

# **ÉTUDE D'UN DERECHO SUR LE SUD DU QUÉBEC : 4 ET 5 JUILLET 1999**

Par Serge Mainville  
Environnement Canada  
BSME, Montréal

Note technique, Région du Québec, 99N-04

## **1- Introduction**

Durant la nuit du 5 juillet 1999, de violents orages ont tiré plusieurs personnes de leur sommeil. Certaines personnes ont contemplé le ciel devenu presque aussi clair qu'en plein jour grâce à la forte foudre, tandis que d'autres espéraient éviter le pire alors que les fortes rafales menaçaient leur domicile. À une vitesse de 100 km/h, ce derecho a traversé le sud du Québec du Témiscamingue jusqu'en Estrie en provoquant un décès et de nombreux dégâts sur son passage.

Le présent rapport expose tout d'abord la structure météorologique d'un derecho ainsi que les facteurs dynamiques et thermodynamiques favorables à son développement. On retrouve par la suite une description de la situation synoptique prévalant le 4 juillet 1999 et expliquant la formation du derecho ainsi que le maintien de celui-ci au niveau de stade mature le 4-5 juillet 1999. Finalement, un exemple de la structure radar de ce derecho précède un portrait des dommages obtenus cette nuit-là.

## **2- Description générale d'un derecho**

On appelle derecho tout système météorologique convectif extratropical qui se déplace rapidement et qui produit de très fortes rafales descendantes causant d'importants dommages généralisés (Fujita, Wakimoto, 1981). Le derecho dure plusieurs heures, même au-delà de 10 heures, et parcourt donc une très grande distance pouvant dépasser les 1000 km (Hirt, Johns, 1987). La trajectoire d'un tel système est en ligne droite, d'où son appellation empruntée à l'espagnol signifiant « tout droit ».

Le derecho peut posséder à la fois certaines caractéristiques des complexes convectifs à moyenne échelle (CCM) et à la fois celles des lignes de grain. C'est par la structure radar qu'on distingue le mieux le derecho de ces deux autres systèmes orageux. Les images radar montrent une ligne de grain orientée perpendiculairement au vecteur des vents moyens entre 5000 pieds et la tropopause et se déplaçant plus rapidement que la vitesse de ces mêmes vents (Hirt, Johns, 1987). Une crête dans l'onde des précipitations est située à l'extrémité nord de cette ligne de grain. On retrouve également un renflement sur la ligne de grain, renflement qui s'étire dans la direction des vents moyens en altitude et derrière lequel on observe du temps violent.

De fortes contributions dynamiques et thermodynamiques favorisent la formation de derechos, et l'instabilité qui en résulte doit se maintenir afin de conserver l'état du système. Hirt et Johns (1987) ainsi que Duke et Rogash (1992) expliquent qu'on doit retrouver une grande quantité d'instabilité potentielle (CAPE), et une forte instabilité conditionnelle résultant d'une humidité abondante à bas niveau et d'un air froid et sec à moyen niveau. Des forts vents dépassant les 40 noeuds accompagnent cet air des niveaux moyens. Entre le moment de la genèse du complexe orageux et celui de la maturité, le niveau de convection libre se rapproche de la surface. Un fort cisaillement de vents à bas niveau, sous les 2 km, provoque une forte circulation relative pénétrant le nuage à ce niveau, en grande partie grâce à la composante directionnelle du cisaillement. Dans les niveaux moyens, entre 4 et 6 km, le cisaillement doit s'affaiblir et perdre cette composante directionnelle afin que la circulation relative pénétrant le nuage devienne faible à son tour. Ce patron de vents relatifs aux nuages d'orage et l'apport thermodynamique

environnant contribuent à concentrer l'air froid dans les niveaux moyens nécessaire au maintien du derecho. Ces fortes valeurs d'énergie hydrostatique, ou de flottabilité, expliquent partiellement le fait que la propagation du derecho excède la vitesse des vents moyens (Lilly 1979).

L'intrusion, dans le nuage orageux, d'air sec des niveaux moyens cause un refroidissement par évaporation de l'air au sein du complexe. Le faible cisaillement de vent à ce niveau atténue le mélange de cet air refroidi avec l'air ambiant et permet une accélération de cet air refroidi vers le bas par équilibre hydrostatique. Ces vents, une fois à la surface, contribue en partie aux fortes rafales rencontrées. Le transport vers le bas du fort momentum des vents de la mi-troposphère ainsi que l'entraînement de l'air provoqué par la chute des précipitations constituent les autres contributions (Duke, Rogash, 1992). Les plus fortes rafales et, plus rarement, des tornades se trouvent donc tout juste derrière et au centre du renflement en forme d'arc observé sur la ligne de grain.

On observe deux types de derechos, un premier de saison chaude et un deuxième de saison froide. Bien que ces deux types partagent les conditions synoptiques et la structure radar décrites plus haut, certaines conditions les distinguent également.

À la fin du printemps et en été, le derecho du premier type se développe le long d'un creux d'onde courte à 500 mb, sur ou à l'est d'une crête d'onde longue à 500 mb relativement aplatie. Les vents y soufflent d'ouest ou d'ouest-nord-ouest. Le derecho se forme le long, ou parfois du côté froid, d'une zone frontale quasi-stationnaire généralement orientée est-ouest, et est associé à une aire de convergence le long de cette zone frontale, là où il existe une advection significative d'air chaud. L'humidité de surface et de bas niveau se concentre en un bassin le long et au sud de la zone de convergence, et le maximum d'humidité se trouve près du centre de la trajectoire du derecho (Hirt, Johns, 1987). Le derecho se déplace le long du gradient thermique de 850 et de 700 mb juste au nord de la crête thermique (Duke, Rogash, 1992). À plus haut niveau, le courant jet de 250mb circule dans une faible courbe anticyclonique à une distance pouvant dépasser les 400 km au nord de la zone de formation. Le derecho tend à se développer à l'entrée droite de ce courant jet et près d'une zone de diffluence en altitude (Hirt, Johns, 1987).

Le derecho de saison froide se produit à la fin de l'hiver et au printemps. Contrairement au premier type, on dénote, à 500 mb, un creux d'onde longue bien formé puis, en surface, un front froid en déplacement. Dans le secteur chaud, l'humidité de bas niveau ne se forme plus en bassin mais s'établit en une crête d'humidité s'étirant vers le nord. Le derecho se déplace à travers le gradient thermique de 850 et de 700 mb, très barocline, vers l'air plus chaud dans la crête thermique. L'air sec de moyen niveau se retrouve ici en amont de la zone de formation du derecho. Le courant jet de haut niveau circule dans la même courbe cyclonique observée à 500 mb. Le derecho se développe à l'entrée droite de ce courant jet cyclonique, mais là où se trouve une faible zone de diffluence en altitude (Duke, Rogash, 1992).

En annexe se trouve un résumé (tableau 1) des caractéristiques communes aux deux types de derecho. Le tableau suivant (tableau 2), inspiré par Duke et Rogash (1992), compare les paramètres météorologiques de chacun des types de derecho.

### 3- Situation synoptique

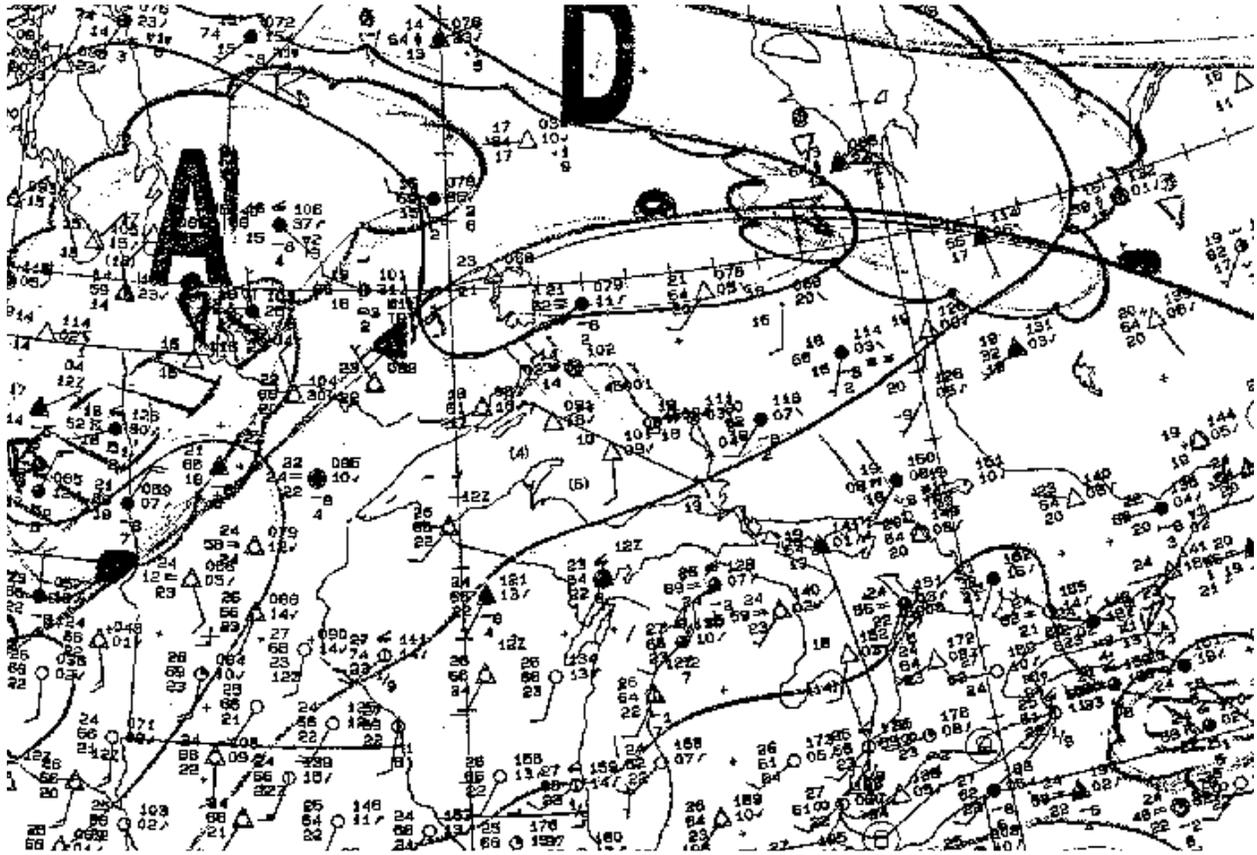


Figure 1- Analyse de surface 12Z le 4 juillet 1999

Durant la journée du 4 juillet 1999, on retrouve un creux frontal quasi-stationnaire qui s'étire du nord de Geraldton vers le secteur de Matagami puis vers le Nouveau-Brunswick (Figure 1). Un système orageux, apparemment un CCM, s'avance lentement le long de la frontière Ontario-Minnesota et demeure du côté froid de la structure frontale. Il prendra près de 8 heures pour atteindre le lac Supérieur. Dans le secteur chaud, les vents de surface soufflent généralement du sud-ouest à une dizaine de noeuds, et sur l'Ontario et le Wisconsin, l'humidité de surface se concentre de plus en plus en un bassin où les points de rosée grimpent à 24 degrés.

Le centre de l'Ontario et tout le sud du Québec se trouve, à 500 mb (Figure 2), sous une crête aplatie d'onde longue où les vents soufflent de 40 à 50 noeuds. Pickle Lake indique une dépression du point de rosée de 25 degrés près des orages. À 700 mb (Figure 3), l'air apparaît également sec près et en aval du système orageux, avec une dépression du point de rosée de 17 à

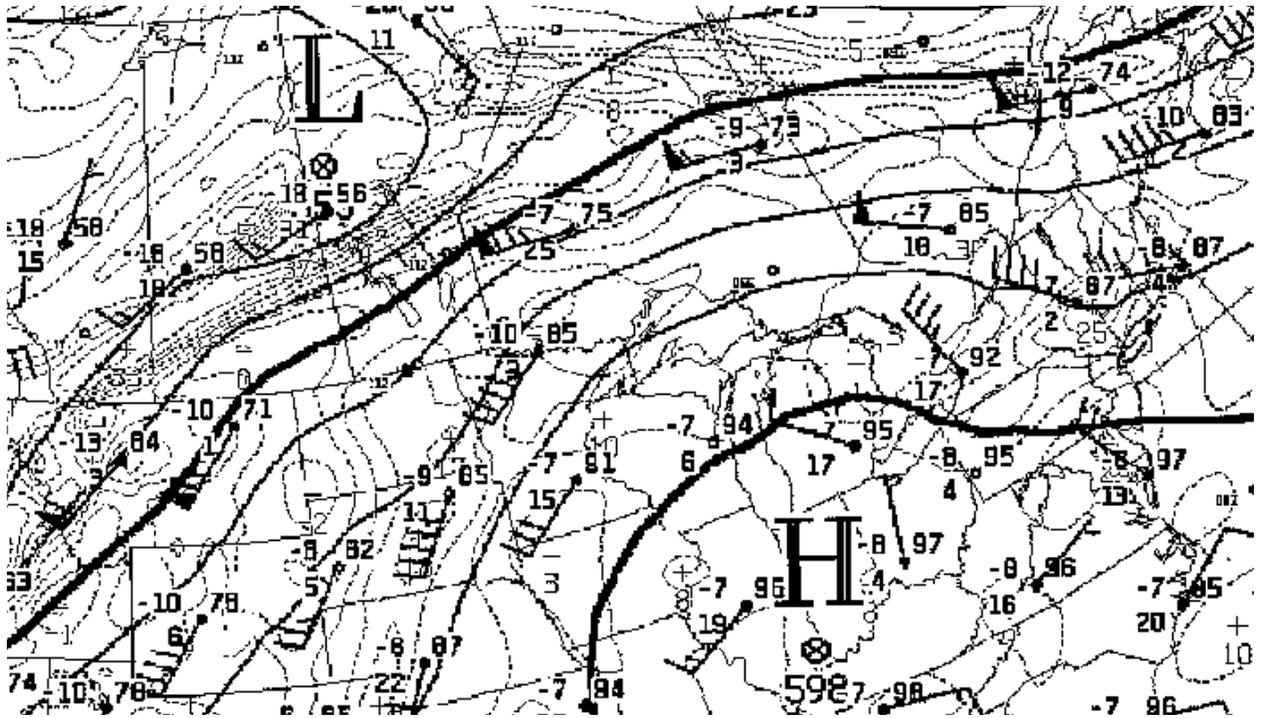


Figure 2 - Analyse 500mb à 12Z le 4 juillet 1999

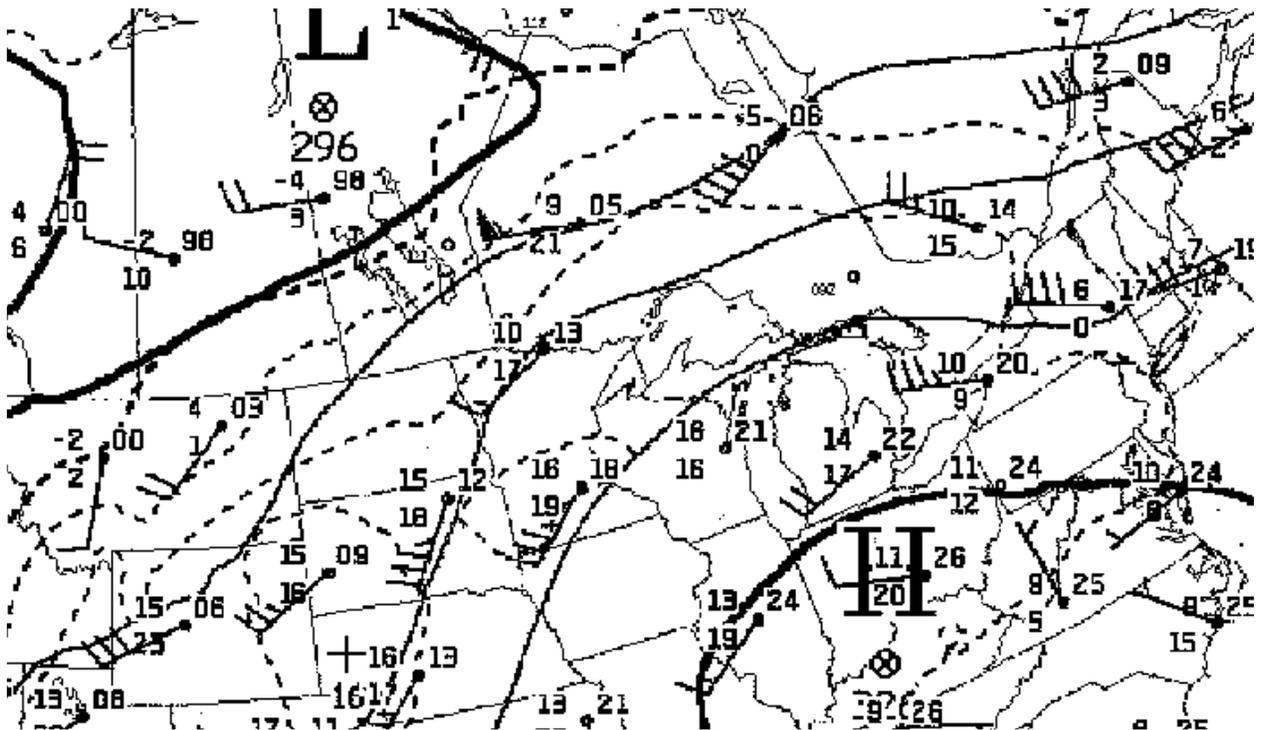


Figure 3 - Analyse 700mb à 12Z le 4 juillet 1999

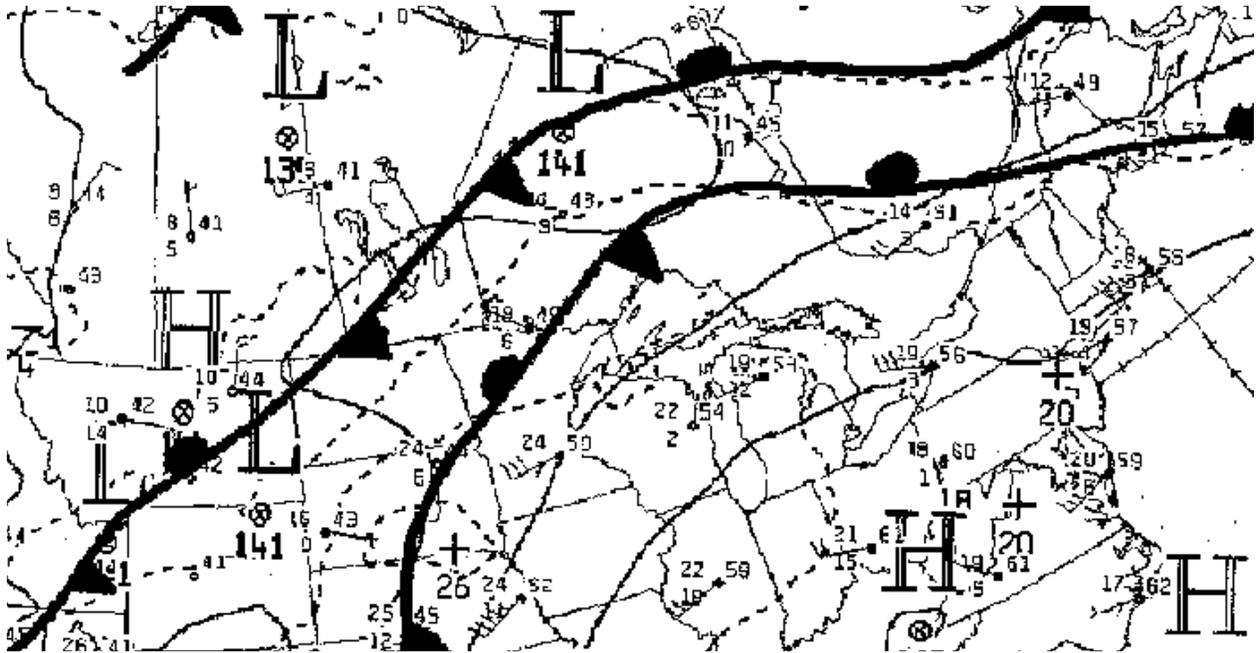


Figure 4 - Analyse 850mb à 12Z le 4 juillet 1999

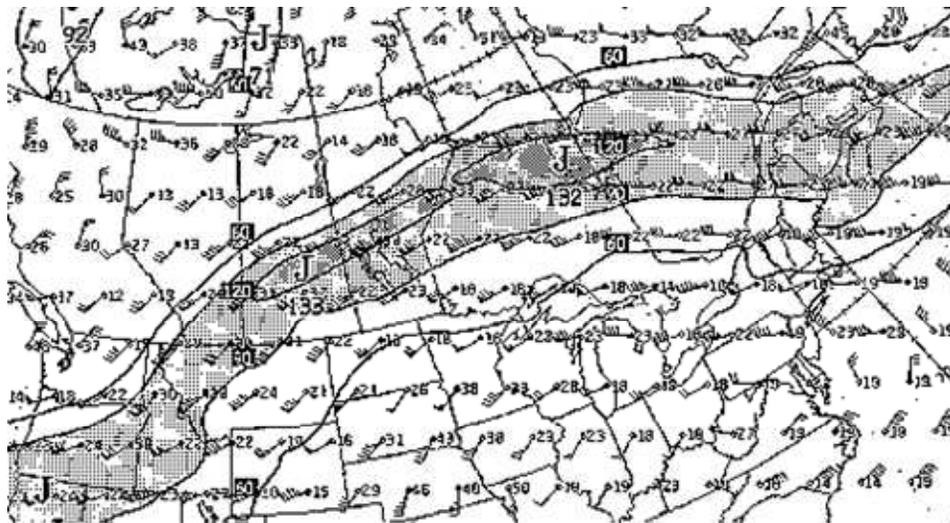
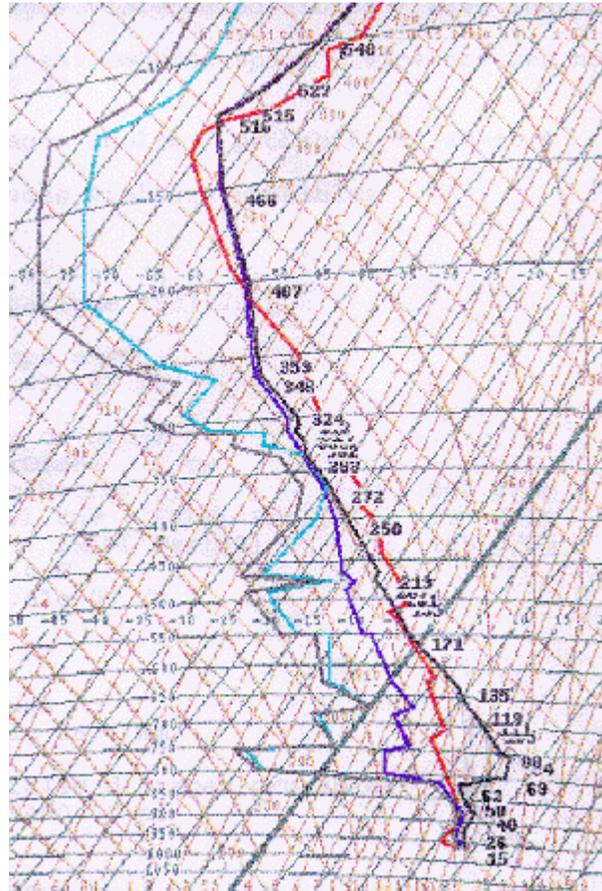
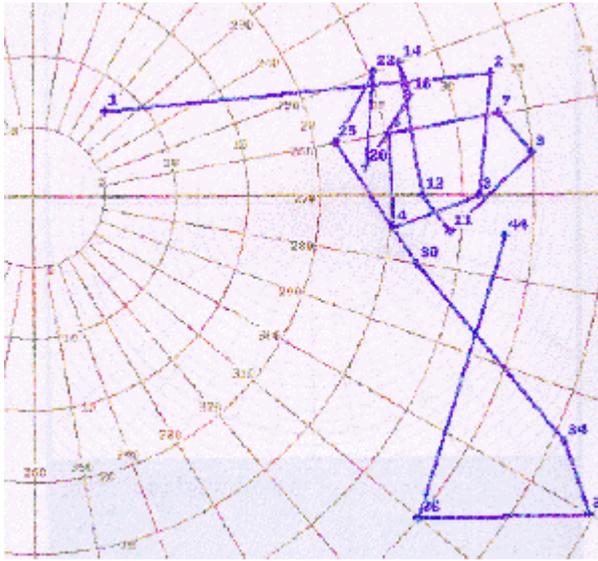


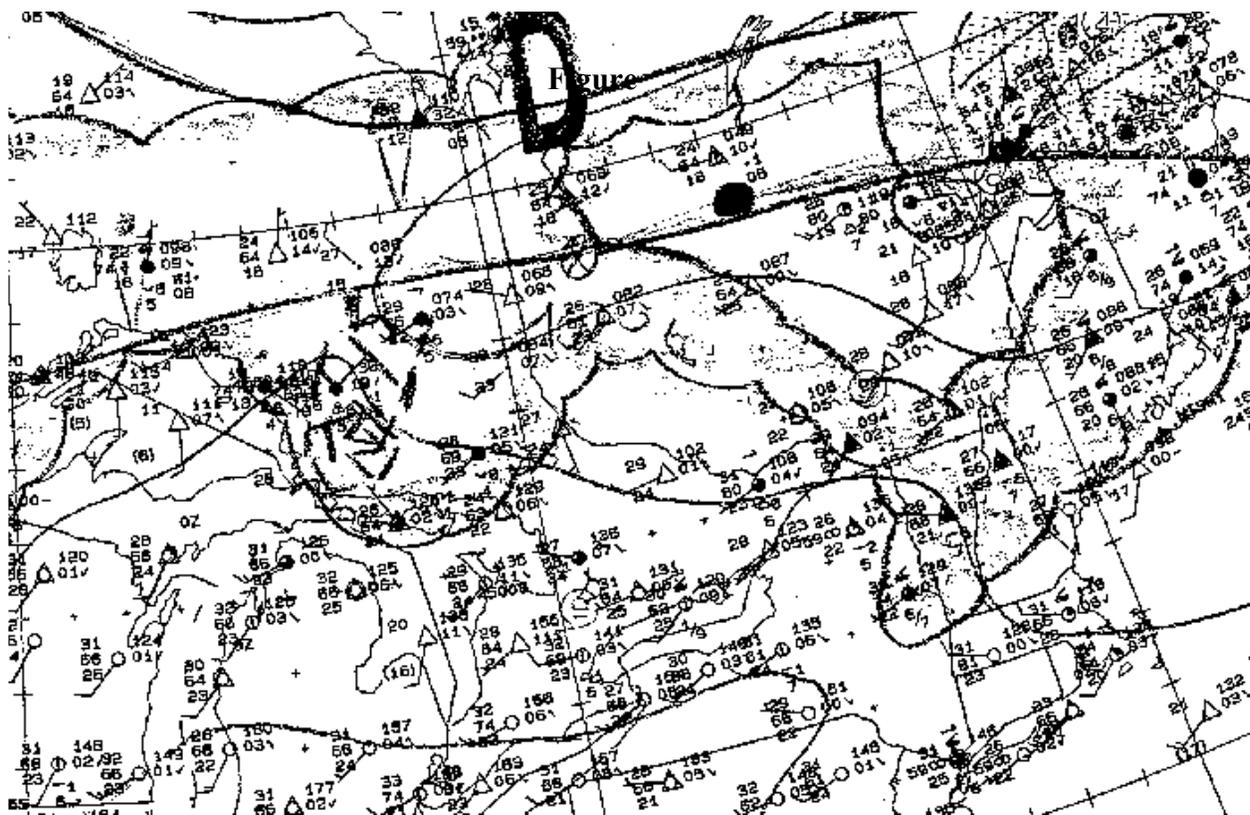
Figure 5 - Vents prévus à 00H par le modèle GEM à 12Z le 4 juillet 1999

21 degrés rapportée par International Falls et par Pickle Lake. On observe à 850 mb (Figure 4) près du lac Huron à la fois un maximum d'humidité et de l'advection d'air chaud. Le courant jet à haut niveau (Figure 5) circule en une légère courbe anticyclonique de l'extrême nord de l'Ontario vers le centre du Québec. Le cœur du courant jet se déplace vers l'est et maintient notre zone d'intérêt à son entrée droite. L'analyse des vents en altitude nous porte à croire que les vents moyens entre 5000 pieds et la tropopause soufflent à près de 35 noeuds.



**Figure 6 - Téphigramme et hodographe de Gaylor WI à 12Z le 4 juillet 1999**

Au matin du 4 juillet 1999, le téphigramme de Gaylor (Figure 6), station située dans les environs du bassin d'humidité et dans les environs des paramètres favorables en altitude, présente un degré d'instabilité très élevé. Malgré l'énergie négative causé par le couvercle (nez d'inversion ou « cap »), l'analyse des indices donne, sans modifications de paramètres initiaux, des indications de temps violent. L'énergie hydrostatique de 2563 J/kg dépasse les valeurs requises de 2400 pour la formation de derecho. Une fois l'effet de couvercle surpassé par le réchauffement diurne et surtout par advection d'air chaud à bas niveau, il existe alors un excellent potentiel de formation d'orages forts avec un niveau de convection libre autour des 750 mb. Une fois ces modifications apportées, la température potentielle équivalente de surface dépassera les 360 K révélateurs de derecho. Des valeurs élevées de SSI (123), de cisaillement ( $9,6 \times 10^{-3}$ ), de  $\Delta \Theta_e$  ( $28^\circ\text{C}$ ), de EHI (1,93), de quantités d'eau précipitable (36mm), et d'indice de soulèvement (-6) soutiennent le potentiel de formation d'orages violents. Le patron de cisaillement de vent, sur l'hodographe de Gaylor (Figure 6), indique un potentiel de formation de derecho : fort cisaillement sous 2 km (6000 pieds) en partie directionnel, et faible cisaillement entre 4 et 6 km (12000 et 18000 pieds) sans apport directionnel.



7 - Analyse de surface de 00Z le 5 juillet 1999

En fin de journée, le système orageux, une fois dans le secteur chaud, se met à accélérer vers le Québec et atteint une vitesse de près de 100 km/h. Il prendra environ 6 heures pour traverser la province, du Témiscamingue à l'Estrie. La zone frontale a peu bougé (Figure 7) et les vents sur le sud du Québec soufflent toujours du sud-ouest à une dizaine de noeuds. Un creux barométrique s'étend vers le sud à partir de la zone frontale et devient associé au système orageux. Le bassin d'humidité continue à mieux se définir, précède le système orageux et glisse sur le sud du Québec. Les points de rosée se maintiennent de 23 à 25 degrés malgré la nuit tombée.

La crête aplatie d'onde longue se maintient toujours à 500 mb (Figure 8) sur le sud du Québec et les vents soufflent à 50 noeuds. Le système orageux est associé à un creux d'onde courte qui traverse le secteur et avance à une vitesse plus grande que les 40 noeuds ouest-nord-ouest des vents moyens entre 5000 pieds et la tropopause. L'air sec en altitude se maintient toujours en aval du système orageux en soirée, car Maniwaki rapporte une dépression du point de rosée 23 degrés à 700 mb (Figure 9). On continue d'observer, dans le secteur chaud à 850 mb (Figure 10), à la fois un maximum d'humidité et de l'advection d'air chaud, cette fois sur le sud du Québec et sur le secteur adjacent à l'est du lac Ontario. Le sud du Québec se trouve à l'entrée droite du courant jet à 250 mb (Figure 11) qui circule de la baie de James au golfe du St-Laurent en gardant sa faible courbe anticyclonique.

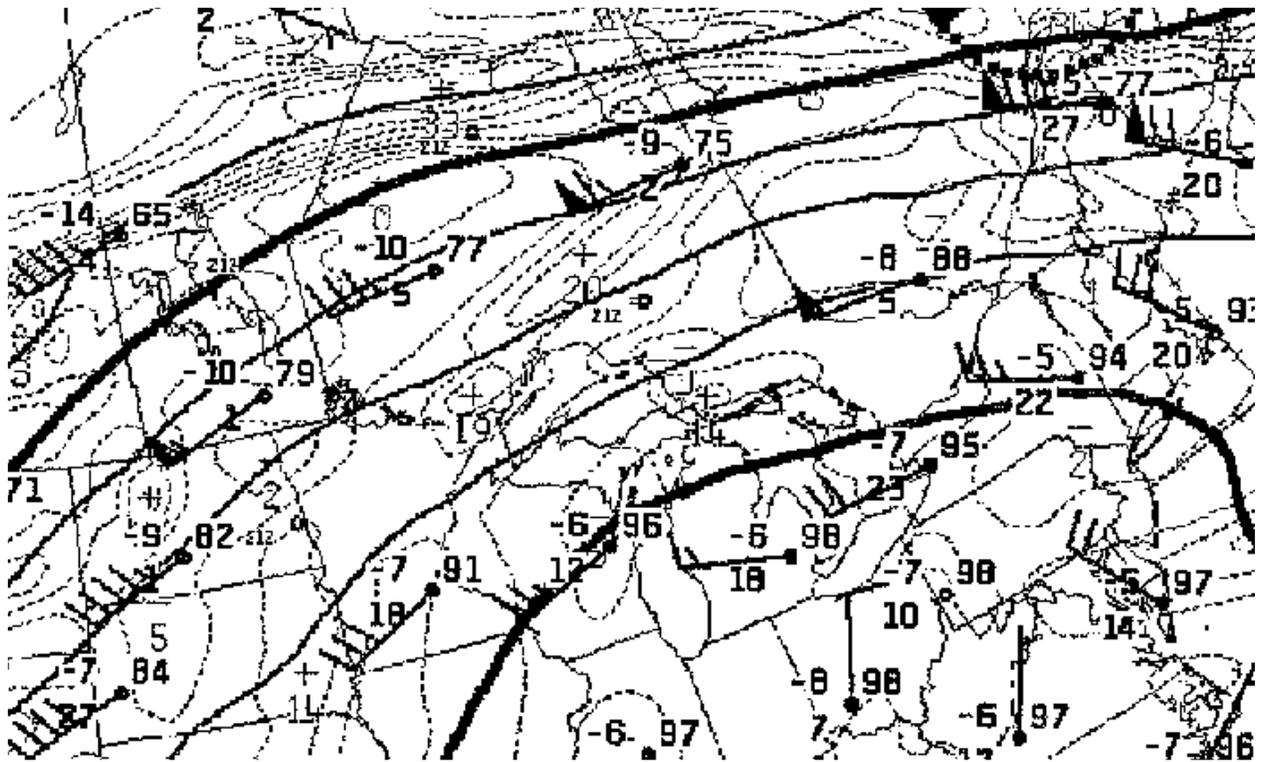


Figure 8 - Analyse 500mb à 00Z le 5 juillet 1999

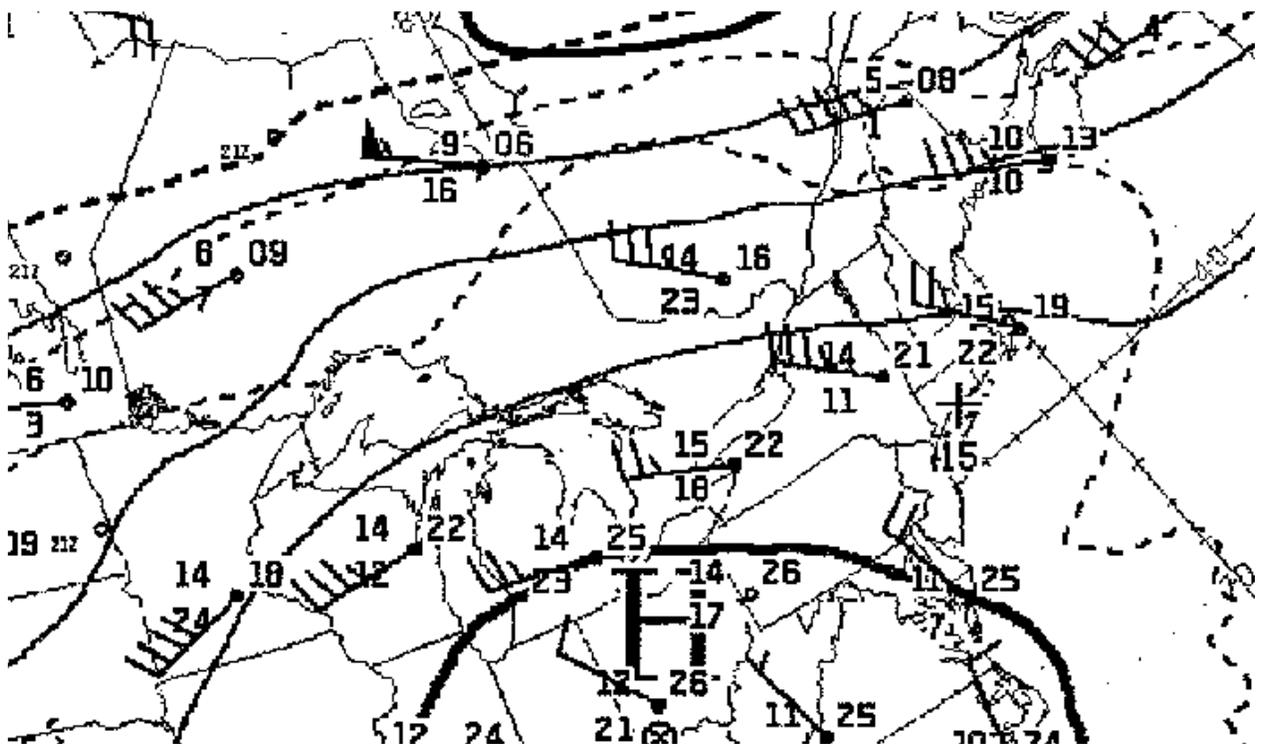


Figure 9 - Analyse 700mb à 00Z le 5 juillet 1999

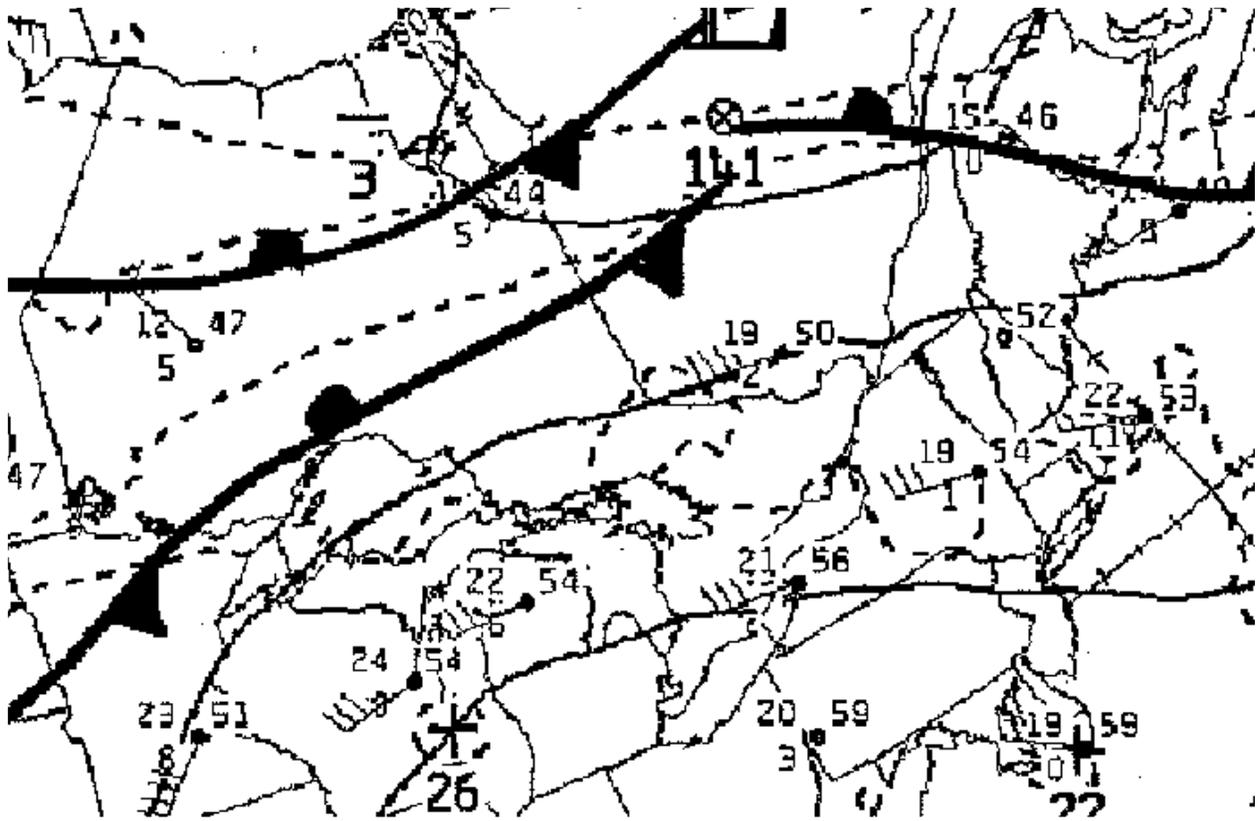


Figure 10 - Analyse 850mb à 00Z le 5 juillet 1999

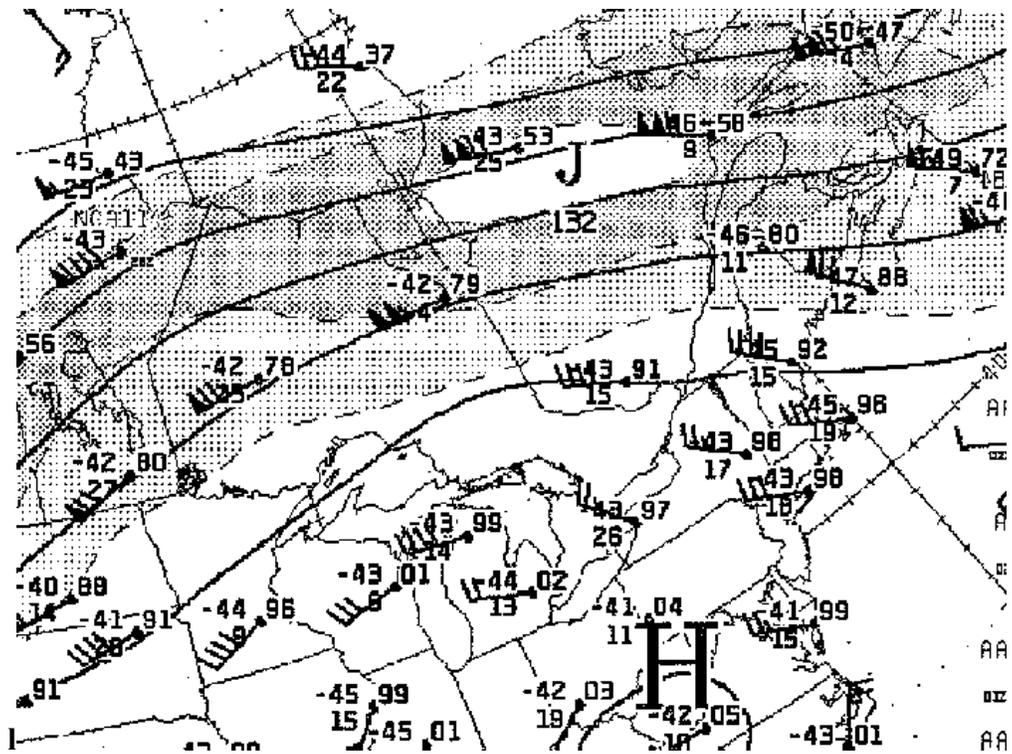
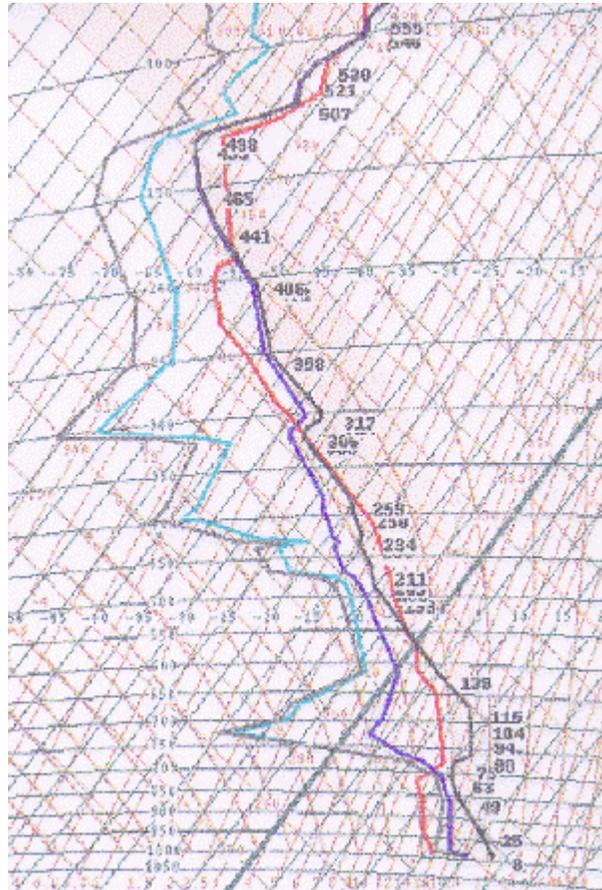
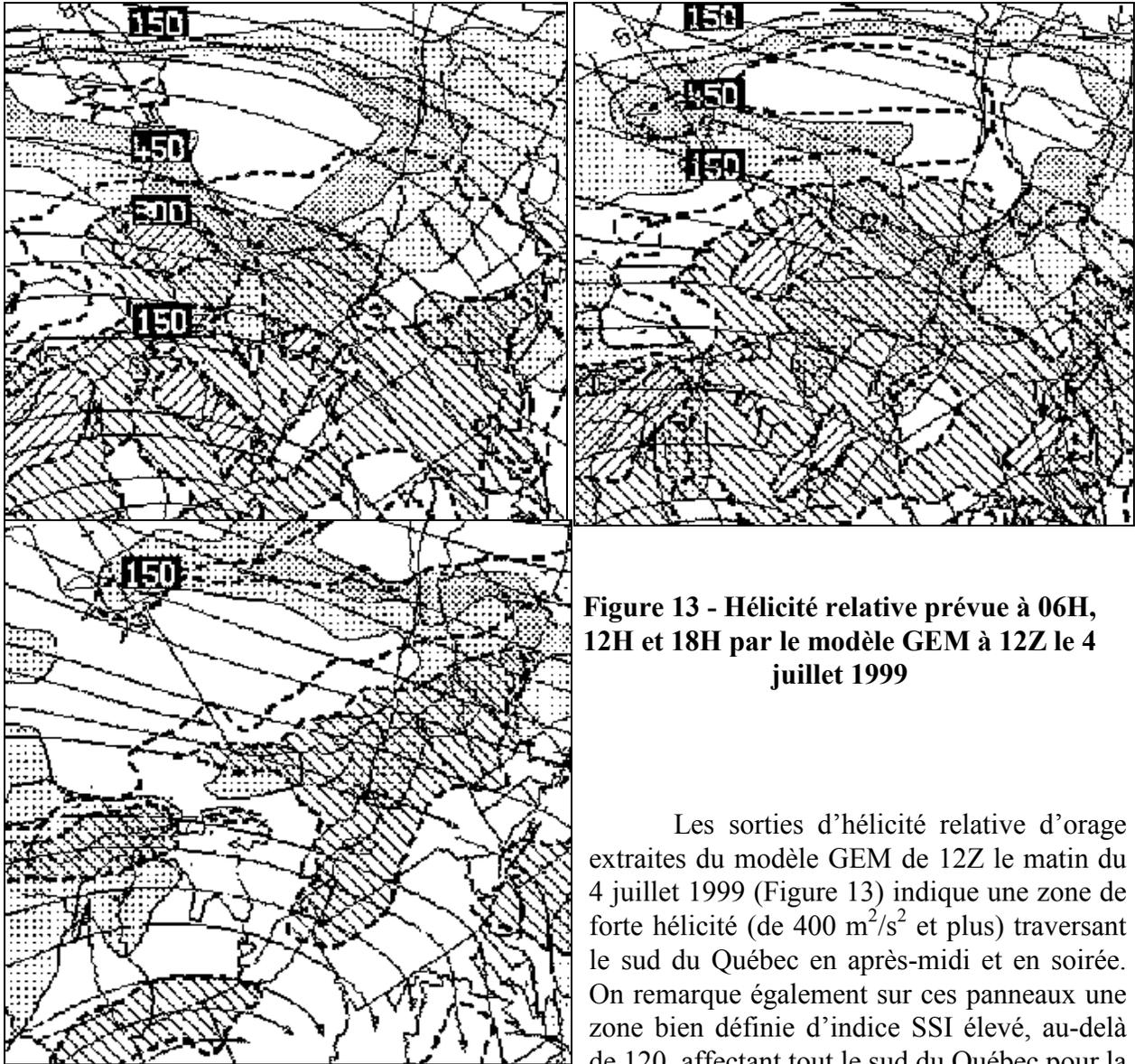


Figure 11 - Analyse 250mb à 00Z le 5 juillet 1999



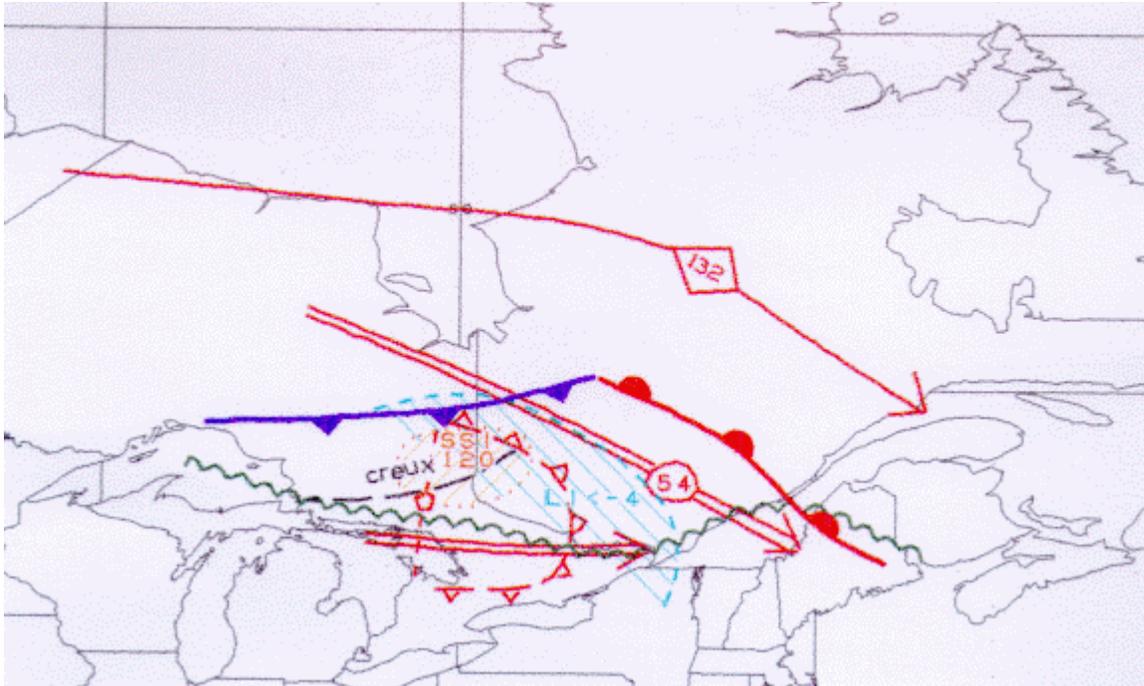
**Figure 12 - Téphigramme et hodographe de Maniwaki à 00Z le 5 juillet 1999**

En fin de journée, le téphigramme de Maniwaki (Figure 12) représente bien les conditions qui prévalent sur le sud du Québec juste avant le passage du derecho. Les conditions de surface se maintenant toute la nuit, on peut s'attendre à un développement d'orages forts dès qu'on surpasse l'énergie négative près de la surface, puisqu'il n'y a plus aucun couvercle (nez d'inversion ou « cap ») en altitude. Le niveau de convection libre s'est rapproché du sol durant la journée, passant de 750 mb selon Gaylor le matin à près de 900 mb en soirée. L'énergie hydrostatique disponible à 3533 J/kg est très élevée, et la température potentielle équivalente de surface très chaude à 370 K. Les indices de temps violent restent favorables à la formation d'orages violents, leurs valeurs ayant même augmenté : un SSI de 160, un cisaillement de  $2,3 \times 10^{-1}$ , un delta  $\Theta_e$  de 32°C, un EHI de 2,7, des quantités d'eau précipitable de 43mm, et un indice de soulèvement de - 9. L'hodographe de Maniwaki (Figure 12) montre toujours un patron de cisaillement favorable au derecho avec, cette fois, un apport directionnel sous 2 km (6000 pieds) mieux défini.



**Figure 13 - Hélicité relative prévue à 06H, 12H et 18H par le modèle GEM à 12Z le 4 juillet 1999**

Les sorties d'hélicité relative d'orage extraites du modèle GEM de 12Z le matin du 4 juillet 1999 (Figure 13) indique une zone de forte hélicité (de  $400 \text{ m}^2/\text{s}^2$  et plus) traversant le sud du Québec en après-midi et en soirée. On remarque également sur ces panneaux une zone bien définie d'indice SSI élevé, au-delà de 120, affectant tout le sud du Québec pour la soirée et pour au moins une partie de la nuit (les sorties ne sont émises que jusqu'à 06Z le 5 juillet 1999). Les autres paramètres de temps violent apparaissent de façon moins marquée sur leurs sorties respectives, mais demeurent à tout le moins favorables au développement d'orages forts. Entre 00Z et 12Z le 5 juillet 1999, un creux d'onde courte à 500 mb traverse le sud du Québec. On retrouve aussi deux courants jet de bas niveau, un le long de la zone frontale du sud de la baie de James vers Québec, puis l'autre sur l'est ontarien vers l'est. Durant la même période, le sud du Québec se retrouve sous des valeurs d'eau précipitable prévues au-delà de 50 mm. Sur la carte prévisionnelle de la Figure 14, on retrouve tous les éléments déclencheurs prévus favorables à la convection sur le sud du Québec vers 00Z le 5 juillet 1999.

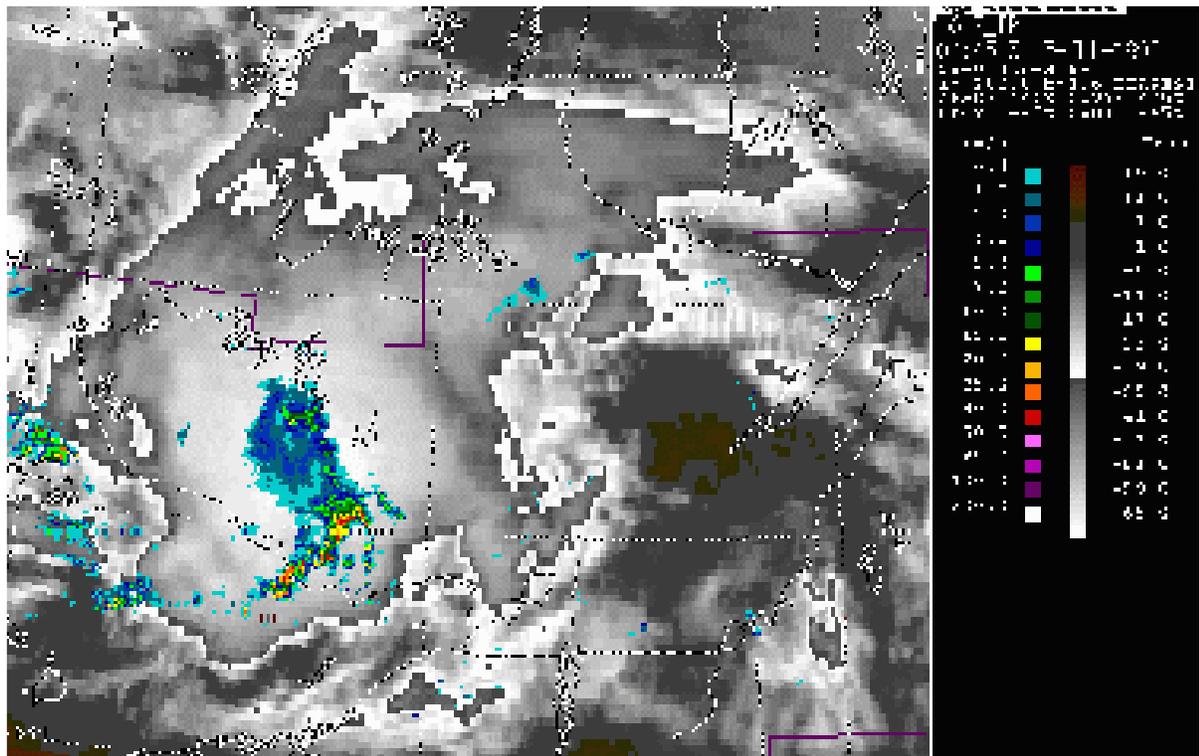
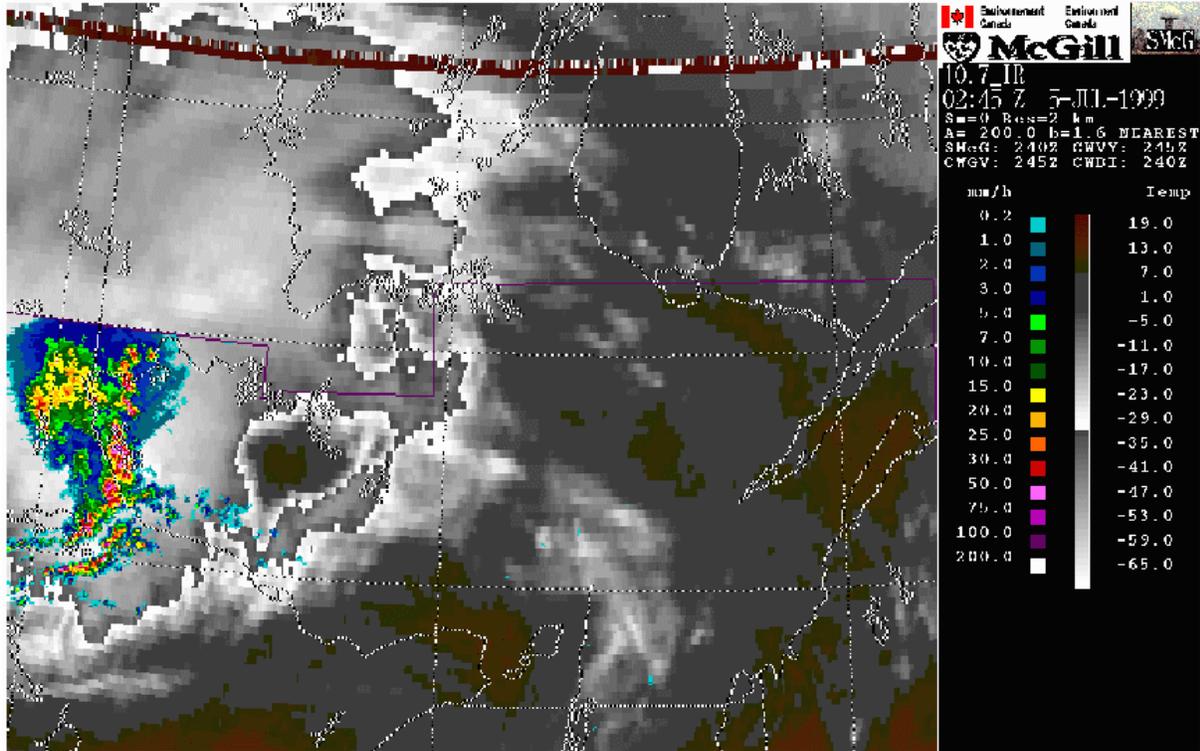


**Figure 14 - Carte composite de temps convectif à 00Z le 5 juillet 1999**

En résumé, l'analyse des téphigrammes et des paramètres météorologiques indiquent que des orages bien organisés sont à prévoir pour la soirée et la nuit sur le sud du Québec. Les conditions de surface demeurant favorables malgré la nuit tombée contribuent au développement de temps violent. Il reste à reconnaître le patron de derecho à l'aide de la disposition synoptique des paramètres en altitude et à l'évolution du système orageux.

#### **4- Description des événements**

Le complexe orageux entre au Québec, déjà sous forme de derecho, après avoir causé quelques dommages sur l'Ontario. Vers 22h30 le 4 juillet 1999, le derecho atteint le Témiscamingue et se déplace à près de 100 km/h. Il traverse le Québec en passant par les secteurs de Mont-Laurier, de l'Outaouais, des Laurentides, et de la grande région de Montréal tout en déchargeant jusqu'à 6000 coups de foudre à l'heure. Il rejoint l'Estrie vers 3h30 le 5 juillet 1999 en direction du Maine, pour finalement quitter la province quelque temps plus tard. En Figure 15, on retrouve les images composées satellitaire et radar de la situation. Tout au long du parcours, le derecho maintient sa structure radar : une ligne de grain orientée perpendiculairement à la direction ouest-nord-ouest des vents moyens entre 5000 pieds et la tropopause et dont la force est révélée par de nombreux surplombs. On aperçoit également une crête dans l'onde des précipitations située sur le centre du Québec au nord de la ligne de grain.



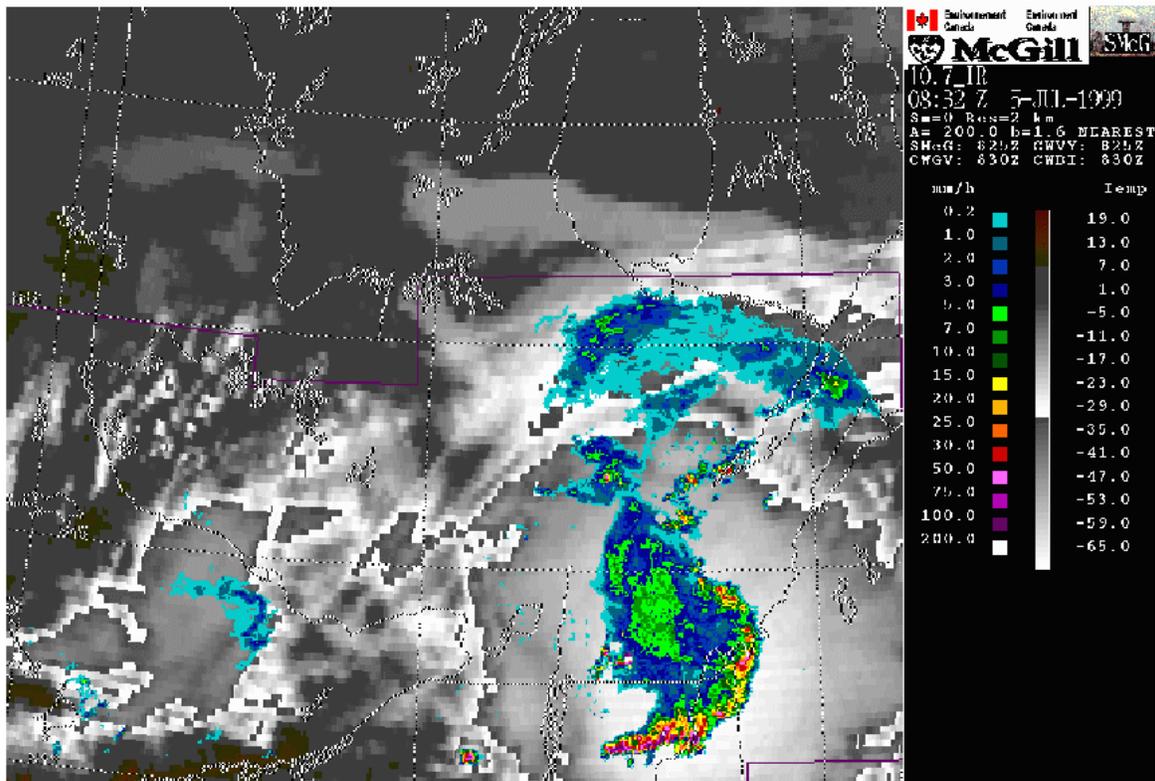
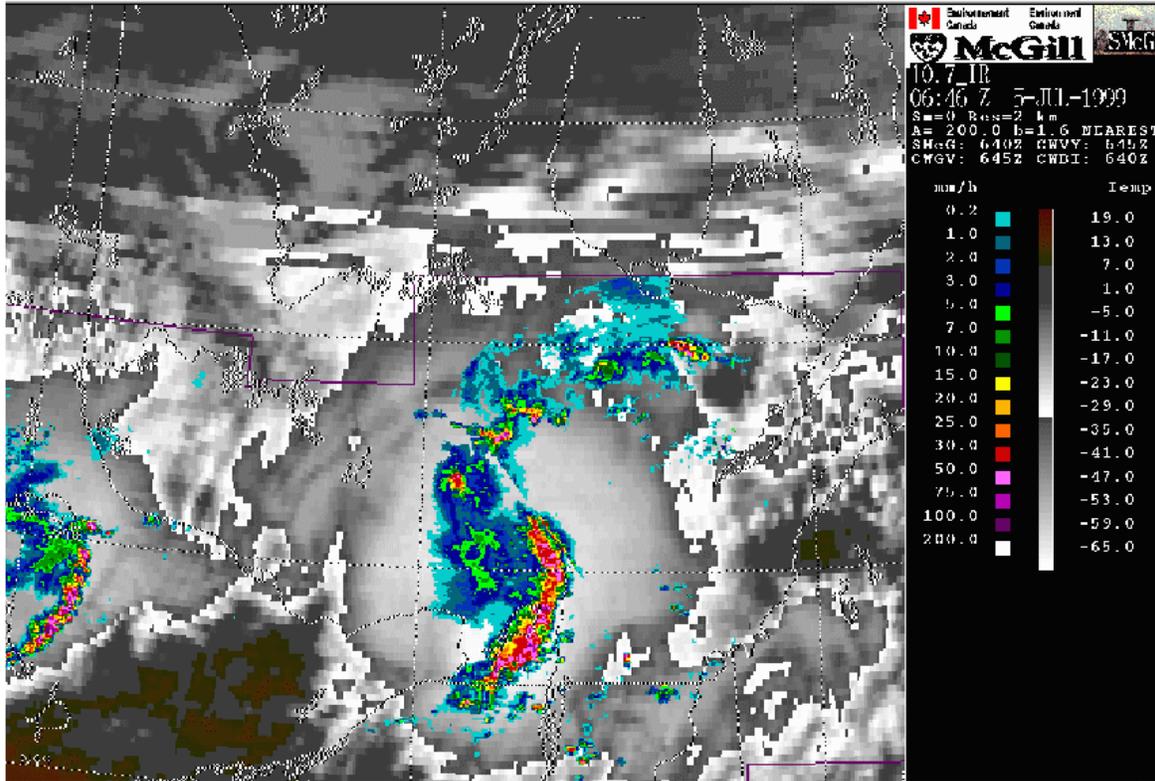


Figure 15 - Images composées satellitaire et radar du 5 juillet 1999 à 0245Z, 0445z, 0646Z et 0832Z

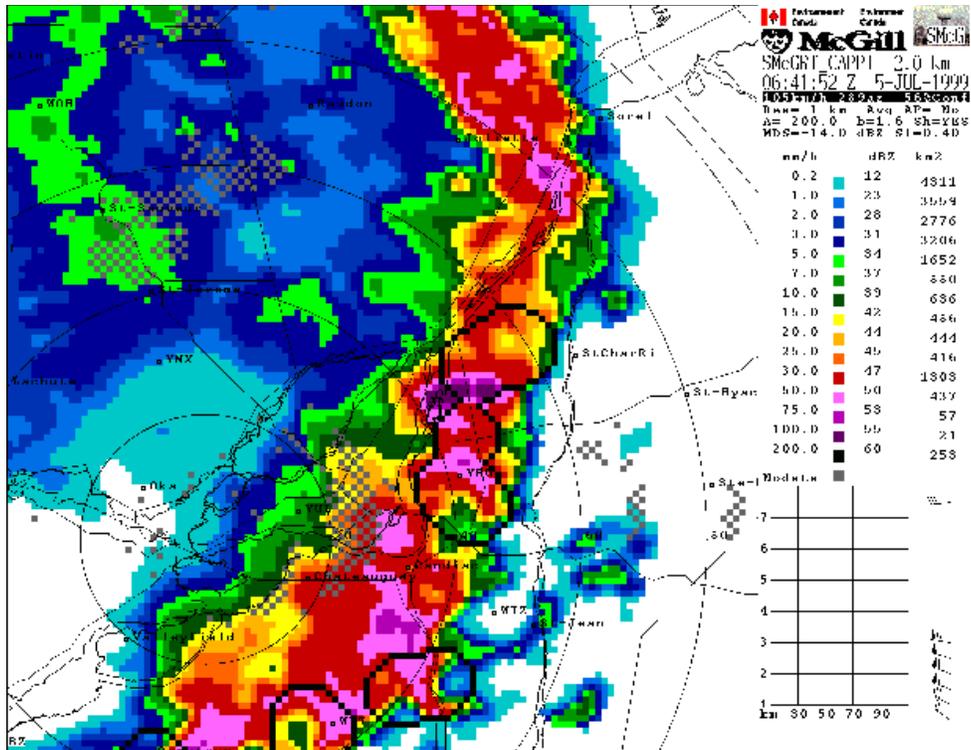


Figure 16 - CAPPI 2km de McGill à 0641Z le 5 juillet 1999

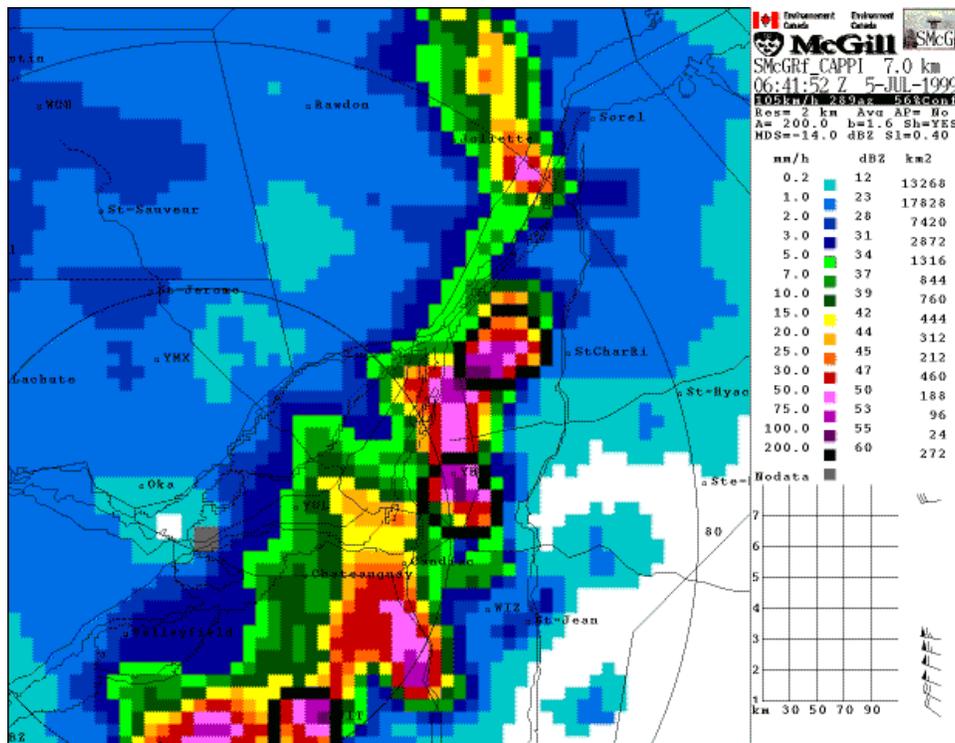


Figure 17 - CAPPI 7km de McGill à 0641Z le 5 juillet 1999

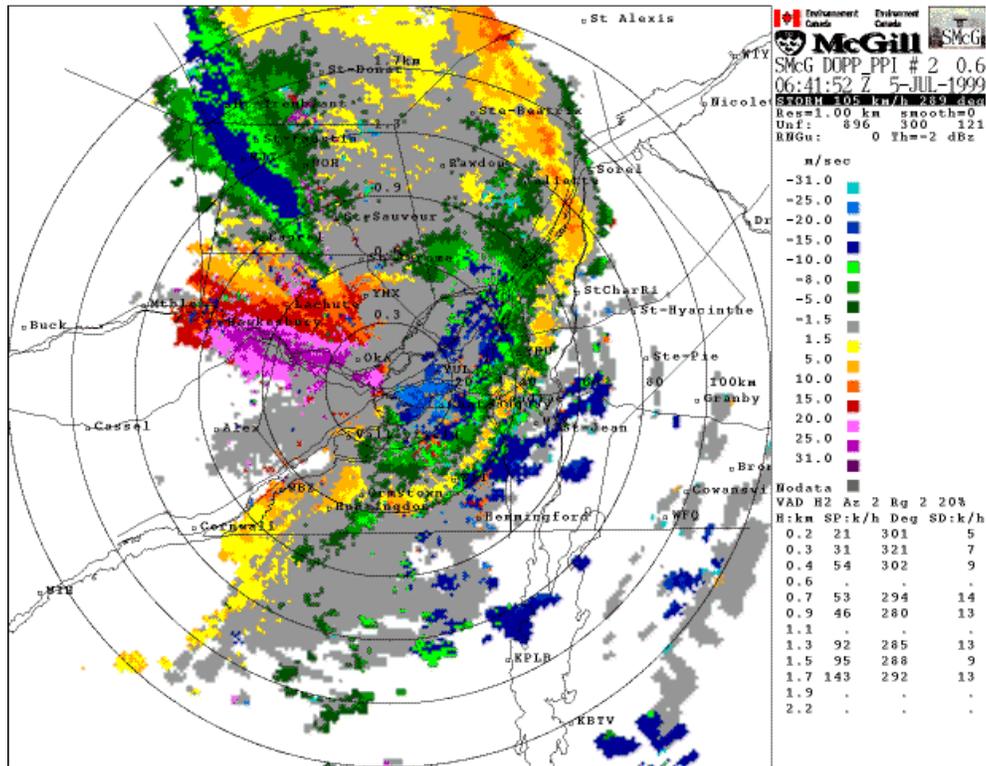


Figure 18 - Doppler PPI 0,6km des vents lagrangiens à 0641Z le 5 juillet 1999

Les images CAPPI à 2 km (Figure 16) et à 7 km (Figure 17) du radar de McGill montrent la situation des orages à 2h41 le 5 juillet 1999 au moment où le derecho passe à la station de St-Hubert. La ligne de grain possède quelques renflements dans la direction des vents moyens en altitude, renflements indicateurs de rafales descendantes, à partir de la région de Sorel jusqu'à la frontière américaine. Il s'en trouve un tout près de St-Hubert. Les vents lagrangiens, ou vents relatifs à l'orage, provenant des données Doppler représentent la différence entre la vitesse radiale des particules moins la composante radiale de la propagation du complexe orageux. Ces vents sur l'image PPI à 0,6 km du radar de McGill (figure 18) indiquent sous la ligne de grain une zone de divergence provenant du rabattement au sol de l'air refroidi en altitude. La température à St-Hubert chute justement de 28°C à 21°C durant le passage du derecho sur le secteur. Toujours à la même figure, on observe de la convergence dans les bas niveaux entre le front de rafales et la circulation relative en aval de la ligne de grain. Cette convergence développe un courant ascendant de l'air humide ambiant, ce qui alimente les orages et maintient l'état du derecho.

La coupe verticale, montrée à la figure 19, s'étend le long d'une ligne partant du nord de Laval vers le bassin de Chambly. La station de St-Hubert se trouve à 20 km du point A de la coupe (le nord de Laval). On peut apercevoir des réflectivités plus faibles aux niveaux 1 à 3 km, entre les kilomètres 10 et 20 du point A, témoignage de l'assèchement causé par le rabattement des vents vers la surface. Les vents observés à ce moment à St-Hubert soufflent du nord-ouest en rafales à 46 noeuds. La coupe verticale Doppler de la figure 20 s'étend le long d'une ligne radiale au radar de McGill perpendiculairement à la ligne de grain, le point A étant le plus près du radar.

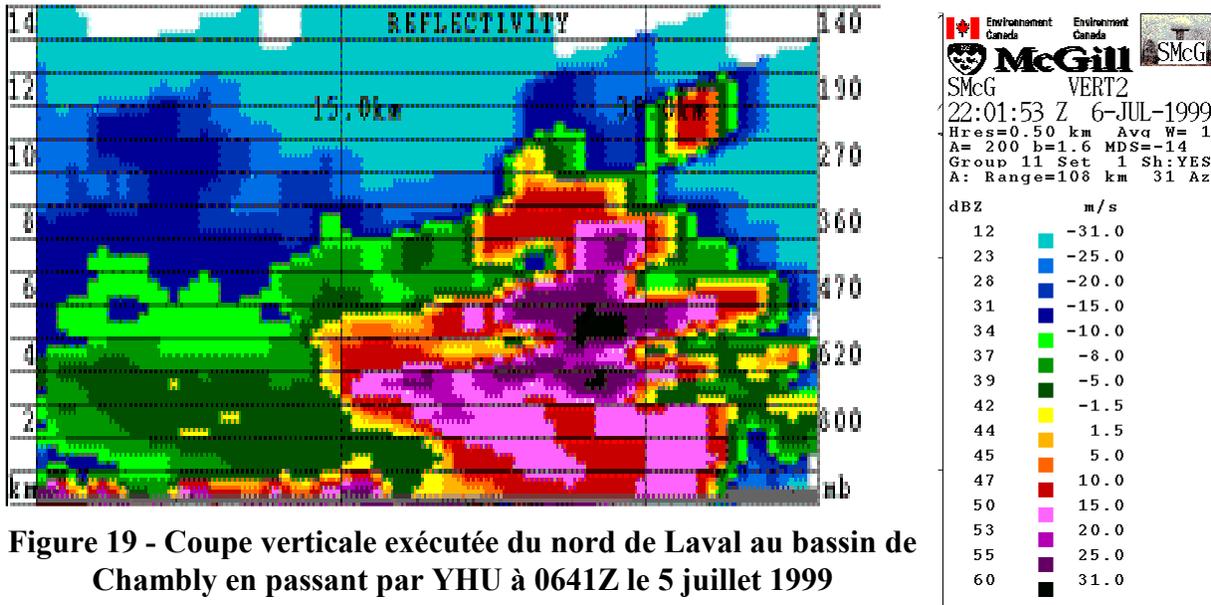


Figure 19 - Coupe verticale exécutée du nord de Laval au bassin de Chambly en passant par YHU à 0641Z le 5 juillet 1999

Sur cette radiale, on obtient la totalité du vecteur des rafales descendantes derrière la ligne d'orages, force estimée à un considérable 40 m/s tout près du sol. Ce rabattement des vents vers le sol correspond à l'assèchement montré par les faibles réflectivités de la figure 19. La coupe verticale Doppler indique un fort cisaillement vertical sous les 2 km puis un faible cisaillement vertical entre les 4 et 6 km. Ce patron de cisaillement donne l'indice de la présence d'un derecho au moment de la coupe, et ce malgré le fait qu'une telle coupe ne puisse montrer la composante directionnelle du cisaillement à bas niveau.

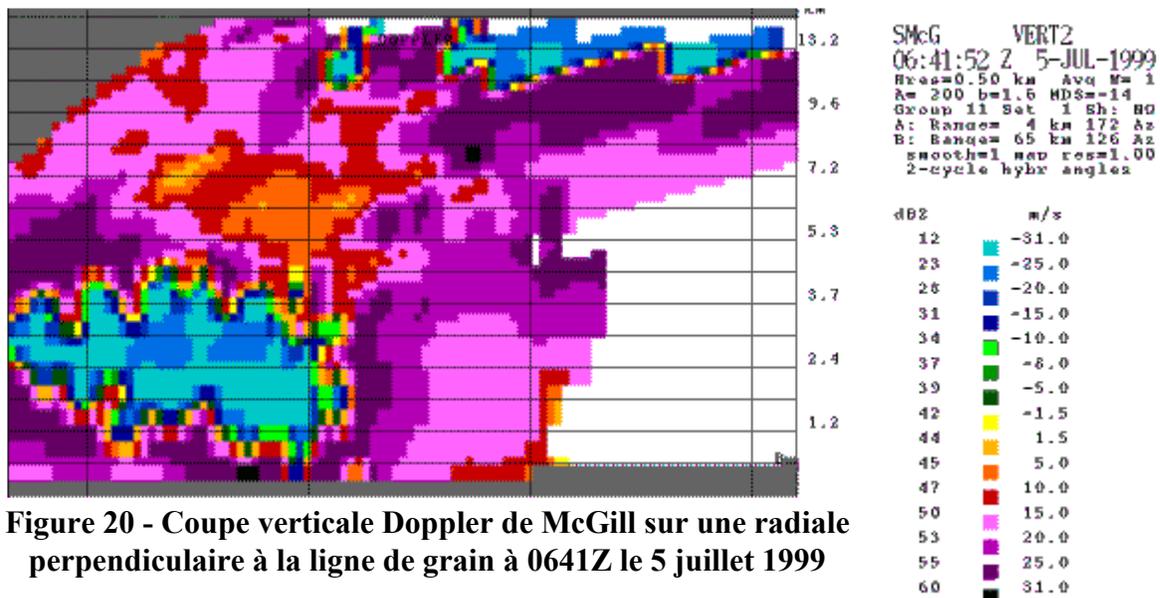


Figure 20 - Coupe verticale Doppler de McGill sur une radiale perpendiculaire à la ligne de grain à 0641Z le 5 juillet 1999

On attribue la majeure partie des dommages associés à ce derecho aux fortes rafales de 90 à 120 km/h : toitures arrachées, réseaux électriques sectionnés, arbres matures déracinés ou endommagés, bâtiments agricoles touchés, voiliers renversés. Le décès d'un jeune campeur dans les Laurentides est sans doute la plus tragique conséquence découlant des nombreuses chutes d'arbres. Autrement, provenant des chutes d'arbres, on rapporte des voitures écrasées, des maisons endommagées, et des plantations forestières dévastées. La forte pluie est à l'origine de quelques inondations de sous-sol et de quelques infiltrations d'eau par les contours de fenêtres fermées. Quant à la foudre, elle est responsable de dommages à de nombreux arbres et même de quelques incendies.

À la lumière des rapports provenant du réseau d'observations d'Environnement Canada, d'observateurs volontaires, des médias, et de voyages de reconnaissance, se trouve en annexe 2 un résumé non exhaustif des événements et dommages dont nous avons été mis au courant. Partout les arbres déracinés et les autres débris se retrouvent à l'est de leur point d'origine, ayant tous été poussés dans la direction des fortes rafales d'ouest à nord-ouest. Dans ce parfait alignement, on n'observe aucun signe de rotation ou de désordre dans l'organisation des débris. Quelques photos prises en Estrie l'après-midi suivant le passage du derecho accompagnent ce résumé, l'Estrie apparaissant avoir été particulièrement touchée par l'événement.

La première veille, émise pour l'Abitibi et le Témiscamingue, date du 4 juillet à 18h46 soit quelques 3 heures avant l'arrivée du derecho sur le Québec. Quant à la première alerte, envoyée pour l'Abitibi, elle précède de presque une heure le passage des orages forts sur le secteur près de la frontière ontarienne. Le déplacement inhabituellement rapide de ce complexe orageux produit par la suite une réelle course contre la montre afin d'envoyer à temps les bulletins de veille et d'alerte pour les régions subséquentes. Les veilles apparaissent entre une et deux heures avant l'arrivée du derecho sur chaque région respective, tandis qu'on observe un préavis de 15 à 45 minutes quant à l'émission des alertes.

## 5- Conclusion

Le grand nombre d'arbres déracinés et de toitures endommagées consiste en la principale conséquence du passage du derecho sur le sud du Québec, du Témiscamingue à l'Estrie, en soirée et durant la nuit du 4 au 5 juillet 1999. Tout au long de ce rapide parcours, la structure radar du derecho se maintient : une ligne de grain orientée perpendiculairement à la direction ouest-nord-ouest des vents moyens en altitude et complétée par une crête dans la forme des échos à l'extrémité nord de cette ligne de grain. De nombreux surplombs et renflements dans la ligne de grain, observés sur les données radar CAPPI, et le maintien du profil des vents lagrangiens, observé sur les données Doppler de McGill, rendent compte de la vigueur de ces orages.

Une grande quantité d'instabilité potentielle (CAPE), et une forte instabilité conditionnelle résultant d'une humidité abondante à bas niveau et d'un air froid et sec à moyen niveau favorisent le développement des derechos. On doit également obtenir comme conditions dynamiques un fort cisaillement de vents à bas niveau (sous les 2 km), comprenant une importante composante directionnelle, ainsi qu'un faible cisaillement de vents à moyen niveau

(entre 4 et 6 km). Ce patron de vents relatifs aux orages et l'apport thermodynamique environnant contribuent à concentrer l'air froid dans les niveaux moyens nécessaire au maintien du derecho. Le derecho maintient sa structure vigoureuse aussi longtemps que ces éléments demeurent en place. Un derecho dure ainsi plusieurs heures et se propage plus rapidement que la vitesse des vents moyens en altitude. Il peut alors effectuer une très grande distance pouvant dépasser les 1000 km.

On observe deux types de derecho : un premier de saison chaude, et un deuxième de saison froide. Dans le type de saison chaude, comme dans le cas du 4-5 juillet, le derecho se développe sur ou à l'est d'une crête d'onde longue à 500 mb relativement aplatie. Il tend à se situer à l'entrée droite du courant jet de haute altitude circulant dans une faible courbe anticyclonique. En surface, on retrouve une zone frontale quasi-stationnaire orientée est-ouest et accompagnée d'une zone de convergence. Près de cette zone de convergence, l'humidité de surface et de bas niveau se concentre en un bassin. Le derecho se déplace le long du gradient thermique de 850 et de 700 mb juste au nord de la crête thermique.

Quelques difficultés mettent le météorologiste au défi de bien prévoir un derecho : l'analyse du maintien des éléments convectifs malgré la nuit tombée ainsi que l'accélération de la propagation de ce complexe orageux. De plus, la rareté d'un pareil événement sur le Québec influence le météorologiste à croire à la présence d'une simple ligne de grain. Il importe alors de mieux connaître les conditions de développement de derecho afin d'accélérer la prise de décision au moment d'émettre les bulletins de veille et d'alerte.

## 6- Bibliographie

Duke J.W. and J.A. Rogash 1992, « Multiscale Review of the Development and Early Evolution of the 9 April 1991 Derecho », *Weather and Forecasting*, p.623-635

Fujita T.T. and R.M. Wakimoto 1981, « Five Scales of Airflow Associated with a Series of Downbursts on 16 July 1980 », *Monthly Weather Review*, 109, p.1438-1456

Johns R.H. and W.D. Hirt 1987, « Derechos : widespread convectively induced windstorms », *Weather Forecasting*, 2, p.32-49

La Presse 6 juillet 1999, « Les éléments se déchaînent », p.A1-A2

L'étoile de l'Outaouais St-Laurent 7 juillet 1999, « Les vents violents modifient le paysage de la région », p.3

Lilly, D.K. 1979, « The Dynamical Structure and Evolution of Thunderstorms and Squall Lines », *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 7, p.117-161

## ANNEXE 1

**Tableau 1** - Résumé des caractéristiques des paramètres météorologiques du derecho

	<b>DERECHO DES DEUX TYPES</b>
<b>Déplacement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déplacement rapide en ligne droite ;</li> <li>- Propagation plus rapide que la vitesse des vents moyens entre 5000 pieds et la tropopause ;</li> <li>- Longue durée de vie pouvant dépasser 10 heures ;</li> <li>- Longue distance parcourue pouvant dépasser 1000 km.</li> </ul>
<b>Structure radar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligne de grains perpendiculaire au vecteur des vents moyens entre 5000 pieds et la tropopause ;</li> <li>- Renflement dans les échos disposé parallèlement au vecteur des vents moyens entre 5000 pieds et la tropopause ;</li> <li>- Intrusion d'air sec derrière le renflement ;</li> <li>- Crête dans la disposition des échos au nord du complexe orageux.</li> </ul>
<b>Dynamique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fort cisaillement de vent directionnel devenant, avec l'évolution du derecho, unidirectionnel ;</li> <li>- Vents d'au moins 40 kt à 500 mb ;</li> <li>- Zone de diffluence à 500 et 250mb près de l'aire de développement ;</li> <li>- Entrée droite du courant jet à haut niveau.</li> </ul>
<b>Thermodynamique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Humidité abondante dans les bas niveaux et en surface ;</li> <li>- Advection d'air chaud dans les bas niveaux et en surface ;</li> <li>- Air froid et sec en altitude ;</li> <li>- Forte instabilité potentielle (CAPE de 2400 J/kg ou plus) ;</li> <li>- Niveau de convection libre descend vers le sol avec le temps ;</li> <li>- Indices élevés de temps violent.</li> </ul>

**Tableau 2** - Paramètres météorologiques du derecho de saison chaude et de saison froide.

	<b>SAISON CHAUDE</b>	<b>SAISON FROIDE</b>
<b>Structure frontale</b>	Orientée est-ouest Quasi-stationnaire Genèse sur structure ou côté froid près d'une zone de convergence	Front froid en déplacement Genèse dans le secteur chaud près d'une zone de convergence
<b>Propagation du derecho</b>	Le long du gradient thermique au nord de la crête thermique	Traversant le gradient thermique vers l'air chaud de la crête thermique
<b>Vents de surface</b>	Plutôt faibles du sud à sud-ouest	Plutôt faibles du secteur sud
<b>Humidité de surface</b>	Concentrée en un bassin	Concentrée dans une crête
<b><math>\Theta_e</math> de surface</b>	> 360 K pour toute la durée	340 K au début, puis à la baisse
<b>Humidité à 850 mb</b>	Concentrée en un bassin Valeurs max sur la trajectoire	Concentrée dans une crête Valeurs max début de trajectoire
<b>Advection d'air chaud à 850 et 700mb</b>	Maximum sur la zone de formation	Maximum à l'est de la zone de formation
<b>Dépression du point de rosée à 700 mb</b>	14C en aval et près de zone de formation	> 10C en amont de la zone de formation
<b>Synoptique à 500 mb</b>	Crête d'onde longue aplatie	Creux d'onde longue vigoureux
<b>Dépression du point de rosée à 500 mb</b>	22C près de la zone de formation	10C près de la zone de formation
<b>Courant jet de haut niveau</b>	Légèrement anticyclonique Bien au nord de zone de formation	Cyclonique

## ANNEXE 2

### A- Résumé non exhaustif des événements et dommages rapportés au BSME de Montréal.

Témiscamingue : rafales de 95 à 105 km/h vers 22h30 le 4 juillet 1999

- Angliers : rafales à 105 km/h ;
- Témiscaming : rafales à 100 km/h ;
- réseaux électriques affectés.

Haute-Gatineau, Mont-Laurier, Laurentides : entre 1h00 et 2h00 le 5 juillet 1999

- incendie de maison à Déléage, près de Maniwaki ;
- bâtiments agricoles endommagés à Aumond, près de Maniwaki ;
- nombreux arbres déracinés dans le secteur de Maniwaki, au parc du Mt-Tremblant, à Brébeuf, à Lac-Nominingue, et à Val-Morin ;
- décès d'un jeune campeur à cause de la chute d'un pin à Val-des-Lacs, près de St-Jovite ;
- blessures légères d'une dame à cause de la chute d'un arbre sur sa voiture à Val-des-Lacs ;
- réseaux électriques affectés.

Montréal et environs : rafales de 90 à 120 km/h de 2h00 à 3h00 le 5 juillet 1999

- Carillon, près de Lachute : rafales à 120 km/h ;
- Dorval : rafales de 95 km/h ;
- Montérégie : rafales de 85 à 95 km/h ;
- nombreux arbres déracinés ;
- toitures endommagées et voitures touchées par les chutes d'arbres dans les secteurs de Montréal et banlieue, de Vaudreuil-Soulanges, et de la vallée du Richelieu ;
- toitures endommagés par le vent dans les secteurs de Montréal et banlieue, de Vaudreuil-Soulanges, de la vallée du Richelieu et de St-Hyacinthe ;
- bâtiments agricoles touchés dans Vaudreuil-Soulanges et à Beloeil ;
- incendie d'une maison et d'une voiture à Dollard-des-Ormeaux ;
- une quinzaine de voiliers renversés à Pointe-Claire ;
- incendie d'un bâtiment commercial à Longueuil ;
- vitres déplacées aux étages supérieurs d'un hôtel et toitures endommagées à St-Hyacinthe ;
- réseaux électriques affectés.

Estrie : rafales de 90 à 115 km/h entre 3h00 et 4h00 le 5 juillet 1999

- Frelighsburg : rafales à 92 km/h ;
- Lennoxville : rafales à 105 km/h ;
- Sherbrooke : rafales à 114 km/h ;
- inondations de sous-sol et infiltrations d'eau par les contours de fenêtres fermées à Sherbrooke et dans les environs de Magog ;
- nombreux arbres déracinés ;
- nombreuses toitures et voitures endommagées par les chutes d'arbres, surtout à Sherbrooke ;
- nombreuses toitures et cheminées endommagées par le vent, surtout à Sherbrooke ;
- le tiers arrière du toit arraché avec mur de brique abattu au sol en raison du vent à l'église St.Andrew de Sherbrooke ;
- quelques bâtiments agricoles endommagés par le vent à Johnville et Martinville ;
- quelques plantations forestières, dont une de 2000 à 3000 arbres, dévastées à Johnville et Sawyerville ;
- réseaux électriques affectés, dont 80% des abonnés d'Hydro-Sherbrooke.

**B- Photos prises en Estrie l'après-midi du 5 juillet 1999 suivant le passage du derecho**



**Photo 1 - Côté ouest de l'église St.Andrew, située sur le haut d'une colline au centre-ville de Sherbrooke**



**Photo 2 - Coté est de l'église St.Andrew avec mur de brique projeté sous le vent**



**Photo 3 - Bâtiment agricole et silo endommagés par les rafales près de Johnville - photo faisant face au sud-est**



**Photo 4 - Partie ouest d'un bâtiment agricole soufflée par les rafales près de Martinville**



**Photo 5 - Un des arbres bicentennaires déracinés dans le quartier Vieux-Nord à Sherbrooke - photo faisant face au sud**



**Photo 6 - Petite pinède dévastée à Sawyerville - photo faisant face au sud**