

NOTE TECHNIQUE

RÉGION DU QUÉBEC

ÉTUDE SUR LA VIOLENCE DES ORAGES EN FONCTION DU CISAILLEMENT VERTICAL
DES VENTS ET DE L'ÉNERGIE HYDROSTATIQUE

D. Vigneux et V. Turcotte

Centre météorologique du Québec

Mars 1987

Numéro 87N-001

RÉSUMÉ

Une méthode de discrimination des orages violents et non-violents basée sur des données standard de radiosondage est présentée. Cette technique, qui utilise le cisaillement vertical moyen dans les quatre premiers kilomètres de l'atmosphère et l'énergie hydrostatique résultant du soulèvement d'une particule instable dans son environnement, démontre que l'intensité d'un orage est fortement reliée à une combinaison de ces deux paramètres. Entre autres, la méthode démontre clairement que les orages violents peuvent se produire dans des conditions de forte dynamique/faible instabilité aussi bien que dans des conditions de faible dynamique/forte instabilité. On y démontre également l'utilité opérationnelle de cette technique.

ABSTRACT

This paper shows that it is possible to discriminate severe from non-severe thunderstorms using only standard RAOBS data. The technique shows a strong relationship between storm severity and a combination of mean vertical wind shear in the lowest 4 km and buoyancy energy of the lifted parcel. In addition, the method clearly shows that summer severe weather may occur under strong dynamics/weak instability as well as under weak dynamics/strong instability conditions. The operational use of the technique is also discussed.

1. INTRODUCTION

Dans l'approche classique au temps violent estival, il a été démontré que les orages violents se produisent dans des situations de forte dynamique atmosphérique couplée à une instabilité thermodynamique importante (Miller, 1972). Nous avons cependant rapidement réalisé que cette catégorisation était insuffisante pour expliquer plusieurs cas de temps violent. Certains travaux (Maddox et al., 1982; Vigneux et al., 1985; Turcotte et al., 1985) ont clairement démontré que des orages violents pouvaient également se développer sous d'autres conditions, notamment dans des situations de forte dynamique et faible instabilité thermodynamique. Quelques auteurs (Rasmussen et al., 1983; Turcotte et al., 1985) ont utilisé un diagramme énergie-cisaillement afin de discriminer certains types de phénomènes violents. La présente étude découle des résultats de Turcotte et al. (1985) et démontre que l'utilisation de l'énergie hydrostatique et du logarithme du cisaillement vertical moyen de la surface à 4 000 mètres permet une forte discrimination entre les orages violents et les orages non-violents; de plus, l'utilisation du logarithme permet de linéariser la relation et d'en dériver une formule mathématique permettant de quantifier objectivement l'intensité d'un orage en fonction de sa position dans l'espace énergie-logarithme du cisaillement. L'application de la technique requiert uniquement le radiosondage d'une station d'altitude représentatif de l'environnement dans lequel se déclenchera la convection; ce radiosondage est modifié dans les bas niveaux en intégrant les températures et point de rosée observés (ou prévus) au moment du début de la convection.

Quoique d'une utilité mitigée dans la détermination de l'endroit précis où se produira la convection, cette méthode permet néanmoins l'obtention d'un paramètre directement relié à l'intensité des orages pouvant se développer sous de telles conditions.

2. MÉTHODOLOGIE

Dans un premier temps, nous avons répertorié tous les cas de temps violent confirmés au cours des étés 1984, 1985 et 1986, ainsi que deux cas extrêmes de 1983. Les critères standard tels que définis au CMQ ont été utilisés pour discriminer un événement violent d'un événement non-violent. Un événement est catégorisé comme violent si au moins un des critères suivants a été rencontré:

- a) rafale supérieure à 90 km/h
- b) grêlons au sol de diamètre supérieur à 1.5 cm
- c) une ou plusieurs tornades et/ou entonnoirs nuageux.

Les événements multiples (i.e. ceux se produisant en-dedans de quelques heures et clairement associés à un même méso-système, tel que la tempête de grêle sur le sud-ouest du Québec le 29 mai 1986) ont été comptés comme un seul événement. Seuls les événements résultant d'une évidence directe (observée) ou indirecte (investigation de l'étendue des dommages, photos, etc.) ont été classifiés comme violents. Tous les

autres cas pour lesquels n'existait aucune évidence directe ou indirecte ont été classifiés comme étant des cas non-violents aux fins de cette étude. Les cas non-violents ont été utilisés pour déterminer le degré de discrimination de la technique. La très grande majorité des cas non-violents utilisés dans cette étude ont été répertoriés au cours de l'été 1986.

Pour chacun des cas, nous avons tout d'abord sélectionné un radiosondage représentatif de la masse d'air dans laquelle les cellules orageuses se sont développées. Nous avons par la suite déterminé la température et le point de rosée en surface qui prévalaient sur la région au moment du déclenchement des orages; ces deux derniers paramètres ont été utilisés pour modifier le téphigramme représentatif à bas niveau entre la surface et le niveau de convection libre. Nous avons ensuite calculé l'énergie hydrostatique libérée résultant du soulèvement d'une particule dans cet environnement jusqu'au niveau d'équilibre, sans tenir compte du mélange résultant avec l'environnement; cette méthode a été adoptée afin de déterminer le seuil supérieur d'énergie hydrostatique disponible à une cellule orageuse. Nous avons également dérivé du radiosondage ainsi choisi le cisaillement vertical moyen entre la surface et 4 km. Un logiciel développé localement permet au météorologiste une extraction facile de ces paramètres. En temps réel, ce dernier a également le loisir de modifier à volonté les valeurs de température et de point de rosée de surface, de façon à en déterminer l'impact sur les paramètres dérivés; de toute évidence, cette dernière option n'a pas été utilisée dans le cadre de cette étude, seuls les points de rosée et températures observés ayant été considérés.

Les tableaux 1 et 2 contiennent les informations de base et dérivées relatives aux événements de temps violent et non-violent, respectivement. La très grande majorité des cas répertoriés l'ont été sur le territoire du Québec ou à proximité. Le type de temps violent observé a été indiqué dans la dernière colonne du tableau 1; cette sous-catégorisation nous permettra ultérieurement de déterminer si l'on peut établir une relation entre l'intensité des orages et les paramètres dynamiques/thermodynamiques de l'environnement dans lequel ils se sont développés.

TABLEAU 1 - PARAMÈTRES ENVIRONNEMENTAUX: CAS DE TEMPS VIOLENT

| Date | Téphi | Eh (J/kg) | Cis (10 ⁻³ /sec) | ln(Cis) | IN | Événements |
|----------|-------|--------------|--------------------------------|---------|-----|------------|
| 07/06/83 | WMW12 | 1110 | 12.2 | -4.40 | 101 | G |
| 08/08/83 | WMW12 | 2070 | 11.6 | -4.45 | 118 | G, (T) |
| 19/06/84 | WMW12 | 2160 | 10.0 | -4.60 | 116 | G |
| 06/07/84 | WMW12 | 2250 | 7.1 | -4.95 | 109 | G |
| 12/07/84 | WMW12 | 2880 | 5.3 | -5.25 | 113 | T |
| 15/07/84 | FNT12 | 3250 | 10.8 | -4.50 | 140 | TT |
| 17/07/84 | CAR00 | 2460 | 8.7 | -4.75 | 118 | G |
| 20/07/84 | WMW12 | 3590 | 4.7 | -5.35 | 124 | A |
| 21/07/84 | BUF12 | 3270 | 6.3 | -5.05 | 126 | A, G |
| 23/07/84 | WMW12 | 1640 | 11.9 | -4.40 | 111 | G |
| 03/08/84 | YOY12 | 2810 | 4.5 | -5.40 | 107 | A, G |
| 05/08/84 | YOY12 | 2100 | 8.7 | -4.75 | 111 | A, G |
| 30/08/84 | BUF12 | 3360 | 5.8 | -5.15 | 125 | A |
| 02/09/84 | YZV00 | 1860 | 11.5 | -4.50 | 114 | A |
| 26/09/84 | FNT12 | 1170 | 11.8 | -4.45 | 101 | G |
| 13/05/85 | WMW12 | 2840 | 8.1 | -4.80 | 124 | A+ |
| 20/05/85 | BUF12 | 1660 | 11.1 | -4.50 | 109 | T |
| 31/05/85 | DAY12 | 3410 | 12.9 | -4.35 | 148 | TT, A+ |
| 18/06/85 | WMW12 | 2310 | 7.1 | -4.95 | 110 | T |
| 24/06/85 | ALB12 | 2570 | 8.5 | -4.75 | 120 | A |
| 06/07/85 | BUF12 | 3460 | 7.8 | -4.85 | 136 | A, (T) |
| 16/07/85 | WMW12 | 1830 | 8.7 | -4.75 | 106 | A, G |
| 29/07/85 | WMW12 | 2210 | 9.8 | -4.60 | 117 | A, G, (T) |
| 08/08/85 | WMW18 | 2890 | 5.1 | -5.30 | 112 | A |
| 08/09/85 | WMW00 | 2800 | 8.2 | -4.80 | 124 | T |
| 06/05/86 | GRB12 | 2640 | 9.2 | -4.70 | 124 | A, G |
| 07/05/86 | PIT12 | 2040 | 9.4 | -4.70 | 112 | A |
| 07/05/86 | YMA12 | 2000 | 15.3 | -4.20 | 125 | A |
| 18/05/86 | BUF12 | 2560 | 6.9 | -5.00 | 114 | A, G |
| 29/05/86 | WMW12 | 3310 | 11.3 | -4.45 | 144 | A+, G |
| 30/05/86 | WMW00 | 3090 | 6.0 | -5.10 | 121 | A, G |
| 01/06/86 | PIT00 | 2890 | 4.3 | -5.45 | 108 | A, G |
| 01/06/86 | ALB12 | 3420 | 10.3 | -4.60 | 142 | A, T |
| 11/06/86 | FNT12 | 2230 | 6.0 | -5.10 | 104 | A, T |
| 16/06/86 | WMW12 | 3180 | 7.0 | -4.95 | 127 | TT |
| 24/06/86 | BUF12 | 1830 | 7.5 | -4.90 | 102 | A, G |
| 29/06/86 | WMW12 | 2270 | 5.2 | -5.25 | 101 | A, G |
| 16/07/86 | WMW12 | 2610 | 4.2 | -5.50 | 101 | G |
| 17/07/86 | WZC12 | 1820 | 7.2 | -4.95 | 100 | G |
| 03/08/86 | WMW12 | 2740 | 5.2 | -5.25 | 110 | A |
| 04/08/86 | WMW00 | 3150 | 5.5 | -5.20 | 120 | T, A |
| 15/08/86 | WMW12 | 1970 | 9.0 | -4.70 | 110 | T, A |
| 18/08/86 | WMW12 | 2420 | 10.1 | -4.60 | 122 | A |
| 11/09/86 | FNT00 | 1680 | 10.5 | -4.55 | 108 | T |
| 29/09/86 | FNT12 | 3490 | 10.4 | -4.55 | 144 | A |

(Voir légende au bas du tableau 2.)

TABLEAU 2 - PARAMÈTRES ENVIRONNEMENTAUX: CAS D'ORAGES NON VIOLENTS

| Date | Téphi | Eh (J/kg) | Cis (10 ⁻³ /sec) | ln(Cis) | IN | Événements |
|----------|-------|--------------|--------------------------------|---------|-----|------------|
| 21/08/85 | SSM12 | 1970 | 8.2 | -4.80 | 107 | A- |
| 27/05/86 | WMW12 | 2040 | 5.4 | -5.20 | 97 | A- |
| 27/05/86 | WMW12 | 2160 | 5.4 | -5.20 | 99 | A- |
| 15/07/85 | BUF12 | 1890 | 4.1 | -5.50 | 87 | - |
| 25/07/85 | FNT12 | 1550 | 6.5 | -5.05 | 92 | - |
| 06/05/86 | SSM00 | 1330 | 7.4 | -4.90 | 92 | - |
| 16/05/86 | WZC12 | 490 | 6.0 | -5.10 | 69 | - |
| 17/05/86 | WMW00 | 1160 | 6.6 | -5.00 | 85 | - |
| 17/05/86 | FNT12 | 1450 | 4.4 | -5.40 | 80 | - |
| 18/05/86 | ALB12 | 1120 | 7.4 | -4.90 | 87 | - |
| 18/05/86 | ALB12 | 1900 | 7.4 | -4.90 | 103 | - |
| 19/05/86 | CAR00 | 1660 | 7.7 | -4.85 | 99 | - |
| 24/05/86 | ALB00 | 1240 | 3.5 | -5.65 | 69 | - |
| 27/05/86 | WMW00 | 1270 | 6.3 | -5.05 | 86 | - |
| 27/05/86 | WMW00 | 1460 | 6.3 | -5.05 | 89 | - |
| 27/05/86 | WZC12 | 1140 | 5.8 | -5.15 | 81 | - |
| 28/05/86 | PIT00 | 1520 | 6.0 | -5.10 | 90 | - |
| 03/06/86 | YQD00 | 1400 | 6.0 | -5.10 | 87 | - |
| 05/06/86 | PWM12 | 1420 | 8.4 | -4.80 | 97 | - |
| 14/06/86 | WTL00 | 1630 | 7.0 | -4.95 | 96 | - |
| 24/06/86 | BUF12 | 1310 | 7.5 | -4.90 | 91 | - |
| 02/07/86 | YZV12 | 1980 | 4.6 | -5.40 | 91 | - |
| 11/07/86 | GS012 | 1680 | 5.2 | -5.25 | 89 | - |
| 11/07/86 | GS012 | 2060 | 5.2 | -5.25 | 96 | - |
| 20/07/86 | WMW12 | 1250 | 6.6 | -5.00 | 87 | - |
| 26/07/86 | WMW12 | 2090 | 4.7 | -5.35 | 94 | - |
| 01/08/86 | SSM12 | 1910 | 5.8 | -5.15 | 96 | - |
| 21/08/86 | WMW12 | 1050 | 5.9 | -5.15 | 79 | - |
| 23/08/86 | WMW12 | 1180 | 10.1 | -4.60 | 97 | - |
| 04/09/86 | SSM12 | 1580 | 6.7 | -5.00 | 93 | - |
| 09/09/86 | WMW12 | 1100 | 8.5 | -4.75 | 90 | - |
| 25/09/86 | CAR00 | 1570 | 6.3 | -5.05 | 92 | - |

Téphi = Radiosondage représentatif utilisé.

STNxx = Indicatif de la station aérologique utilisée
avec xx = heure T.U.

Eh = Energie hydrostatique disponible.

Cis = Cisaillement vertical moyen de la surface à 12 000 pieds.

ln(Cis) = Logarithme naturel de Cis.

IN = Indice normalisé d'intensité des orages (voir texte).

G = Rafale de 90 km/h ou plus.

T = Tornade.

TT = 2 ou plusieurs tornades.

(T) = Entonnoir nuageux et/ou tornade probable.

A- = Cas de grêle de diamètre inférieur à 1.5 cm.

A = Cas de grêle de diamètres compris entre 1.5 et 6 cm.

A+ = Cas de grêle de diamètre supérieur à 6 cm.

- = Aucun événement violent observé avec les orages.

3. REPRÉSENTATION DES ORAGES DANS L'ESPACE ÉNERGIE-CISAILLEMENT

La figure 1 montre la représentation des orages violents et non-violents en fonction de l'énergie hydrostatique et du cisaillement vertical moyen compris entre la surface et le niveau 4 km; nous avons utilisé les messages radiovents jusqu'à 12 000 pieds dans la détermination du cisaillement moyen. Pour chaque cas de temps violent, un symbolisme approprié permet de visualiser le type de phénomène observé. La droite $IN=100$ (voir section suivante) démontre une très forte capacité à discriminer les orages violents et non-violents. L'utilisation du logarithme du cisaillement permet de linéariser la dépendance de la fonction, et ne doit être considéré que comme une manipulation mathématique visant à faciliter le traitement ultérieur des données.

La figure 1 montre clairement que le déclenchement des orages violents peut se produire sous diverses combinaisons d'instabilité thermodynamique et de baroclinicité puisque, dans les quatre premiers kilomètres de la troposphère, le cisaillement est généralement proportionnel à l'intensité de la zone barocline présente. Les cas extrêmes (tornades, très grosse grêle) correspondant à la catégorisation de Miller (forte baroclinicité et forte instabilité) se démarquent nettement des autres cas; on remarque cependant que des orages violents peuvent se manifester sous des conditions de forte baroclinicité/faible instabilité thermodynamique (partie droite du graphique) ainsi que dans un environnement de faible baroclinicité/forte instabilité thermodynamique (partie gauche du graphique) tel que retrouvé dans le temps violent se développant dans une masse d'air.

On remarque également que ces deux seuls paramètres permettent de discriminer fortement le temps violent du temps non-violent, et que la zone de transition entre les deux catégories semble être extrêmement étroite. Par contre, il convient de mentionner que la discrimination entre les orages tornadiques et non-tornadiques est loin d'être aussi claire et que ni l'énergie thermodynamique, ni le cisaillement de bas niveau tel que défini dans cette étude n'ont pu départager ces deux catégories.

4. FORMULATION DE L'INDICE NORMALISÉ D'INTENSITÉ DES ORAGES

À la figure 1, la droite $IN=100$ représente la droite de discrimination entre les orages violents et non-violents. Les orages les plus violents étant regroupés relativement loin de la droite de discrimination, nous avons dérivé l'équation de la normale à cette droite, appelée $f(I)$:

$$f(I) = E_h + [1371 \times \ln(Cis)] \quad (1)$$

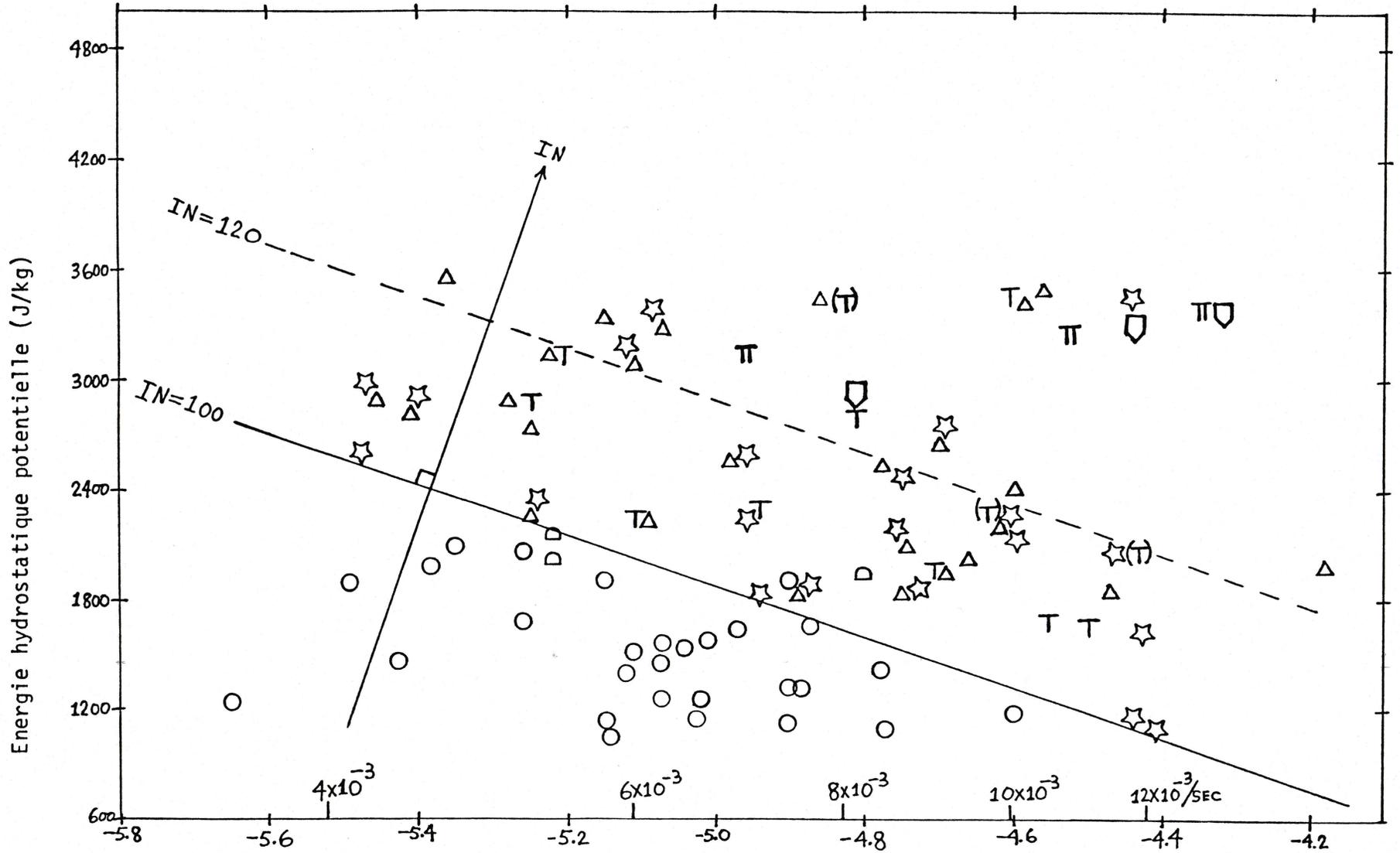
où: $f(I)$ = Normale à la droite de discrimination.

E_h = Énergie hydrostatique de la particule soulevée (J/kg)

Cis = Cisaillement vertical moyen entre la surface et le niveau 12 000 pieds (s^{-1})

☆ = G (rafale > 90 km/h) (T) = (T) (entonnoir nuageux et/ou tornade possible) T = T (tornade) Π = TT (2 ou plusieurs tornades)

○ = Orage non-violent □ = A- (grêlon < 1.5 cm) △ = A (grêlon > 1.5 cm) ▣ = A+ (grêlon > 6 cm)



Echelle supérieure: cisaillement vertical moyen (0-12000 pi.)
 Echelle inférieure: logarithme naturel de ce cisaillement vertical

Figure 1: Distribution des orages violents et non-violents dans l'espace énergie-cisaillement.

Afin d'obtenir des valeurs plus faciles à utiliser et à interpréter, il convient de normaliser à 100 la fonction $f(I)$; cette nouvelle fonction normalisée sera appelée "IN":

$$IN = 200 + [0.02011 \times f(I)] \quad (2)$$

$$= 100 \times \left\{ 2 + [0.276 \times \ln(Cis)] + [2.011 \times 10^{-4} \times Eh] \right\} \quad (3)$$

Cette fonction, telle que montrée dans l'équation (1), est simplement la somme d'une énergie potentielle et d'une fraction de l'énergie cinétique (qui est, elle, proportionnelle au cisaillement); en dépit de la grandeur relative de la banque de données utilisée, cette fonction semble refléter le potentiel de développement d'un orage jusqu'au stade violent.

À la figure 1, les isolignes 100 et 120 de la fonction IN ont été respectivement tracées en lignes continue et tiretée. Le seuil inférieur pour les orages violents est approximativement de 100, alors que la très vaste majorité des orages non-violents se sont produits dans un environnement où la valeur de IN était inférieure à 100. On retrouvera dans les tableaux 1 et 2 les valeurs de fonction normalisée associées à chaque cas répertorié.

La figure 1 montre que les quelques cas de tornades multiples et de très grosse grêle sont associés à des valeurs de la fonction IN supérieures à 120. Ces événements ont causé des décès et/ou des dommages généralement importants. Par exemple, le cas de "Barrie" en Ontario, en incluant les tornades juste au sud-est du lac Érié, a engendré quarante-et-une tornades le 31 mai 1985, dont plusieurs d'intensité F4 et une d'intensité F5 sur l'échelle Fujita; ce cas, à lui seul, a occasionné près d'une centaine de décès et plus de 200 millions de dollars de dommages (Witten, 1985). Un autre cas du même type est celui du 29 mai 1986 dans la région de Montréal, où la grêle a causé pour plusieurs dizaines de millions de dollars de dommages à la propriété (les compagnies d'assurances ont déboursé 64 millions de dollars pour dommages causés aux automobiles uniquement). Les deux tornades de Blue Sea Lake, le 15 juillet 1984, sont la cause directe d'un décès et de dizaines de blessés; une de ces tornades avait laissé au sol une trace continue de près de 25 kilomètres. Pour chacun de ces trois cas, la valeur de la fonction IN était de 140 ou plus. Quoique le nombre de cas extrêmes est insuffisant pour en tirer des conclusions significatives, il semble que l'intensité des phénomènes violents est reliée à la valeur de cette fonction. Le tableau 3 qui suit suggère une interprétation possible de la fonction IN.

TABLEAU 3 - INTERPRÉTATION PROPOSÉE DE LA FONCTION "IN"

| IN | Événements violents (voir note 1) |
|---------|--|
| < 95 | - Aucun événement violent (G, A, A+, T, TT) ne devrait se produire. |
| 95-99 | - Faible probabilité de G, A. |
| 100-120 | - Forte probabilité de G, A. - Probabilité faible à modérée de T et/ou de TT surtout si IN est supérieur à 105. |
| > 120 | - Très forte probabilité de G, A. - Probabilité modérée de TT et/ou de T incluant une faible probabilité de A+; des événements très destructeurs et/ou meurtriers peuvent balayer plusieurs centaines de km carrés surtout si IN est supérieur à 140. |

IN = Indice normalisé d'intensité des orages (voir texte).
 G = Rafale de 90 km/h ou plus.
 T = Tornade.
 TT = 2 ou plusieurs tornades.
 A = Grêle de diamètre supérieur à 1.5 cm.
 A+ = Grêle de diamètre supérieur à 6 cm.

NOTE 1: Dans un contexte opérationnel, les déductions ci-haut sont valides sous les restrictions suivantes:

1. Le sondage est bien représentatif de l'environnement des cellules.
2. La température et le point de rosée sont bien prévus.
3. La convection est déclenchée par un mécanisme quelconque.

5. CONCLUSION

L'occurrence du temps violent résulte d'une balance délicate entre l'énergie thermodynamique et le cisaillement moyen à bas niveau. L'indice dérivé IN constitue une mesure objective du potentiel de temps violent, et peut être interprété comme une mesure relative de l'intensité des orages qui se développeront dans un tel environnement. Dans de tels cas, il faut cependant déterminer l'endroit où les mécanismes déclencheurs sont les plus intenses (i.e. situation synoptique, mécanismes à méso-échelle, etc.) de façon à tirer profit au maximum de la technique. Une situation synoptique défavorable peut même annihiler toute convection, même si les paramètres énergie-cisaillement sont favorables.

Cette fonction IN constitue un indice de temps violent estival. En temps réel, on peut calculer la valeur de la fonction pour chaque radiosondage de 1200 T.U. L'usage de la fonction IN dans la prévision nécessite un choix judicieux du radiosondage représentatif ainsi que la prévision la plus exacte possible de la température et du point de rosée maximums que l'on devrait observer en après-midi. Un changement d'un degré dans le point de rosée entraîne une modification de l'énergie hydrostatique de quelques centaines de J/kg, et une variation de quelques unités de l'indice IN. Il importe donc que le météorologiste réévalue constamment la situation en suivant d'heure en heure la variation des températures et du point de rosée. A cet égard, les observations de midi (heure solaire) du réseau Forêt-météo sont inestimables dû à la densité des stations d'observations, rendant ainsi beaucoup plus aisée la détermination des langues d'air chaud et humide au sol. Il devient donc possible de procéder à une réévaluation de la fonction, le cas échéant. L'application de la technique requiert également la disponibilité de radiosondages complets, tout spécialement au niveau des radiovents dans la basse atmosphère; dans le cas contraire, l'évaluation du cisaillement moyen peut être largement faussée et produire des résultats erronés.

On remarque que les cas de pluie abondante et de crues subites n'ont pas été considérés comme événements violents aux fins de cette étude; plusieurs de ces cas sont associés à des orages quasi stationnaires, ou à deux ou trois cellules distinctes qui affectent successivement une même région; dans la très grande majorité de ces situations, les orages individuels associés n'atteignent pas des proportions violentes. Par conséquent, la fonction IN ne peut pas être utilisée pour prévoir ces cas. Sauf pour les événements extrêmes, cette fonction ne permet pas de spécifier à priori le type d'événements violents: tornades mineures, vents violents, grêle; d'autres techniques doivent être utilisées à cette fin, dans l'éventualité où la fonction IN indique un potentiel d'orages violents. Par contre, à cause de la nature même des paramètres utilisés, elle permet au météorologiste du temps violent de se fixer très tôt sur l'intensité des orages qui pourraient se développer.

De plus, mentionnons que Weisman et Klemp (1984) ont effectué six simulations numériques pour étudier la relation entre l'évolution de cellules et le cisaillement vertical des vents, avec une énergie hydrostatique constante. On y a calculé le cisaillement moyen de 0 à 12 000 pieds, ainsi que la fonction IN; le tableau 4 fournit un sommaire des paramètres et des résultats de l'évolution des cellules après 120 minutes d'intégration numérique. Les résultats obtenus à l'aide d'un tel modèle sont très similaires à ceux déduits de la fonction IN, si l'on admet qu'une ligne de grains et/ou un orage supercellulaire produisent généralement des événements violents.

TABLEAU 4 - SOMMAIRE DE RÉSULTATS DE WEISMAN (1984)

| Eh (J/kg) | Cis (10^{-3} /sec) | ln(Cis) | IN | Résultats après 120 minutes d'évolution numérique d'une petite cellule initiale |
|--------------|--------------------------|---------|-----|---|
| 2200 | 3.9 | -5.55 | 91 | Faible multicellulaire |
| 2200 | 5.5 | -5.20 | 100 | Faible ligne de grains |
| 2200 | 8.0 | -4.85 | 111 | Supercellulaire du côté sud d'une ligne multicellulaire |
| 2200 | 7.9 | -4.85 | 111 | Supercellulaire du côté droit, multicellulaire du côté gauche |
| 2200 | 7.9 | -4.85 | 111 | Supercellulaire du côté droit |
| 2200 | 8.2 | -4.80 | 112 | Ligne de grains |

Eh = Énergie hydrostatique disponible.
 Cis = Cisaillement vertical moyen de la surface à 12 000 pieds.
 ln(Cis) = Logarithme naturel de Cis.
 IN = Indice normalisé d'intensité des orages (voir texte).

6. RÉFÉRENCES

- Klemp, J.B. and M.L. Weisman, 1983: The Dependence of Convective Precipitation Patterns on Vertical Wind Shear, Preprints, 21st Conference on Radar Meteorology, Edmonton, Alberta.
- Maddox, R.A. and C.A. Doswell III, 1982: An Examination of Jet-Stream Configurations, 500 mb Vorticity Advection and Low-Level Thermal Advection Patterns During Extended Periods of Intense Convection, Mon. Wea. Rev., 110, 184-197.
- Miller, R.C., 1972: Notes on Analysis and Severe Storm Forecasting Procedures of the Air Force Global Weather Central, Technical Report 200 (revised 1972), Air Weather Service, U.S.A., 190 pages.
- Rasmussen, E.N. and R.B. Wilhelmson, 1983: Relationships between Storm Characteristics and 1200 GMT Hodographs, Low-Level Shear, and Stability, Preprints, 13th Conference on Severe Local Storms, AMS.
- Turcotte, V., S. Siok and G. Deaudelin, 1985: Study of the Relationship between Wind Shear and Hydrostatic Energy in Summer Severe Weather, Note technique 85N-002, Région du Québec, Environnement Canada.
- Vigneux, D. and S. Siok, 1985: Effets d'une circulation directe sur le déclenchement d'orages violents, Note technique 85N-001, Région du Québec, Environnement Canada.
- Weisman, M.L. and J.B. Klemp, 1984: Characteristics of Isolated Convection, Mesoscale Meteorology and Forecasting, Vol. 3, Boulder, Colorado.
- Witten, D.E., 1985: May 31, 1985 - A Deadly Tornado Outbreak, Weatherwise, 38, 193-199.