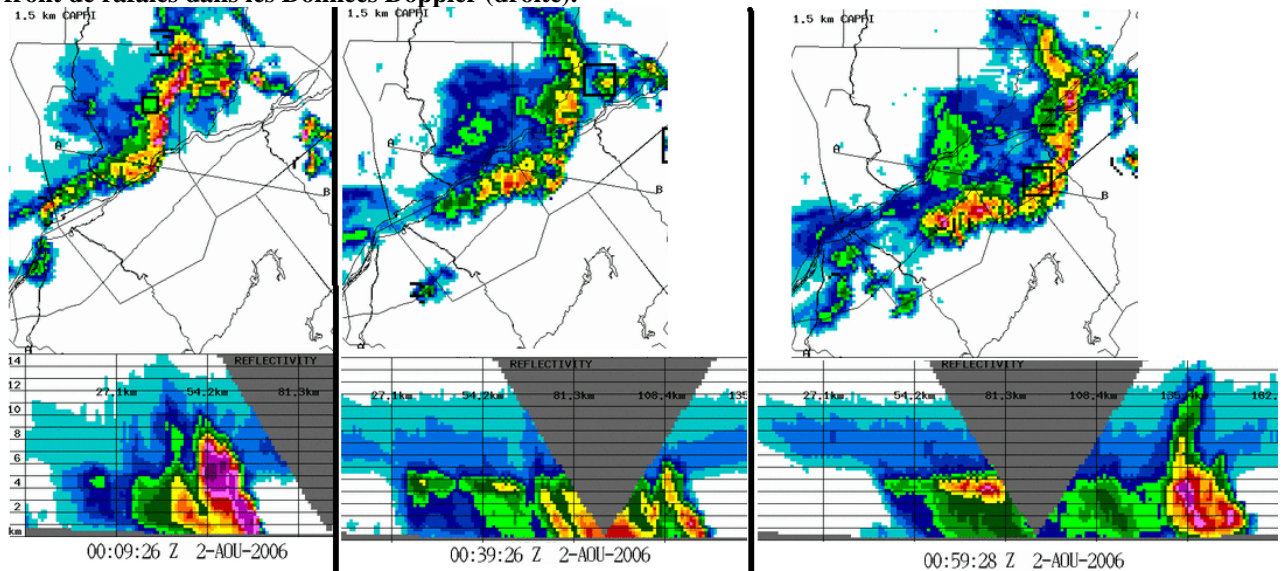


Figure 13: On voit dans la série de coupes une structure typique de ligne de grain avec les zones convectives à l'avant (avec pente arrière) et stratiformes à l'arrière.

De chaque côté du radar (centre de l'image Doppler), on remarque que les vitesses passent du jaune au vert et comportent un centre caractéristique d'un courant-jet de bas niveau. Celui-ci est plus haut à l'ouest qu'à l'est ce qui montre que le jet est en descente comme mentionné précédemment.

Des algorithmes de détection de temps violent ont été développés pour le modèle GEM-LAM. On voit sur la Figure 14, un zoom de la ligne d'orages alors qu'elle atteint la rive nord du fleuve Saint-Laurent. Les sorties montrent la réflectivité simulée de bas niveau en couleur et les lignes noires représente la possibilité de fortes rafales sur le devant de la ligne d'orages. La valeur maximale de ces vents est en général de plus de 130 km/h et atteint même 192 km/h sur cette image. Des surplombs sont prévus en général vers l'arrière de la ligne d'orages (lignes bleues).

Ça correspond bien aux caractéristiques qu'on s'attend d'une ligne de grain. Les sommets de ces échos simulés sont de 7 km et ceux de la ligne réelle sont en général de 10 km selon les Figure 13.

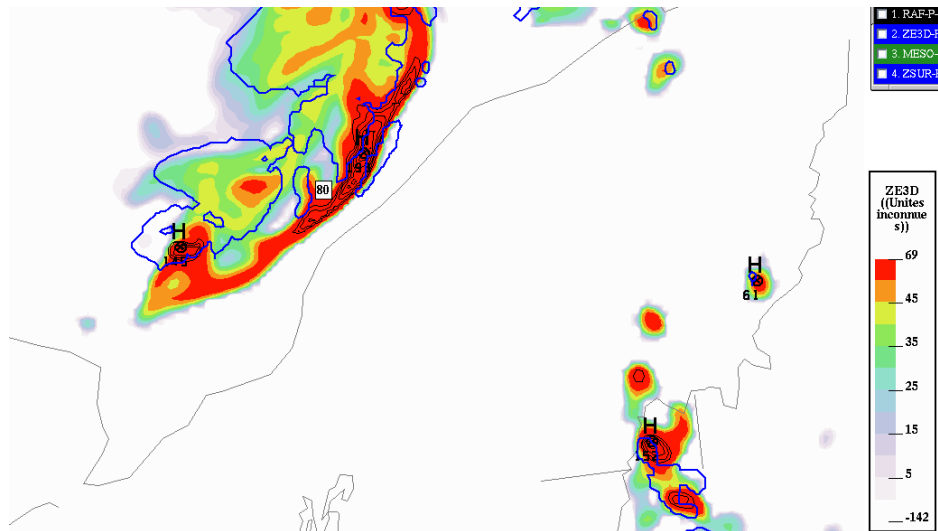


Figure 14 : Zoom de la ligne d'orage sur le GEM-LAM à 01 TU le 2 août avec en couleur les réflectivités, les lignes bleues donnent les zones en surplomb et les lignes noires donnent les rafales de plus de 80 km/h avec maximum indiqué.

Tornades

Deux tornades ont été signalées en Beauce/Estrie avec les cellules isolées le long du front chaud et il y a eu peu de rapports de PT ou de grêle. Les images suivantes (Figure 15) montrent les cellules orageuses à l'avant du front chaud qui ont donné des tornades. On remarque à gauche, sur l'image des réflectivités du CAPPI de 1,5 km de 2219 TU, qu'un surplomb (cercle noir) a été détecté sur deux cellules. Les intensités sont plus importantes sur la cellule la plus à l'ouest mais les deux ont une légère forme de « crevette » ou de « virgule » caractéristique des orages tornadiques. Cette forme s'expliquant par la descente du courant-jet des niveaux moyens

à l'arrière de l'orage qui assèche les bas niveaux et donc fait disparaître les échos radars dans le secteur arrière droit de celui-ci.

À 2249 TU, temps des tornades, les cellules semblent plus faibles à 1,5 km mais un surplomb est toujours détecté sur celle de l'ouest qui passe en fait sur Lac-Drolet.

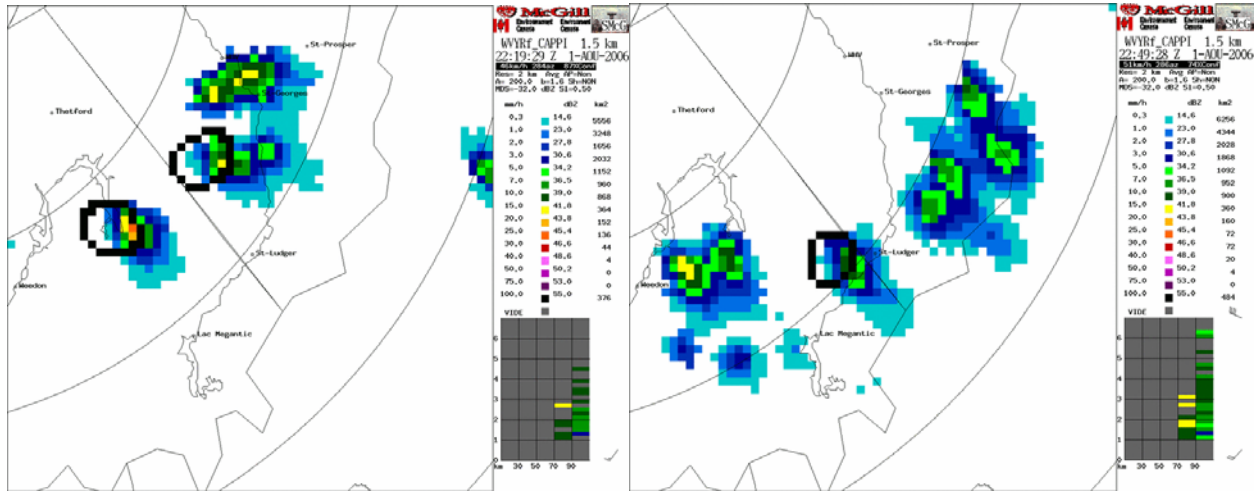


Figure 15: Mini-supercellules qui ont donné deux tornades (Lac-Drolet et St-Gédéon). Sur l'image de gauche du CAPPI de 1,5 km à 2219 TU, deux cercles noirs indiquent des surplombs et on peut remarquer une forme en crochet dans les réflectivités sur ces cellules. Sur l'image de droite à 2249TU, la cellule à l'ouest de Saint-Ludger a encore un surplomb alors que l'autre semble plus anodine.

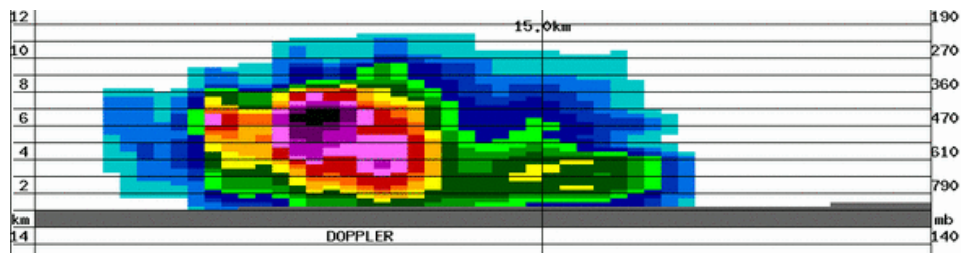


Figure 16: Coupe verticale de la cellule tornadique de Lac Drolet

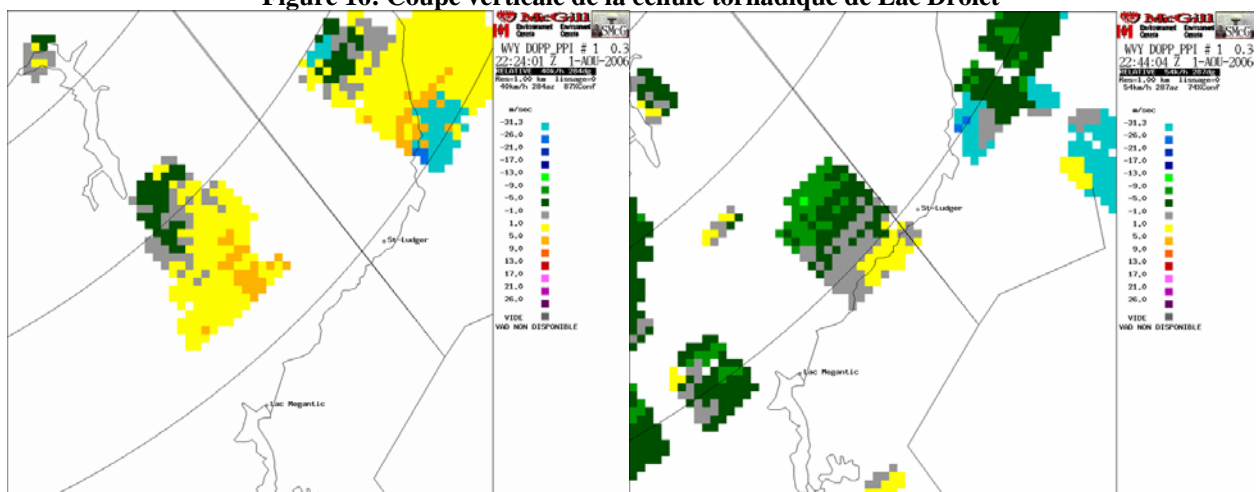


Figure 17 : Les données Doppler montrent un doublet de vitesse aux mêmes temps que sur les figures précédentes. Dans l'image de droite, on utilise ici les données de longue portée (160 km au radar) à résolution faible.

La coupe (Figure 16) de cette cellule montre que les réflectivités sont beaucoup plus intenses en altitude et on la forme caractéristiques d'une supercellule à faible extension verticale : sommet des échos à 10 km, du cœur intense à 6 km, surplomb des échos de 6 km par rapport à ceux de bas niveau. La cellule à l'est de Saint-Ludger, qui vient de passer sur Saint-Gédéon, est similaire mais le surplomb est à plus basse altitude ce qui n'a pas déclenché l'algorithme. En fait, ces deux cellules avec le surplomb ont chacune donnée des tornades : au Lac-Drolet et à Saint-Gédéon de Beauce.

Les images des vitesses Doppler relative à l'orage, même de longue portée, montrent des doublets de vitesses sur l'angle le plus bas de visée (0,3 degré) à moins de 1,5 km du sol. Dans la Figure 17 de gauche à 2224 TU, le doublet jaune-vert, avec la ligne de zéro en gris, sur la cellule la plus à l'ouest est assez circulaire et orienté comme on s'attend d'un mésocyclone alors que le doublet de celle de l'est est plus orienté est-ouest, perpendiculaire à la radiale au radar, comme pour une micro-rafale.

Dans la même figure mais dans la partie de droite, on voit les vitesses Doppler à 2244 TU, au moment des tornades. Il ne reste plus qu'un doublet mais on a atteint la limite entre les données de courte et longue portée ce qui rend la détection plus difficile à cause de la faible résolution Doppler. La ligne de vitesse nulle (grise) de ce doublet est devenue perpendiculaire à la direction radiale au radar, on peut penser qu'il s'agit alors d'une zone de divergence des vents (jaune s'éloignant et vert s'approchant). Cependant, près de la bordure Est (Saint-Ludger) on voit que le doublet prend une orientation plus radiale ce qui pourrait être toujours le signe d'un mésocyclone.

Un tel doublet est visible sur plusieurs angles entre 22 TU et le moment de la tornade mais il est toujours assez faible et l'algorithme de détection des mésocyclones ne l'a détecté qu'une seule fois à 3,5 degrés d'élévation à 2234 TU (7 km d'altitude à cette distance). Il était donc possible de combiner les différents éléments donnés par le radar pour lancer une alerte mais ceux-ci étaient très marginaux. De plus, la tornade s'est produite peu de temps après le développement de l'orage.

Regardons maintenant un zoom de la simulation (Figure 18) vers 22 TU. On voit plusieurs cellules en Beauce (haut à droite) et en Estrie (en bas près de la frontière américaine du Vermont). Les sommets de ces orages simulés sont de 6 à 7 km en utilisant 18 dBZ comme limite inférieure de réflectivité alors que les échos réels montaient à 10 km. Les lignes en bleues indiquent des zones en surplomb du côté Est de ces orages, dans le sens du déplacement. Les lignes noires des rafales potentielles sont très verticales avec les réflectivités de bas niveau, indiquant une colonne de précipitations juste à la marge de la zone de surplomb. La valeur maximale est de 117 km/h sur une des cellules de Beauce et 198 km/h sur celles de l'Estrie. Quelques zones de mésocyclone ont été détectées par l'algorithme (image de droite). Les algorithmes semblent indiquer que le GEM-LAM a développé des supercellules d'assez faible extension verticale comme on a eu dans la réalité.

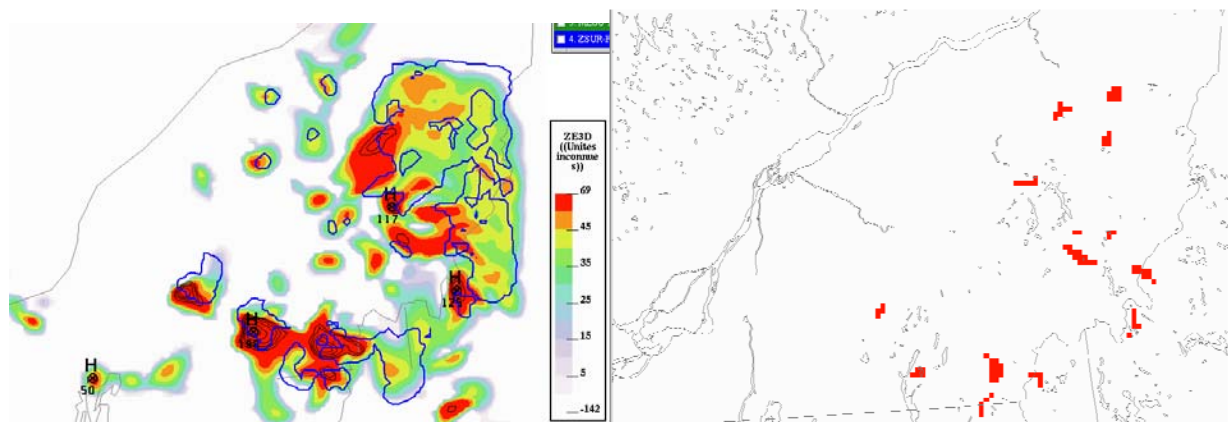


Figure 18 : Zoom sur les supercellules simulées en Beauce vers 22 TU. À gauche les réflectivités avec les zones de surplomb (ligne bleue) et les rafales potentielles (noire). À droite les zones de méso et/ou cisaillement en rouge.

Prévision

La plupart des régions au nord du fleuve Saint-Laurent de la carte de temps violent ont été mises en veille météorologique d'orages violents dès le matin. Celles au sud ont suivi en mi-journée. Les alertes ont été déclenchées dès que la ligne de convection s'est organisée en débutant par les secteurs de l'Abitibi-Témiscamingue. La ligne d'orages organisés a été bien suivie.

Les cellules individuelles à l'avant du front chaud, qui ont donné des tornades, ont été moins bien couvertes. La veille fut lancée tôt comme mentionné antérieurement. La première alerte pour les secteurs de Lac Mégantic et Weedon, où se trouve Lac-Drolet, a été mis en alerte à 2231 TU, soit 20 minutes avant l'événement quand les surplombs sont apparus. Ceci est excellent. Aucune alerte ne fût cependant lancée pour le secteur de Saint-Gédéon avant la tornade mais il y avait certains autres secteurs de la Beauce en alerte pour des cellules orageuses similaires. Cela démontre bien la nature marginale de ces derniers orages.

Discussion

La longue ligne de convection qui s'est développée le 1^{er} août 2006 est-elle seulement une ligne de grain normale ou un Derecho? La question est difficile à trancher. Elle a toutes les caractéristiques d'une ligne de grain avec des orages épars qui s'organisent en ligne sur l'Abitibi vers 1830 TU. Cette ligne comporte des ondulations et des encoches à l'arrière où les dégâts par le vent ont été les plus intenses par descente du courant-jet de niveau moyen.

Cependant cette ligne s'étire éventuellement sur plus de 300 km de long à partir de 2300 TU. Son déplacement est d'abord assez lent mais accélère pour être de 80 km/h quand elle atteint la vallée du Saint-Laurent vers 00 TU. Ces deux caractéristiques sont associables à un Derecho. De plus, entre sa naissance vers 18 TU et sa dissipation, la ligne a vécu au moins 8 heures comme le montre la Figure 19.

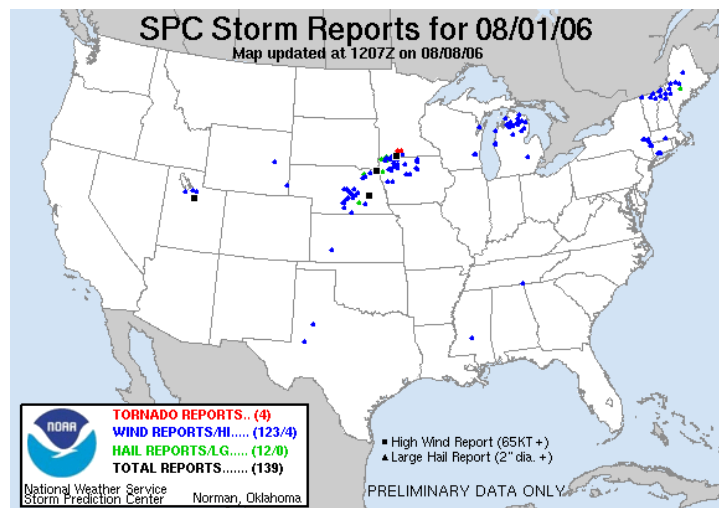


Figure 19: Compilation des dommages aux États-Unis d'Amérique le 1er août 2006. On remarque des dégâts par le vent à la frontière avec le Québec dans le Vermont, le New-Hampshire et le Maine (points bleus) et, selon les rapports, ils se sont produits avec la ligne d'orages organisés après 00 à 02 TU le 2 août 2006.

Est-ce que cela veut dire qu'on doit définir toute ligne de grain de grande longueur comme étant un Derecho. On peut noter que plusieurs cas de l'été 1994 ont une signature similaire avec un front froid actif traversant de l'Ontario vers le Nouveau-Brunswick. Dans le site du SPC précédemment mentionné, le cas du 4-5 juillet 1999 est mentionné comme l'un des plus nordiques événements de Derecho connu et il a suivi un corridor allant de l'Abitibi à l'Estrie soit un peu plus au sud que les orages du 1^{er} août.

Si on regarde la définition d'un derecho au site de Storm Prediction Center américain (SPC)³ et l'étude de Serge Mainville⁴ sur le sujet, il en existe deux types:

³ (<http://www.spc.noaa.gov/misc/AbtDerechos/derechofacts.htm>)

⁴ Mainville, S., 1999: Étude d'un DERECHO sur le sud du Québec : 4 et 5 juillet 1999 (http://qww/ibsme/wwwu/Cas_temps_violents/TV_04071999/derechototal.htm)

- Derecho en série (ou de saison froide) :
 - Associé avec une longue ligne de grain avec des lignes d'échos en arc (« Bow echoes »)
 - Présence d'une dépression et un front froid très marqué dans un fort creux d'altitude.
 - Direction de propagation le long du flux en altitude soit généralement parallèlement au front froid.
- Derecho progressif (ou estival) :
 - Se propage le long d'un front stationnaire dans un flux anticyclonique en altitude.
 - Courant-jet d'altitude loin au nord du front et faible courant-jet de bas niveau qui augmente la nuit par inversion radiative.
 - Suit la zone de maximum d'humidité.
 - Sa vitesse est plus grande que les vents moyens d'altitude.
 - Souvent une dégénération en fin de journée d'un Complexe convectif à méso-échelle (CCM) et qui se propage la nuit.

Dans le cas du 1^{er} août, on a certaines caractéristiques des deux types. En effet, on a un système dépressionnaire avec front froid mais il est dans un flux Ouest-Est ce qui veut dire que la ligne de Derecho devrait se déplacer vers l'Est pour un type en série. D'un autre côté, le courant-jet d'altitude est bien au nord du système, la circulation est légèrement anticyclonique ce qui rend le front chaud assez stationnaire mais pas le front froid. La zone d'humidité est dans l'axe où s'est déplacée la ligne d'orages et le jet de bas niveau est faible et parallèle au front froid pour le type progressif.

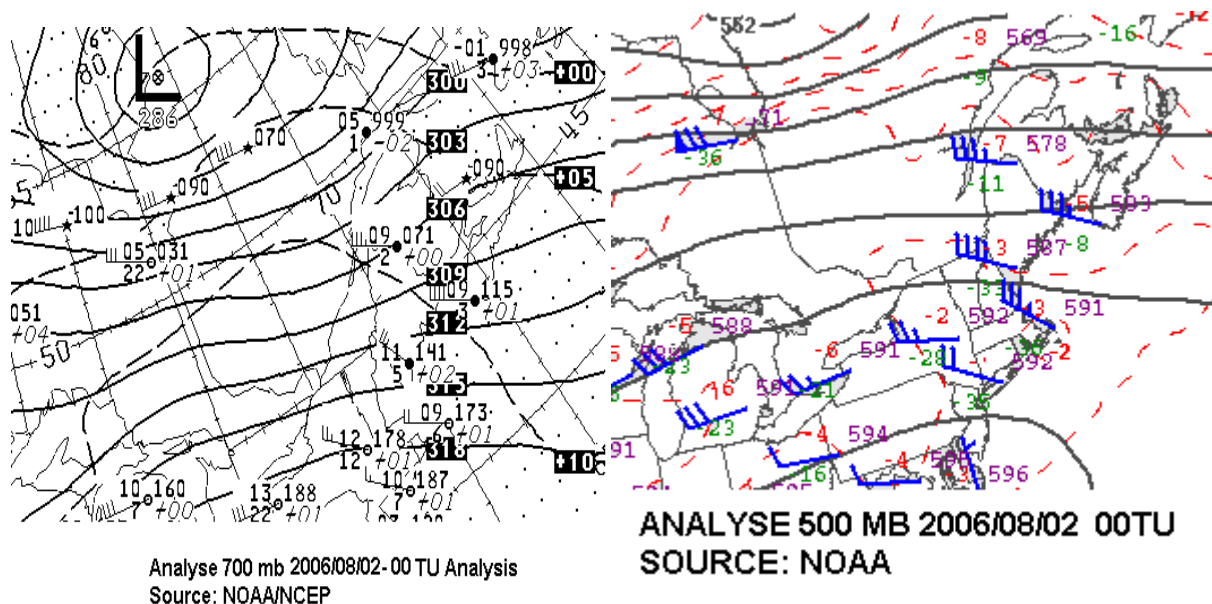


Figure 20 : Carte d'analyse à 700 mb ET 500 MB de 2006/08/02 à 00TU. Remarquez les vents d'ouest-nord-ouest entre 30 et 45 nœuds au-dessus du secteur chaud à ces deux altitudes.

C'est donc le type « progressif » qui est le plus probable mais la progression de la ligne d'orage à 80 km/h est assez similaire aux 40 nœuds (environ 75 km/h) des vents de 700 m et 500 mb (Figure 20). De plus, il n'y a jamais eu de CCM et le tout s'est produit en plein jour. Finalement, dans la Figure 13, la reformation que l'on voit sur le front de rafales se situe toujours à une distance plus ou moins égale de la ligne de convection. Ceci indique une synchronisation entre la vitesse de la ligne et celle des rafales, montrant que la ligne ne se déplace pas plus vite que les vents d'altitude.

Pour en avoir le cœur net, j'ai décidé de consulter les experts. Selon une étude climatologique américaine récente⁵, les auteurs ont utilisé comme définition du Derecho comme toute ligne d'orages de 400 km de longueur qui cause des dommages importants par le vent tout le long de sa trajectoire et qui durent plusieurs heures. Cette définition ne tient pas vraiment compte du processus de formation et englobe des phénomènes pas nécessairement similaires. Pris dans ce contexte, le cas de la ligne d'orage du 1^{er} août est marginalement un Derecho. En effet, elle mesurait seulement à son apex autour de 300 km même si elle a causé des dommages très importants tout au long de sa trajectoire.

Conclusion

Bien que la ligne d'orages ait plusieurs des caractéristiques d'un Derecho, le fait qu'elle se déplace à la vitesse de la circulation des niveaux moyens et en avant d'un front froid l'élimine de cette définition. Je conclus donc qu'il s'agit seulement d'une ligne de grain particulièrement intense.

La simulation par le GEM-LAM correspond assez bien à ce qui s'est passé dans la réalité avec le développement d'une forte ligne de grain avec le front froid et de cellules orageuses supercellulaires avec le front chaud. Cependant, la longueur de la ligne et la synchronisation du développement laisse encore à désirer.

⁵ Ashley, W. S., and T. L. Mote, 2005: Derecho hazards in the United States. (<http://ams.allenpress.com/archive/1520-0477/86/11/pdf/i1520-0477-86-11-1577.pdf>)

BIBLIOGRAPHIE

- Ashley, W. S., and T. L. Mote, 2004: Hazards of long-lived convectively generated high winds in the United States. Preprints, *22nd Conf. on Severe Local Storms*, Hyannis, MA, Amer. Meteor. Soc, Paper 7A.2, 5 pp.
- Ashley, W. S., and T. L. Mote, 2005: Derecho hazards in the United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **86**, 1577-1592. (<http://ams.allenpress.com/archive/1520-0477/86/11/pdf/i1520-0477-86-11-1577.pdf>)
- Bosart, L. F., W. E. Bracken, A. Seimon, J. W. Cannon, K. D. LaPenta, and J. S. Quinlan, 1999: The evolution of warm season continental anticyclones and their contribution to derecho environments. Preprints, *17th Conf. on Wea. Analysis and Forecasting*, Denver, CO, Amer. Meteor. Soc., 100-103.
- Burgess, D. W., and B. F. Smull, 1990: Doppler radar observations of a bow echo with a long-track severe windstorm. Preprints, *16th Conf. on Severe Local Storms*, Kananaskis Park, AB, Canada, Amer. Meteor. Soc., 203-208.
- Burke, P. C., and D. M. Schultz, 2004: A climatology of cold-season bow echoes over the continental United States. *Wea. Forecasting*, **19**, 1061-1074.
- Coniglio, M. C., D. J. Stensrud, and M. B. Richman, 2004: An observational study of derecho-producing convective systems. *Wea. Forecasting*, **19**, 320-337.
- Coniglio, M. C., and D. J. Stensrud, 2004: Interpreting the climatology of derechos. *Wea. Forecasting*, **19**, 595-605.
- Corfidi, S. F., 2003: Cold Pools and MCS Propagation: Forecasting the motion of downwind-developing MCSs. *Wea. Forecasting*, **18**, 265-285.
- Corfidi, S. F., D. A. Imy, S. J. Taylor, and A. Logan, 2004: A preliminary investigation of derecho-producing MCSs in environments of very low dew points. Preprints, *22nd Conf. on Severe Local Storms*, Hyannis, MA, Amer. Meteor. Soc, Paper P4.7, 6 pp.
- Hamilton, R. E., 1970: Use of detailed radar data in mesoscale surface analysis of the July 4, 1969 storm in Ohio. Preprints, *14th Radar Meteorology Conf.*, Tucson, AZ, Amer. Meteor. Soc., 339-342.
- Johns, R. H. 1993: Meteorological conditions associated with bow echo development in convective storms. *Wea. Forecasting*, **8**, 294-299.
- Johns, R. H., and W. D. Hirt, 1987: Derechos: widespread convectively induced windstorms. *Wea. Forecasting*, **2**, 32-49.

Leduc, M., and P. Joe, 1993: Bow echo storms near Toronto Canada associated with very low buoyant energies. Preprints, *17th Conf. on Severe Local Storms*, St. Louis, MO, Amer. Meteor. Soc., 573-576.

Lee, W. -C., R. M. Wakimoto, and R. E. Carbone, 1992: The evolution and structure of a "bow-echo-microburst" event. Part II: The bow echo. *Mon Wea. Rev.*, **120**, 2211-2225.

Mainville, S., 1999: Étude d'un DERECHO sur le sud du Québec : 4 et 5 juillet 1999. Note technique, Région du Québec, 99N-04, Environnement Canada.

Staudenmaier, M.J. and S. Cunningham, 1996: An examination of a dynamic cold season bow echo in California. NWS Western Region Technical Attachment 96-10.

ANNEXE

AWCN60 CWUL 020143

SOMMAIRE DES EVENEMENTS METEOROLOGIQUES SIGNIFICATIFS
POUR LE QUEBEC EMIS PAR ENVIRONNEMENT CANADA MONTREAL
A 11H00 HAE LE MARDI 1 AOUT 2006.

DATE / HEURE(LCL) REGION(S) LOCALITE(S) EVENEMENT(S)

01/18-20H MONT-LAURIER MONT-LAURIER R POSS (ARBRES CASSES)
01/19-21H HAUTE GATINEAU MANIWAKI-LOW R POSS (ARBRES CASSES)
G POSS(1/2-1) CM

01/21H53 HUNTINGDON NAPIERVILLE R (93 KM/H)

01/21-22H MONTREAL DORVAL R (94 KM/H)
01/20H52 ST-HUBERT R (93 KM/H)

01/20H43 VALLEE DU RICHELIEU VARENNE R (107 KM/H)
01/20H10 CONTRECOEUR R POSS (110 KM/H)
01/21H00 ST-HYACINTHE R POSS (87 KM/H)

01/19-20H LAURENTIDES ST-JOVITE PT POSS (24 MM)
ST-SAUVEUR R POSS (ARBRES CASSES)
ST-AGATHE R POSS (ARBRES CASSES)

01/19-20H LANAUDIERE ST-LIN R POSS (76 KM/H)
MANDEVILLE R POSS (ARBRES CASSES)
ST-DONAT R POSS (ARBRES CASSES)

01/21H LACHUTE-ST-JEROME BLAINVILLE R POSS (ARBRES CASSES)

01/20H30 MAURICIE TROIS-RIVIERES G POSS(1/2-1) CM
01/20H22 LAC-ST-PIERRE R POSS (85(KM/H))
01/20H34 DRUMMONDVILLE NICOLET R (90 KM/H)
01/18 :50H ESTRIE LAC DROLET T (F2)
01/21H53 LENNOXVILLE R (100 KM/H)
01/21H52 SHERBROOKE R (89 KM/H)
01/21H42 STE-SABINE R POSS (78 KM/H)
01/21-22H COATICOOK R POSS (ARBRES CASSES)
01/21-22H GRANBY R POSS (ARBRES CASSES)
01/18 :50H BEAUCE ST-GEDEON T (F1-F2)
01/21-23H LAC ETCHEMIN R POSS (ARBRES CASSES)
01/21-23H STE-JUSTINE G POSS (1-2 CM)
PT POSS (SOUS SOL INONDES)
01/20H49 QUEBEC VILLE QUEBEC R (90 KM/H et ARBRES CASSES)
01/20H40 ISSOUDUN R POSS (ARBRES CASSES)
ST-AUGUSTIN R POSS (ARBRES CASSES)
01/20H41 LAC-ST-JEAN ST-GEDEON R POSS (76 KM/H)

CODE:

G= GRELE R= RAFALE PT= PLUIES TORRENTIELLES
PA= PLUIE ABONDANTE T= TORNADE TN= NUAGE EN FORME D ENTONNOIR
VV= VENTS VIOLENTS POSS= POSSIBLE

Communiqué du gouvernement du Québec

ORAGES ET VENTS VIOLENTS SURVENUS ENTRE LE 1ER ET LE 3 AOÛT 2006 : MISE EN OEUVRE DU PROGRAMME GÉNÉRAL D'AIDE FINANCIÈRE LORS DE SINISTRES

QUÉBEC, le 6 sept. /CNW Telbec/ - Le ministre de la sécurité publique, M. Jacques P. Dupuis, annonce la mise en oeuvre du Programme général d'aide financière lors de sinistres en raison des orages et des vents violents survenus entre le 1er et le 3 août 2006. Dix-neuf municipalités pourront bénéficier du programme.

Le ministre fait le point : «Soyez certains que le gouvernement du Québec soutient les efforts des autorités locales et qu'il vient en aide aux citoyennes et aux citoyens sinistrés pour que la population retourne à la vie normale le plus tôt possible. Par conséquent, tout est déployé pour assurer la sécurité de la population touchée par ce sinistre».

Le Programme général d'aide financière lors de sinistres mis en oeuvre aujourd'hui constitue une aide de dernier recours qui couvrira notamment certains dommages liés aux résidences principales et aux infrastructures municipales. Les entreprises et les organismes peuvent également être admissibles à ce programme si leurs biens essentiels ont été endommagés. Les représentants du ministère de la Sécurité publique ont déjà communiqué avec les autorités municipales. Des renseignements sur ce programme, de même que les formulaires de réclamation, sont disponibles à l'adresse électronique suivante : www.msp.gouv.qc.ca.

Enfin, le ministre a tenu à préciser que «ce genre de sinistre nécessite une intervention concertée de la part d'intervenants, non seulement en sécurité civile, mais aussi de plusieurs autres partenaires, d'où l'importance de souligner leur travail et de rappeler aux citoyennes et aux citoyens du Québec qu'ils peuvent compter sur leur collaboration, peu importe le sinistre auquel ils font face».

Municipalités admissibles au Programme général d'aide financière lors de sinistres en raison des orages et vents violents survenus entre le 1er et le 3 août 2006

Municipalités	Circonscriptions électorales
Abercorn	Brome-Missisquoi
Denholm	Gatineau
Dixville	Mégantic-Compton
Frelighsburg	Brome-Missisquoi
Lac-Drolet	Mégantic-Compton
La Minerve	Labelle
La Pêche	Gatineau
Rosemère	Groulx
Sainte-Justine	Bellechasse
Sainte-Marthe	Soulanges
Sainte-Mélanie	Berthier
Sainte-Sabine	Bellechasse
Saint-Armand	Brome-Missisquoi
Saint-Hubert-de-Rivière-du-Loup	Rivière-du-Loup
Saint-Lazare	Soulanges
Saint-Théophile	Beauce-Sud
Saint-Ulric	Matane
Sutton	Brome-Missisquoi
Très-Saint-Rédempteur	Soulanges

Article de Radio-Canada

(Mise à jour le dimanche 6 août 2006 à 7 h 19)

5000 foyers toujours privés d'électricité

Dernières nouvelles



Environ 5000 foyers sont toujours privés d'électricité au Québec, à la suite des violents orages de mardi soir.

Des monteurs de ligne en provenance des États-Unis, du Nouveau-Brunswick et de l'Ontario sont venus prêter main-forte à leurs collègues de la société d'État.

La majorité des victimes des pannes se trouvent dans les Laurentides. Certains d'entre eux pourraient devoir attendre jusqu'à lundi soir avant

de retrouver le courant.

Des municipalités dont les citoyens sont toujours privés de courant s'organisent pour leur venir en aide. Certaines d'entre elles ont ouvert des centres d'hébergement temporaires. Des organismes offrent aussi d'entreposer la nourriture des résidents dans des réfrigérateurs.

Au plus fort des orages, vers 23 h mardi soir, quelque 470 000 abonnés d'Hydro-Québec, dont 100 000 dans les Laurentides, ont été privés de courant.

Les orages, accompagnés de vents pouvant atteindre les 150 km/h, ont causé la mort de deux personnes. Des centaines d'arbres ont été fracassés, plusieurs d'entre eux ayant percuté des fils électriques et des transformateurs.

Source : <http://www.radio-canada.ca/nouvelles/regional/modele.asp?page=/regions/Montreal/2006/08/03/001-pannes-electricite.shtml>

PHOTOS DES DÉGÂTS



Figure 21: Région des Laurentides au nord de Montréal, secteur de La Minerve, où on voit bien le chablis causé par la micro-rafale.



Figure 22: Arbre cassé par le vent à Terrebonne près de Montréal, typique de ce qui est arrivé tout le long du trajet de la ligne d'orages organisés.



Figure 23: Dégâts sur la rue Père Marquette à la haute-ville de Québec. La position des arbres tombés est indiquée sur la carte en haut et leur sens des cassures montrent bien le caractère de micro-rafales.



Figure 24: Image de la tornade à Lac-Drolet au nord-est de Lac-Mégantic dans l'Estrie où on voit très bien l'entonnoir en haut à gauche. Les dégâts, dont cette auto renversée et la maison soufflée, sont caractéristiques du tornade de force F2. Le diagramme montre la trajectoire de la tornade selon la position des dégâts.



Figure 25: Dégâts de la tornade de Saint-Gédéon de Beauce de type F1 à F2, plus de 1 000 arbres tombés.

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1: L'IMAGE DE GAUCHE MONTRE LES COUPS DE Foudre ENTRE 18 TU LE 1ER AOÛT 2006 ET 04 TU LE 2 AOÛT 2006 (76 000+). ON Y VOIT LE LARGE CORRIDOR AFFECTÉ PAR LES ORAGES. LE GRAPHIQUE INTÉGRÉ AU CENTRE MONTRE LA VARIATION TEMPORELLE DU TAUX DURANT LA PÉRIODE. DANS L'IMAGE DE DROITE, ON VOIT LA SUPERPOSITION DE CETTE ZONE D'ORAGES ET LES RAPPORTS DE DOMMAGES PAR LE VENT ET LES DEUX TORNADES. IL EST À NOTER QUE CES SIGNALEMENTS SONT SURTOUT DANS DES ZONES FORTEMENT PEUPLÉES ET QU'ILS NE SONT QU'UNE FAIBLE PORTION DES DÉGÂTS RÉELS.	3
FIGURE 2 : ANALYSE DE SURFACE DE 12 TU LE 1ER AOÛT ET DE 00TU LE 2 PAR NOAA.....	5
FIGURE 3 : VENTS DE 250 MB MONTRANT LE DÉPLACEMENT DU COURANT-JET ENTRE 12TU LE 1ER ET 00TU LE 2 AOÛT 2006 (SOURCE NCEP/NCAR).....	5
FIGURE 4 : VENTS DE 925 MB MONTRANT LE DÉPLACEMENT DU COURANT-JET DE BAS NIVEAU ENTRE 12TU LE 1ER ET 00TU LE 2 AOÛT 2006 (SOURCE NCEP/NCAR).....	6
FIGURE 5: HUMIDITÉ DISPONIBLE DURANT TOUTE LA JOURNÉE DU 1ER AOÛT 2006. ON VOIT QUE LE MAXIMUM EST DE 50 MM ET QUE L'AXE TIMMINS, ON À MONTRÉAL DANS LE SECTEUR CHAUD MARITIME EST PARTOUT AU-DESSUS DE 40 MM.....	6
FIGURE 6: TÉPHIGRAMME DE MANIWAKI, QC (CWMN) À 1200TU LE 1ER AOÛT 2006. LA COURBE NOIRE EST LA TEMPÉRATURE (T), CELLE EN GRIS REPRÉSENTE LE POINT DE ROSÉE (Td), LA BLEUE EST LA TEMPÉRATURE DU THERMOMÈTRE MOUILLÉ (Tw) ET LA ROUGE LA TEMPÉRATURE À 00 TU. LA ZONE EN JAUNE REPRÉSENTE L'ÉNERGIE POTENTIELLE DE CONVECTION DISPONIBLE (EPCD= 2894 J/KG) AVEC T=34C ET Td=22C TYPIQUE DE LA MASSE D'AIR CET APRÈS-MIDI-LÀ.....	7
FIGURE 7: HODOGRAPHE DE MANIWAKI, QC (CWMN) À 12 TU LE 1ER AOÛT 2006. LE CISAILLEMENT TOTAL SOUS 6 KM EST DE $1.15 \times 10^{-2}/s$ ET ON REMARQUE UNE BOUCLE ENTRE 3 000 ET 14 000 PIEDS. AVEC L'EPCD ET CE CISAILLEMENT, ON OBTIENT UN INDICE DE SÉVÉRITÉ (SSI) DE 135, CE QUI INDIQUE QUE DES ORAGES VIOLENTS SONT TRÈS PROBABLES AVEC PLUIE TORRENTIELLES, RAFALES VIOLENTES ($\Delta\theta_e=22C$ ET/OU TORNADES (EHI=3,6).	7
FIGURE 8 :HODOGRAPHE DE KAPX À 12 TU LE 1 ^{ER} AOÛT DANS LE NORD DU MICHIGAN QUI EST TRÈS REPRÉSENTATIF DES VENTS PRÈS DU FRONT FROID.....	8
FIGURE 9: PRÉVISION DES ZONES À RISQUE DE TEMPS VIOLENT POUR LE 1ER AOÛT 2006. À GAUCHE, ON A LA PRÉVISION FAITE LE 31 JUILLET ET À DROITE CELLE FAITE LE MATIN DES ÉVÉNEMENTS. ON NOTE LA POSSIBILITÉ DE TORNADE (T) MENTIONNÉ-.....	8
FIGURE 10: À GAUCHE, SÉRIE D'IMAGES SATELLITES VISIBLES SUR LESQUELLES LES ÉCHOS DES RADARS (CAPPI DE 1,5 KM D'ALTITUDE) SONT SUPERPOSÉS DE 1815 À 2155 TU, SOIT DE 14H15 À 17H55 HAE. À DROITE, LA PRÉVISION DE RÉFLECTIVITÉS SIMULÉES DU GEM-LAM POUR LES MÊMES HEURES AVEC LES MINCES LIGNES BLEUES REPRÉSENTANT LES ZONES OÙ LA RÉFLECTIVITÉ AUX NIVEAUX SUPÉRIEURES EST PLUS FORTE (SURPLOMB) ET LES LIGNES NOIRES INDIQUANT LE POTENTIEL DE RAFALES DE PLUS DE 80 KM/H DANS LES IMAGES DE DROITE.....	10
FIGURE 11: À GAUCHE, SÉRIE D'IMAGES SATELLITE VISIBLES ET INFRAROUGES SUR LESQUELLES LES ÉCHOS DES RADARS (CAPPI DE 1,5 KM D'ALTITUDE) SONT SUPERPOSÉS DE 2310 TU LE 1 ^{ER} À 0155 TU LE 2, SOIT DE 19H10 À 21H55 HAE. À REMARQUER QUE LA LIGNE SEMBLE S'ATTÉNUER ET SE FRAGMENTER SUR LA DERNIÈRE IMAGE RADAR MAIS CELA EST DÛ À LA PERTE DU RADAR DE MCGILL (WMN) ET À L'ATTÉNUATION SUR LE RADAR DE VILLEROY (WVY) , QUI EST DE 5 CM DE LONGUEUR D'ONDE. À DROITE, LES SORTIES DU GEM-LAM QUI LEUR CORRESPONDENT.....	11
FIGURE 12 : ZOOM SUR LA LIGNE D'ORAGES À 0054 TU (GAUCHE) QUI MONTRENT LES ONDULATIONS EN RÉFLECTIVITÉ ET LE FRONT DE RAFALES DANS LES DONNÉES DOPPLER (DROITE).....	12
FIGURE 13: ON VOIT DANS LA SÉRIE DE COUPES UNE STRUCTURE TYPIQUE DE LIGNE DE GRAIN AVEC LES ZONES CONVECTIVES À L'AVANT (AVEC PENTE ARRIÈRE) ET STRATIFORMES À L'ARRIÈRE.	12
FIGURE 14 : ZOOM DE LA LIGNE D'ORAGE SUR LE GEM-LAM À 01 TU LE 2 AOÛT AVEC EN COULEUR LES RÉFLECTIVITÉS, LES LIGNES BLEUES DONNENT LES ZONES EN SURPLOMB ET LES LIGNES NOIRES DONNENT LES RAFALES DE PLUS DE 80 KM/H AVEC MAXIMUM INDIQUÉ.	13
FIGURE 15: MINI-SUPERCELLULES QUI ONT DONNÉ DEUX TORNADES (LAC-DROLET ET ST-GÉDÉON). SUR L'IMAGE DE GAUCHE DU CAPPI DE 1,5 KM À 2219 TU, DEUX CERCLES NOIRS INDIQUENT DES SURPLOMBS ET ON PEUT REMARQUER UNE FORME EN CROCHET DANS LES RÉFLECTIVITÉS SUR CES CELLULES. SUR L'IMAGE DE DROITE À 2249TU, LA CELLULE À L'OUEST DE SAINT-LUDGER A ENCORE UN SURPLOMB ALORS QUE L'AUTRE SEMBLE PLUS ANODINE.	14
FIGURE 16: COUPE VERTICALE DE LA CELLULE TORNADIQUE DE LAC DROLET.....	14

FIGURE 17 : LES DONNÉES DOPPLER MONTRENT UN DOUBLET DE VITESSE AUX MÊME TEMPS QUE SUR LES FIGURES PRÉCÉDENTES. DANS L'IMAGE DE DROITE, ON UTILISE ICI LES DONNÉES DE LONGUE PORTÉE (160 KM AU RADAR) À RÉOLUTION FAIBLE.	14
FIGURE 18 : ZOOM SUR LES SUPERCELLULES SIMULÉES EN BEAUCE VERS 22 TU. À GAUCHE LES RÉFLECTIVITÉS AVEC LES ZONES DE SURPLOMB (LIGNE BLEUE) ET LES RAFALES POTENTIELLES (NOIRE). À DROITE LES ZONES DE MÉSO ET/OU CISAILLEMENT EN ROUGE.	16
FIGURE 19: COMPILATION DES DOMMAGES AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE LE 1ER AOÛT 2006. ON REMARQUE DES DÉGÂTS PAR LE VENT À LA FRONTIÈRE AVEC LE QUÉBEC DANS LE VERMONT, LE NEW-HAMPSHIRE ET LE MAINE (POINTS BLEUS) ET, SELON LES RAPPORTS, ILS SE SONT PRODUITS AVEC LA LIGNE D'ORAGES ORGANISÉS APRÈS 00 À 02 TU LE 2 AOÛT 2006.	17
FIGURE 20 : CARTE D'ANALYSE À 700 MB ET 500 MB DE 2006/08/02 À 00TU. REMARQUEZ LES VENTS D'OUEST-NORD-OUEST ENTRE 30 ET 45 NŒUDS AU-DESSUS DU SECTEUR CHAUD À CES DEUX ALTITUDES.	18
FIGURE 21: RÉGION DES LAURENTIDES AU NORD DE MONTRÉAL, SECTEUR DE LA MINERVE, OÙ ON VOIT BIEN LE CHABLIS CAUSÉ PAR LA MICRO-RAFALE.	26
FIGURE 22: ARBRE CASSÉ PAR LE VENT À TERREBONNE PRÈS DE MONTRÉAL, TYPIQUE DE CE QUI EST ARRIVÉ TOUT LE LONG DU TRAJET DE LA LIGNE D'ORAGES ORGANISÉS.	26
FIGURE 23: DÉGÂTS SUR LA RUE PÈRE MARQUETTE À LA HAUTE-VILLE DE QUÉBEC. LA POSITION DES ARBRES TOMBÉS EST INDIQUÉE SUR LA CARTE EN HAUT ET LEUR SENS DES CASSURES MONTRENT BIEN LE CARACTÈRE DE MICRO-RAFALE.	27
FIGURE 24: IMAGE DE LA TORNADE À LAC-DROLET AU NORD-EST DE LAC-MÉGANTIC DANS L'ESTRIE OÙ ON VOIT TRÈS BIEN L'ENTONNOIR EN HAUT À GAUCHE. LES DÉGÂTS, DONT CETTE AUTO RENVERSÉE ET LA MAISON SOUFFLÉE, SONT CARACTÉRISTIQUES DU TORNADE DE FORCE F2. LE DIAGRAMME MONTRE LA TRAJECTOIRE DE LA TORNADE SELON LA POSITION DES DÉGÂTS.	28
FIGURE 25: DÉGÂTS DE LA TORNADE DE SAINT-GÉDÉON DE BEAUCE DE TYPE F1 À F2, PLUS DE 1 000 ARBRES TOMBÉS... 28	28