

QC
981.8
.F5
P6814
1991

PRÉVISION DES INDICES FORÊT — MÉTÉO



QC
981.8
.F5
P6814
1991

3610329J

PRÉVISION DES INDICES

FORÊT - MÉTÉO

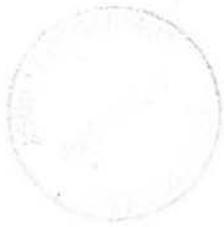


par Luc Pouliot

CENTRE MÉTÉOROLOGIQUE DU QUÉBEC

ENVIRONNEMENT CANADA

AVRIL 1991



Couverture: Illustration inspirée de la carte "Les régions écologiques du Québec méridional" de Michel Thibault, Service de la recherche, ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.

AVANT-PROPOS

Au Canada, les terres forestières couvrent environ 4,4 millions de kilomètres carrés. Cette superficie représente 15% de la superficie forestière mondiale et 44% de la superficie globale du pays.

Le secteur forestier canadien contribue à employer près d'un million de canadiens, ce qui représente 10% de la main-d'oeuvre active. Cette activité économique engendre annuellement des revenus fiscaux au gouvernement fédéral d'environ sept (7) milliards de dollars (1987). En plus des retombées économiques, il est également primordial de souligner l'importance de la forêt au point de vue environnemental. La forêt, source de vie, constitue un élément essentiel de l'équilibre naturel par le rôle biologique qu'elle joue à titre d'habitat pour les espèces végétales et animales, et par son action physique sur le sol, l'eau et l'air. Elle joue également un rôle important dans la qualité de vie des Canadiens en tant que cadre de loisirs et d'activités récréatives diverses.

Par contre, la forêt canadienne est en danger, la plupart des peuplements accessibles d'arbres de bonne qualité ayant été abattus (Conseil des sciences du Canada, 1983). LES FEUX DE FORÊT, LES INSECTES, LA MALADIE ET LE VENT DETRUISENT UNE QUANTITE DE BOIS ÉGALE AU DEUX TIERS DE LA RÉCOLTE ANNUELLE. C'est pourquoi les forêts canadiennes doivent être protégées contre ces agents destructeurs.

Ainsi l'assistance météorologique fournie par le Service d'environnement atmosphérique (SEA) d'Environnement Canada aux organismes de protection des forêts contre le feu est un service essentiel qui doit se développer davantage. Ce service doit s'étendre aussi à tout autre organisme (protection des forêts contre les insectes, etc) nécessitant des prévisions météorologiques spéciales pour faciliter la mise en valeur et l'utilisation de la forêt canadienne pour le mieux-être socio-économique de la collectivité.

Le Service Forêt-météo du SEA Québec contribue déjà depuis plus d'une vingtaine d'années à fournir et améliorer un service de prévision météorologique spécifique à la protection des forêts. Le territoire du Québec représente 25% de la superficie forestière productive du Canada, plaçant ainsi le Québec au premier rang des provinces canadiennes.

ABSTRACT

Weather is an essential ingredient of the Canadian Forest Fire Weather Index System. For a better comprehension and application of the system, the user should have a good knowledge of the sensitivity of the fire weather indices to weather factors and on the restricted ability to measure these elements with a high degree of accuracy. In this paper, the weather parameters are studied within the weather observation and forecast context, by illustrating the accuracy or sensitivity levels which affect the indices computation. A spatial estimation approach is proposed to evaluate the fire-weather indices and a technique of index calculation per forest weather zone is described. We also give a brief description of a method of using rain probabilities for index forecasting and of verification of the forecast precipitation and indices.

RÉSUMÉ

La météo joue un rôle essentiel dans la méthode de calcul des indices canadiens d'évaluation des dangers d'incendie forestier. Pour une meilleure utilisation et application de cette méthode, il est avantageux de connaître les niveaux de sensibilité de ces indices forestiers aux facteurs météo qui les déterminent ainsi que la capacité de mesurer ces éléments météo avec l'exactitude requise. Dans cet ouvrage, nous étudions les paramètres météo, dans un contexte d'observation et de prévision météorologiques, en illustrant les niveaux de précision ou de sensibilité qui affectent les calculs des indices. On propose une approche de calcul spatial des indices à l'aide d'une technique d'évaluation par zone météo-forestière. On décrit brièvement une méthode d'utilisation des probabilités de pluie pour la prévision des indices et une méthode de vérification des précipitations et des indices prévus.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS

1. INTRODUCTION	1
2. ÉCLOSION ET COMPORTEMENT DES INCENDIES	3
3. INDICE DU COMBUSTIBLE LÉGER - INFLAMMABILITÉ	5
Définition	5
Degrés d'inflammabilité	7
Effets de la pluie	8
Effets de l'humidité relative	10
Effets de la température	14
Effets de vitesse de vent	14
Précision de l'estimation de l'ICL	19
4. INDICE DU COMBUSTIBLE DISPONIBLE - SÉCHERESSE	26
Définition	26
Calcul de l'ICD	26
Effets de la pluie	29
Réduction de l'ICD en fonction de la pluie	32
Effets des températures et des humidités relatives	36
Classes de sécheresse - ICD	36
5. VENT: IPI, IFM	38
IPI	38
IFM	44
Conclusion	44
OUVRAGES DE RÉFÉRENCE	48
ANNEXE I	50
ANNEXE II	57
ANNEXE III	66

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Structure schématique de l'indice Forêt-météo	4
Figure 3.1	Échelle de conversion de la teneur en humidité des combustibles légers ou des litières forestières en unités d'ICL et en niveaux d'inflammabilité	
Figure 3.2	Variations de l'ICL en fonction du paramètre pluie	9
Figure 3.3	Variations de l'ICL 81 à 93 en fonction de l'humidité relative	11
Figure 3.4	Variations de l'ICL 40 à 80 en fonction de l'humidité relative	13
Figure 3.5	Variations de l'ICL en fonction de la température	15
Figure 3.6	Variations de l'ICL 40 en fonction de la température et des humidités relatives 15%, 25% et 40%	
Figure 3.7	Variations de l'ICL en fonction de la vitesse du vent	17
Figure 3.8	Variations de l'ICL 40 en fonction des températures et des vitesses de vent avec une humidité relative de 25%	18
Figure 3.9	Précision de l'estimation de l'ICL selon la mesure à 0,2 mm près du paramètre pluie	20
Figure 3.10	Effets des variations des températures (Ts et Tm) sur le calcul des humidités relatives	21
Figure 3.11	Précision de l'estimation de l'ICL selon la mesure à 5% près de l'humidité relative.....	22
Figure 3.12	Précision de l'estimation de l'ICL en tenant compte de la précision des facteurs pluie ($\pm 0,2$ mm) et humidité relative ($\pm 5\%$)	23
Figure 3.13	Exactitude des calculs d'inflammabilité pour une petite région forestière	25

LISTE DES FIGURES (suite)

Figure 4.1	ICD fonction des variables IH et IS	27
Figure 4.2	Variations comparatives de l'ICD, l'IS et l'IH	28
Figure 4.3	Variations de IH et IS en fonction de la pluie	30
Figure 4.4	Pourcentages de réduction de IH en fonction de la gamme de pluie de 2 mm à 10 mm	31
Figure 4.5	Réduction de l'ICD en fonction de la pluie	33
Figure 4.6	Effets d'une précision de $\pm 0,5$ mm de pluie sur l'ICD pour la gamme de 1,5 mm à 6,5 mm	34
Figure 4.7	Réduction de l'ICD en fonction d'une gamme de pluie de 6 mm à 12 mm	35
Figure 4.8	Accroissement journalier de IS et IH en fonction de la température et de l'humidité relative	37
Figure 5.1	IPI fonction des variables ICL et vent.....	39
Figure 5.2	Exemple des vitesses de propagation estimées à partir d'une variation d'IPI de 6 à 13.....	40
Figure 5.3	Exactitude de la mesure de l'IPI en fonction des mesures de la vitesse du vent à ± 2 km/h et de l'ICL du jour 90 à ± 1 unité.....	41
Figure 5.4	Exemple des vitesses de propagation estimées à partir de l'ICL du jour de 90 à ± 1 unité et une vitesse de vent de 20 km/h à ± 2 unités.....	42
Figure 5.5	Précision du calcul de l'IPI en fonction des vitesses du vent estimées à ± 2 km/h et des humidités relatives à $\pm 5\%$	43
Figure 5.6	IFM fonction des variables ICD et IPI.....	45
Figure 5.7	Exemple d'un graphique d'interprétation du comportement des incendies.....	46
Figure 5.8	Exemple d'interprétation des classes d'intensité d'incendie.....	47

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I	Équations et méthode de calcul des indices canadiens Forêt-météo et les symboles utilisés dans les équations	50
ANNEXE II	Utilisation des probabilités des précipitations pour le calcul des indices Forêt-météo	57
ANNEXE III	Évaluation par zone des indices Forêt-météo. Prévision et région météorologiques.....	66

1. INTRODUCTION

Un des rôles importants d'un centre de protection des forêts contre le feu serait de prévoir le développement potentiel des incendies, d'identifier et de déplacer les ressources nécessaires vers les zones menacées. Ces centres de décisions doivent en quelque sorte répondre aux questions suivantes:

- 1) Y aura-t-il des feux?
- 2) Quand?
- 3) Où?
- 4) Combien?
- 5) Quel sera leur comportement?
 - Vitesse de propagation
 - Difficulté de contrôle, intensité ...

Les réponses à ces questions favoriseront le succès de l'attaque initiale contre les incendies et contribueront à réduire les coûts et à minimiser les pertes de forêts. Les organismes de protection ne sont donc pas des spectateurs qui réagissent seulement une fois l'incendie déclaré, mais ils sont plutôt des acteurs et des initiateurs qui:

- 1) anticipent les éclosions des feux;
- 2) entrevoient la période et la région où les feux seront susceptibles d'éclater;
- 3) connaissent d'avance le comportement des feux prévus;
- 4) déploient aux endroits menacés les forces d'interventions nécessaires avant que les incendies n'aient débutés ou ne soient découverts;
- 5) supervisent le déroulement de la lutte.

Pour s'acquitter de ces responsabilités les centres de protection, appelés au Québec Quartiers généraux de la lutte (QGL) et Centre de coordination de la lutte (CCL), doivent disposer d'une foule d'informations, particulièrement au chapitre des prévisions météorologiques. C'est là qu'intervient le SERVICE FORÊT-MÉTÉO.

Le Service Forêt-météo se compose de spécialistes en prévisions météorologiques reliées aux incendies de forêt. En coopération avec les organismes de protection, ces spécialistes ont la responsabilité de développer des méthodes adéquates de prévision météorologique spécifique pour la protection des forêts contre le feu. Cette prévision spécifique, appelée prévision Forêt-météo, tient compte, de façon spéciale, de l'incidence des paramètres (météo et indices) sur les calculs des probabilités d'éclosion des incendies de forêt et sur les comportements de feux potentiels ou en cours. On détermine à l'avance les paramètres pluie, humidité relative, vent et température en considérant les relations, les seuils et niveaux de précision de ces paramètres qui influent sur le calcul des indices. On prévoit aussi l'heure du début et de la fin des précipitations, les probabilités d'occurrence et de quantité de pluie, les probabilités de foudre, l'humidité relative minimale et la température maximale. On porte une attention spéciale sur les virements de vent, leurs vitesses et possibilités de rafales, facteurs importants dans le combat des incendies.

Ce document d'information n'a pour but que de décrire un aspect de la méthode de prévision FORÊT-MÉTÉO qui a été développée au fil des années depuis 1966 (Pouliot 1968, 1970 et 1974) afin de fournir les éléments météorologiques appropriés pour la lutte contre les incendies de forêt au Québec. Dans cet ouvrage, nous décrivons, dans un contexte de prévision, les paramètres demandés pour le calcul des indices canadiens d'évaluation des dangers d'incendies forestiers. Nous illustrons à l'aide de nombreux graphiques les relations de ces paramètres (météo et indices) et les niveaux de précision ou de sensibilité qui affectent les calculs des probabilités d'éclosion des incendies de forêt et de leur comportement. Cet ouvrage s'adresse surtout aux forestiers et aux météorologistes qui ont déjà une bonne connaissance du système canadien d'évaluation des dangers d'incendie forestier ainsi que de son application.

2. ÉCLOSION ET COMPORTEMENT DES INCENDIES

Nous savons que l'éclosion d'un incendie nécessite en premier lieu la présence de causes ou d'agents capables de mettre le feu et d'un degré suffisant d'inflammabilité de la forêt. Le comportement ou la manière dont le feu se développera ou se propagera dépendra du type de forêt, de la topographie ou de la géographie et des conditions météorologiques.

Il est possible d'évaluer l'inflammabilité de la forêt et le comportement de l'incendie potentiel en utilisant la méthode d'évaluation développée par le Service canadien des forêts appelée: "INDICE FORÊT-MÉTÉO". Cette méthode est décrite dans l'ouvrage de C.E. Van Wagner (1987). Le système d'équations de cette méthode découle des effets des conditions atmosphériques sur les teneurs en humidité des combustibles et de l'effet du vent sur le comportement du feu. La méthode permet de calculer des indices d'inflammabilité (ICL) qui représentent les teneurs en eau des combustibles à dessèchement rapide, des indices IH et IS pour les teneurs en eau des combustibles à dessèchement plus lent, et finalement des indices de comportement IPI, ICD et IFM. L'IFM est un indice météorologique des feux de forêt appelé indice Forêt-météo.

Si on examine à la page suivante le diagramme de la figure 2.1 représentant la structure de l'indice Forêt-météo, on observe que cet indice dépend en quelque sorte de l'indice de combustible léger (ICL), de l'indice du combustible "disponible" (ICD), et de la vitesse du vent (VV). Donc dans un contexte de prévision de l'indice météorologique Forêt-météo, il serait avantageux d'étudier ces trois paramètres afin de déterminer leurs niveaux requis de précision. En premier lieu, nous allons d'abord observer les niveaux de sensibilité des indices ICL et ICD aux facteurs météo qui les déterminent. Nous pourrions ainsi définir les seuils critiques des facteurs météo qui influent sur les calculs de ces indices utilisés comme prédictors des incendies de forêt.

Dans cette étude, qui ne se veut pas exhaustive, nous avons recours surtout à une approche graphique. Les équations et méthodes de calcul dont nous avons utilisées pour tracer les différentes courbes et relations proviennent de l'ouvrage de C.E. Van Wagner et T.L. Pickett, (1985). Elles sont reproduites en annexes afin de faciliter la compréhension de ce présent document. Pour une description plus complète des indices canadiens, le lecteur devra consulter l'ouvrage de C.E. Van Wagner (1987).

STRUCTURE SCHÉMATIQUE DE L'INDICE FORÊT-MÉTÉO

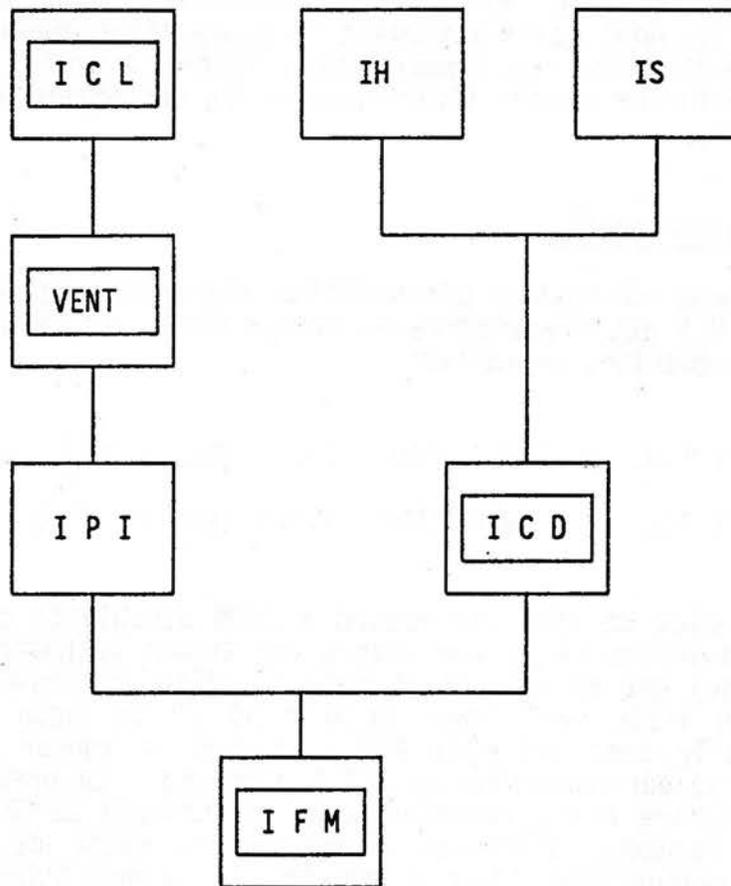


fig. 2.1

3. INDICE DU COMBUSTIBLE LÉGER - INFLAMMABILITÉ

Définition

L'indice du combustible léger (ICL) ou indice d'inflammabilité est une cote numérique de l'humidité de la litière et d'autres combustibles légers à dessèchement rapide; il sert à indiquer la facilité avec laquelle les combustibles légers peuvent s'allumer et s'enflammer. Il évalue donc qualitativement le degré d'inflammabilité de la litière, c'est-à-dire des combustibles légers à peine décomposés, qui constituent la couche supérieure de la couverture morte d'une forêt quelconque.

Équations de conversion

Dans la méthode canadienne d'évaluation, la valeur de la teneur en humidité (T.H.) est transformée en valeur d'ICL, et réciproquement, par une des équations suivantes:

$$(1) \text{ T.H.} = 147,2 (101 - \text{ICL}) / (59,5 + \text{ICL})$$

$$(2) \text{ ICL} = 59,5 (250 - \text{T.H.}) / (147,2 + \text{T.H.})$$

Ainsi, un indice de zéro correspond à 250% d'humidité ou de teneur en eau et un indice de 99 équivaut à une teneur en humidité d'environ 2%, ce qui est en réalité la valeur limite possible. La valeur numérique de l'ICL varie donc de 0 à 99 et de façon inversement proportionnelle avec celle de T.H.; lorsque la teneur en humidité décroît, la valeur numérique de l'ICL augmente. Le graphique de la figure 3.1 montre cette relation pour les teneurs de 0% à 32%. Il n'y a pas beaucoup d'intérêt à montrer le reste de la courbe, puisque le combustible léger a atteint le niveau d'inflammabilité "nul".

La figure 3.1 montre en plus la conversion des teneurs en humidité des litières forestières en valeurs d'ICL calibrées en degrés d'inflammabilité selon l'échelle qualitative suivante:

Nul (N), Bas (B), Modéré (M), Haut (H) et Extrême (E).

L'origine de ces degrés ou niveaux, appelés CLASSES d'inflammabilité provient de l'ouvrage de J.C. Wright (1932).

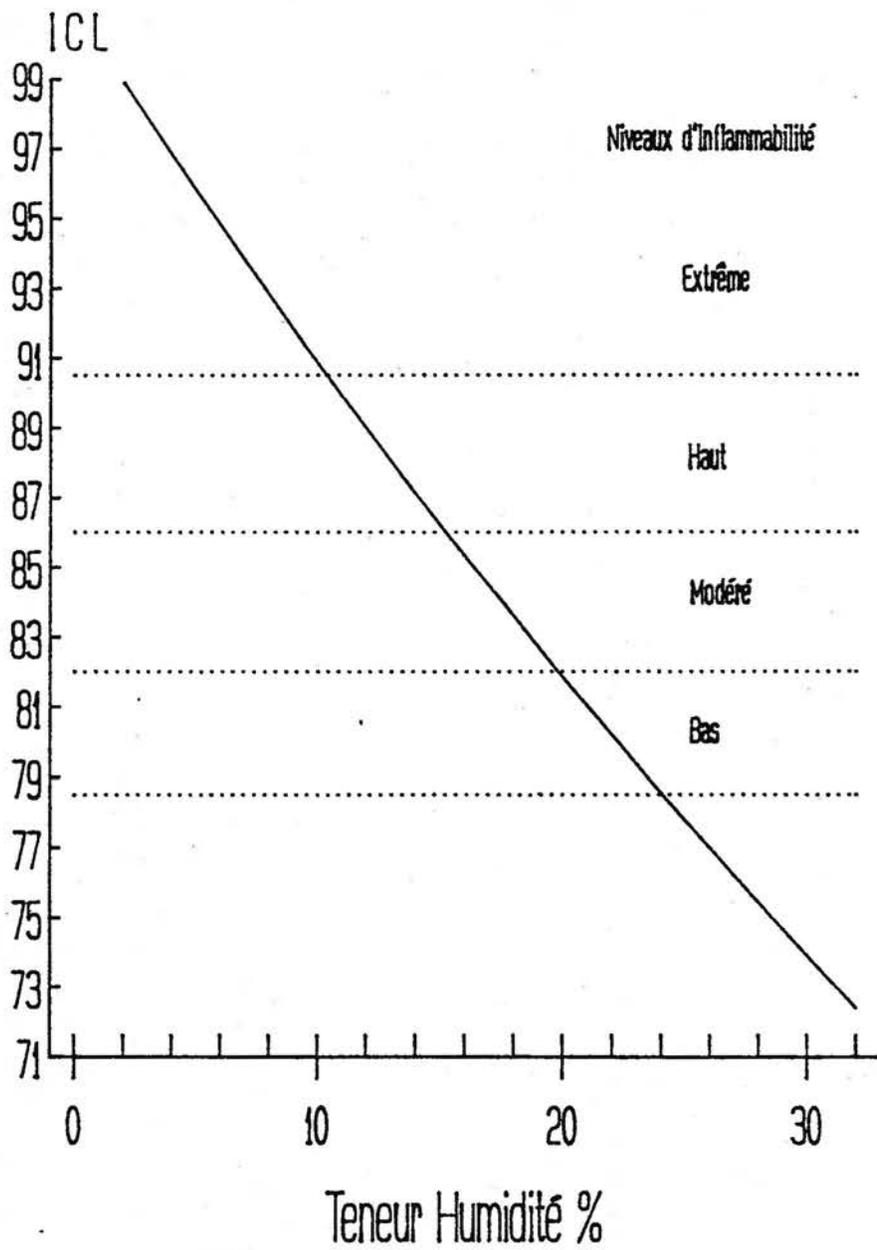


Figure 3.1

Échelle de conversion de la teneur en humidité des combustibles légers ou des litières forestières en unités d'ICL et en niveaux d'inflammabilité ou CLASSES d'inflammabilité.

Degrés d'inflammabilité

J.G. Wright (1932), principal pionnier dans le développement de la méthode canadienne, a établi des degrés d'inflammabilité selon différentes teneurs en humidité de litières composées essentiellement d'aiguilles de pin. Il a dressé le tableau suivant auquel nous avons fait correspondre la valeur de l'ICL calculée par l'équation de conversion (1) avec les différentes teneurs.

Tableau de conversion

<u>degré d'inflammabilité</u>	<u>teneur en humidité des litières de pin</u>	<u>ICL correspondant</u>
Nul	24 pour cent et plus	78 et moins
Bas	19 à 23 pour cent	79 à 82
Modéré	16 à 18 pour cent	83 - 86
Haut	11 à 15 pour cent	87 - 90
Extrême	10 pour cent et moins	91 et +

On a adopté cette échelle de valeurs (voir figure 3.1) au Québec comme outil de planification. Les degrés d'inflammabilité sont utilisés comme classes de danger de feux ou classes d'inflammabilité de la forêt pour les zones forestières ou zones de prévisions (voir page 25 et annexe III). L'ICL est un des principaux facteurs employés dans les modèles mathématiques de prévision de l'éclosion des incendies à causes humaines et dans le calcul de la vitesse de propagation des incendies forestiers en général.

La perte ou l'augmentation d'humidité du combustible léger s'évalue à l'aide d'une série d'équations mettant en relation l'influence de la pluie, de l'humidité relative, de la vitesse du vent et de la température. Nous allons voir maintenant les effets de ces paramètres météorologiques qui déterminent l'ICL en utilisant les équations de l'ouvrage de C.E. Van Wagner et T.L. Pickett (1985) reproduites à l'annexe I.

Effets de la pluie

Dans la méthode d'évaluation, la quantité de pluie tombée en 24 heures " r_0 " est mesurée à 0,2 mm près tous les jours à midi à une station météo-forestière située dans un endroit dégagé. Le premier 0,5 mm de pluie a été évalué comme n'ayant aucun effet sur l'ICL; ainsi pour le calcul de l'ICL, les précipitations effectives (réelles) " r_f " sont déterminées par l'équation suivante:

$$r_f = r_0 - 0,5 \text{ mm}$$

La teneur en humidité (T.H. = m_r) due à la pluie est calculée par les équations 3a ou 3b de l'ouvrage de référence (voir annexe I). Par exemple, si l'ICL de la veille est 91, ou inflammabilité EXTRÊME, et que la quantité de pluie " r_f " n'est que 1,0 mm, on trouve à l'aide des équations les résultats suivants:

- a) m_0 = teneur en humidité la veille: 9,78 pour cent
- b) m_r = teneur en humidité après la pluie: 23,8 pour cent
- c) ICL de départ correspondant: 78,7 ou un degré d'inflammabilité presque NUL (en ne tenant pas compte de l'effet des autres paramètres).

Le graphique de la figure 3.2 montre pour quatre valeurs d'ICL observés la veille (70, 80, 90 et 98), les courbes obtenues en fonction du paramètre "pluie" seulement.

On note dans ce graphique qu'une variation seulement de $\pm 0,2$ mm de pluie peut donner (par exemple pour un ICL de 90 la veille) une variation de ± 4 unités; et qu'il suffit d'à peine 3 mm de pluie pour l'abaisser bien au-dessous du niveau d'inflammabilité BAS.

Ce graphique nous démontre la très grande importance des faibles précipitations dans le calcul de l'ICL. Ce problème a nécessité pour la prévision des indices le développement des scénarios de pluie (voir annexe III).

La connaissance des seuils de quantité de pluie qui affecte l'ICL, principal prédicteur des feux de forêt, guide le prévisionniste dans le calcul des probabilités d'atteindre tel ou tel niveau d'inflammabilité; elle lui indique l'importance relative à apporter dans la détermination des autres paramètres de calcul dont nous allons étudier les effets dans les sections suivantes.

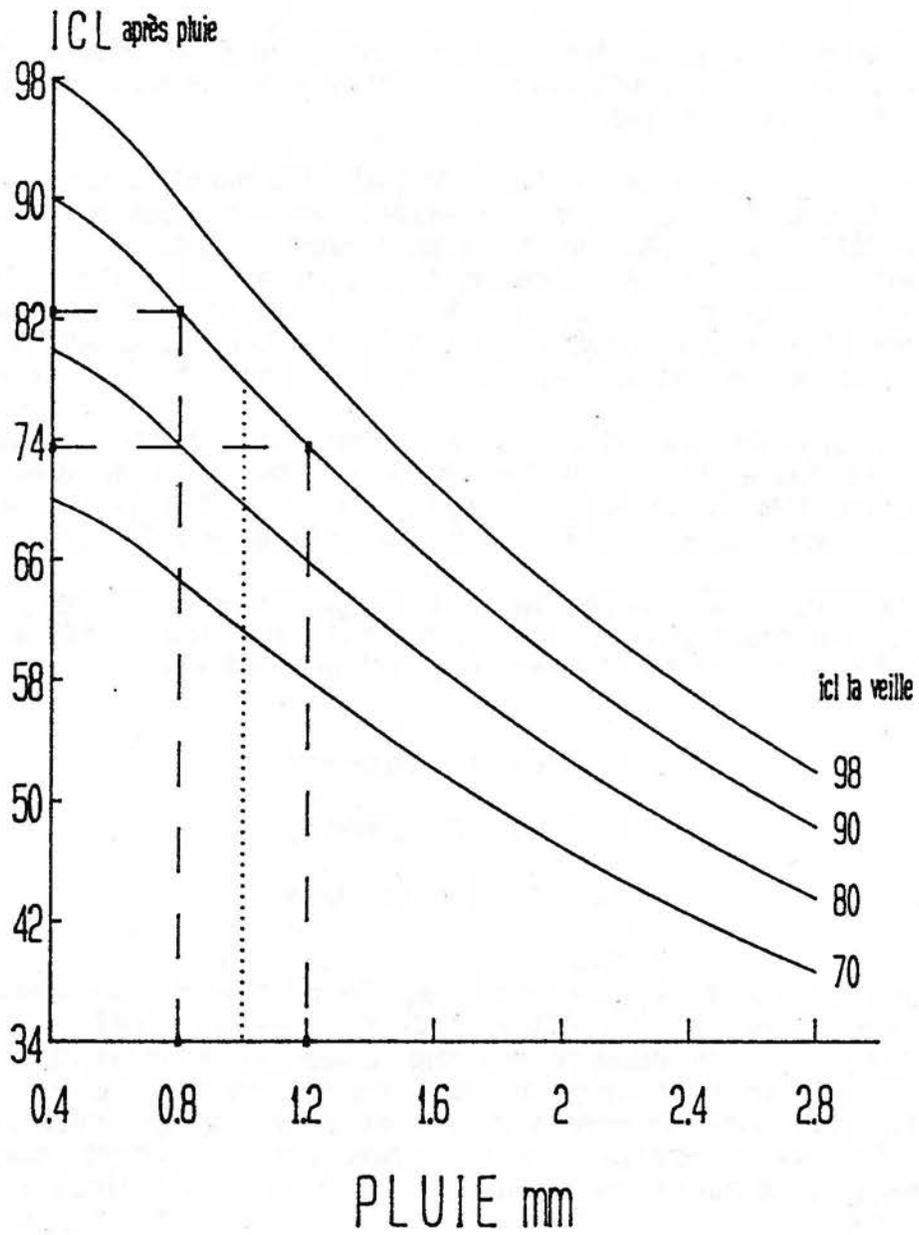


Figure 3.2

Variations de l'ICL de départ (ou la veille) de 70, 80, 90 et 98 en fonction du paramètre pluie seulement sans tenir compte des facteurs de séchage après la pluie.

Effets de l'humidité relative

L'humidité relative observée à midi, combinée à la température et à la vitesse du vent, détermine l'intensité et le sens des changements de l'ICL d'un jour à l'autre.

En utilisant le système d'équations de référence (annexe I), on a calculé, pour un ICL donné, les effets des humidités relatives (de 20% à 90%) sur le séchage ou le mouillage du combustible léger en gardant constantes la température (21°C) et la vitesse du vent (15 km/h). Le graphique suivant (figure 3.3) montre, pour sept valeurs d'indices de départ (81 à 93), les courbes obtenues illustrant les variations de l'ICL en fonction des humidités relatives.

On distingue dans ce graphique les différents niveaux de transition entre la phase de séchage et celle de mouillage du combustible léger par l'humidité relative (où $E_d \geq m_0 \geq E_w$) (voir équations de référence 4 et 5 et l'item 8 de la méthode de calcul).

Par exemple, pour la courbe "ICL de départ 91", on voit que le plateau de transition se trouve délimité par les humidités relatives 30 pour cent et 40 pour cent; ce qui veut dire:

H.R. > 40, ICL décroît

H.R. < 30, ICL augmente

$30 \leq \text{H.R.} \leq 40$, ICL ne varie pas

De plus, on constate qu'à la fin de chaque plateau, un assèchement de 5 pour cent ferait croître l'ICL de 1 unité, tandis qu'il faudrait à partir du même point, une augmentation d'humidité de 15 pour cent pour le réduire du même écart. La connaissance de ces limites est intéressante parce qu'elle permet au prévisionniste d'ajuster le paramètre humidité relative en tenant compte de l'impact de ce paramètre prévu dans le calcul des indices d'inflammabilité.

Enfin, à l'extérieur des plateaux, on note qu'une variation de 10 pour cent du paramètre humidité entraîne une variation de l'indice ICL de 2 unités.

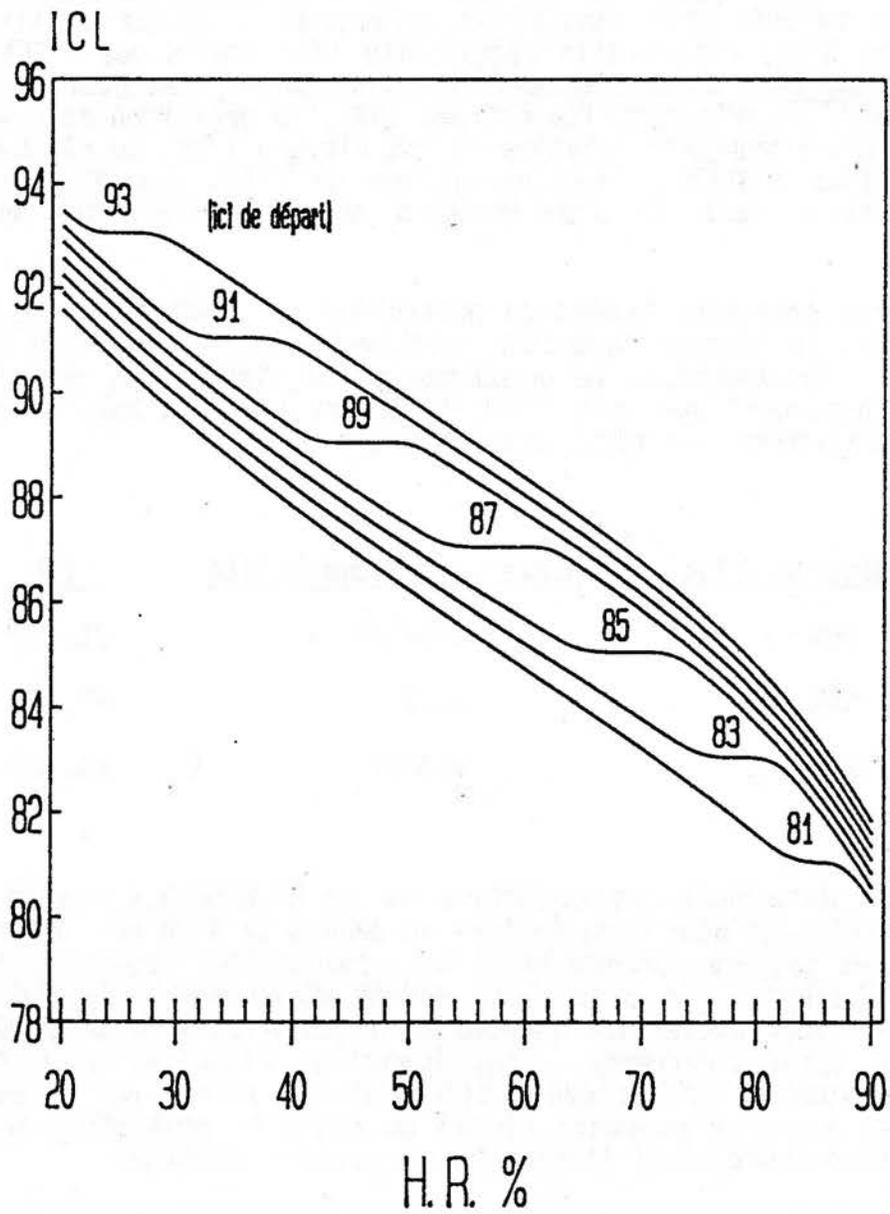


Figure 3.3

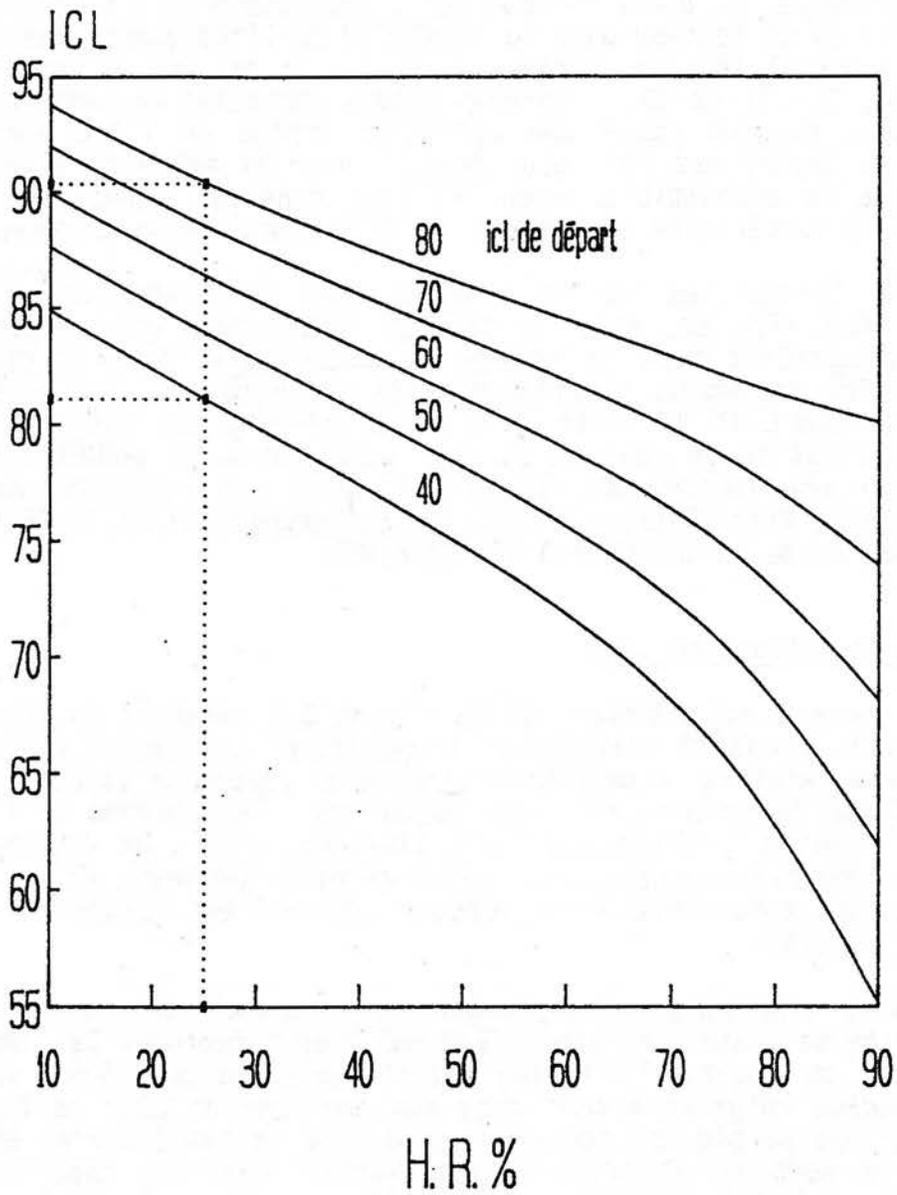
Variations de l'ICL de départ (ou après la pluie) de 81 à 93 en fonction de l'humidité relative, en gardant constantes la température à 21°C et la vitesse du vent à 15 Km /h.

Après le facteur "pluie", nous voyons que le paramètre "humidité relative" devient le facteur le plus important; il affecte de façon significative le séchage ou le mouillage du combustible léger. Par exemple, si l'on prévoit une journée humide, disons une humidité relative de 65%, mais sans pluie effective, l'ICL de 91 (EXTRÊME) décroîtra d'une classe d'inflammabilité (87) tandis que l'ICL de 81 (BAS) augmentera d'une classe (84). Par contre, une journée humide où le degré d'inflammabilité est BAS (80), la prévision pour le jour suivant d'une humidité relative de 25% élèvera l'ICL au niveau d'inflammabilité EXTRÊME. Ces variations de l'ICL ont d'importantes répercussions dans la planification ou la gestion des feux de forêts.

Durant les premières années de protection des forêts contre le feu au Canada, le facteur "humidité relative" était synonyme de "danger de feu". En examinant le graphique de la figure 3.3, on note par exemple que, quel que soit l'ICL de départ (de 81 à 93), on obtient approximativement les résultats suivants:

<u>humidité relative</u>	<u>degrés d'inflammabilité</u>	<u>ICL</u>
25%	EXTRÊME	91, 93
50%	HAUT	87, 89
75%	MODÉRÉ	83, 85

Examinons maintenant le graphique de la figure 3.4 montrant les courbes obtenues pour cinq indices de départ de 40 à 80. Nous avons vu que ces valeurs correspondent aux combustibles légers sursaturés d'eau à humides. On note qu'il suffit d'une humidité relative de 25% ou 30% pour élever les indices d'inflammabilité de 40 à 80 et de 80 à 90 (presqu'extrême). Ces humidités relatives sont souvent observées durant la période critique de la saison où le parterre forestier est plus ou moins dénudé de nouvelle végétation (avril à juin), favorisant ainsi l'éclosion d'incendies coûteux.



Figures 3.4

Variations de l'ICL de départ (40 à 80) en fonction de l'humidité relative, température 21°C et vitesse du vent 15 km/h constantes. La gamme 40 à 80 correspond à des combustibles légers sursaturés d'eau à humides.

Effets de la température

En gardant constantes l'humidité relative (40%) et la vitesse du vent (15 km/h), on peut calculer les variations de l'ICL en fonction des températures et ainsi déterminer l'importance et la précision souhaitable de ce facteur dans la PREVISION de l'inflammabilité. La figure 3.5 montre les six courbes obtenues pour des ICL de départ de 40, 55, 70, 81, 87 et 93. On note qu'une variation de température de 5 degrés Celsius cause une variation minime de l'ICL lorsque l'indice de départ est ≥ 81 ; pour obtenir une variation de 2 unités de l'indice du combustible léger, il faut dans ces conditions une variation de température de l'ordre de 10 degrés Celsius environ.

Par contre, lorsque les indices de départ sont aux niveaux d'inflammabilité NULS (70, 55, 40), le facteur température peut avoir un rôle plus important dans le séchage du combustible léger et causer une variation de degrés d'inflammabilité appréciable. Par exemple un ICL de départ de 40 (voir figure 3.6) affecté par une humidité relative de 25% et un vent de 15 km/h, passera de 84 (MODÈRE) à 88 (HAUT) pour une température de 25°C à 30°C; une variation de 10 degrés Celsius fera fluctuer l'ICL dans ces conditions de 76 (NUL) à 84 (MODÈRE) ou de 84 (MODÈRE) à 91 (EXTRÊME).

Effets de la vitesse de vent

Les cinq courbes du graphique de la figure 3.7 obtenues en gardant les facteurs "humidité relative et température" constants, montrent l'importance relative du paramètre vitesse de vent dans le calcul de l'ICL. Cette importance est très faible pour les courbes de l'ICL > 70 mais augmente à mesure que l'ICL diminue; ainsi, la vitesse du vent, tout comme la température, influence principalement la vitesse de séchage du combustible léger lorsque celui-ci est saturé ou sur-saturé d'humidité.

Par exemple, supposons qu'on prévoie qu'il tombera durant la nuit une quantité de pluie suffisante (3,0 mm) pour sursaturer le combustible léger ou abaisser l'indice d'inflammabilité au niveau 40 et que l'humidité relative à midi sera aux environs de 25%; la figure 3.8 résume une partie des scénarios probables de températures et de vitesses de vent qui pourraient faire varier, dans ces conditions, l'ICL du jour de NUL à EXTRÊME.

Cependant, malgré l'importance des températures et des vitesses de vent lorsque les indices de départ sont NULS, on peut conclure qu'en général ces derniers facteurs, pour le calcul de l'ICL, ne requièrent pas une précision difficile à obtenir. Ainsi, les erreurs de prévision ou d'observation de l'ICL seront donc causées spécialement par les facteurs humidité relative et pluie.

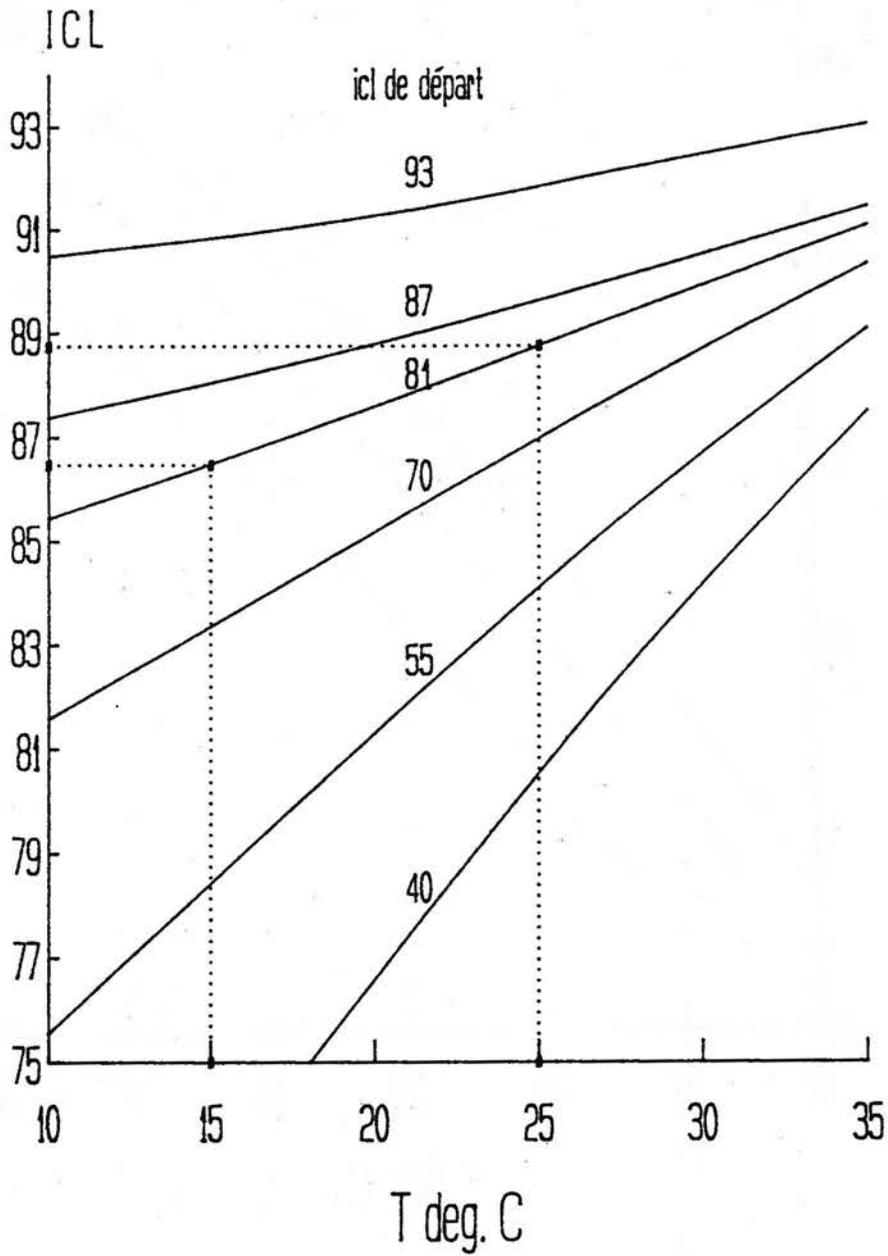


Figure 3.5

Variations de l'ICL de départ (40, 55, 70, 81, 87 et 93) en fonction de la température en gardant constantes l'humidité relative à 40% et la vitesse du vent à 15 km/h.

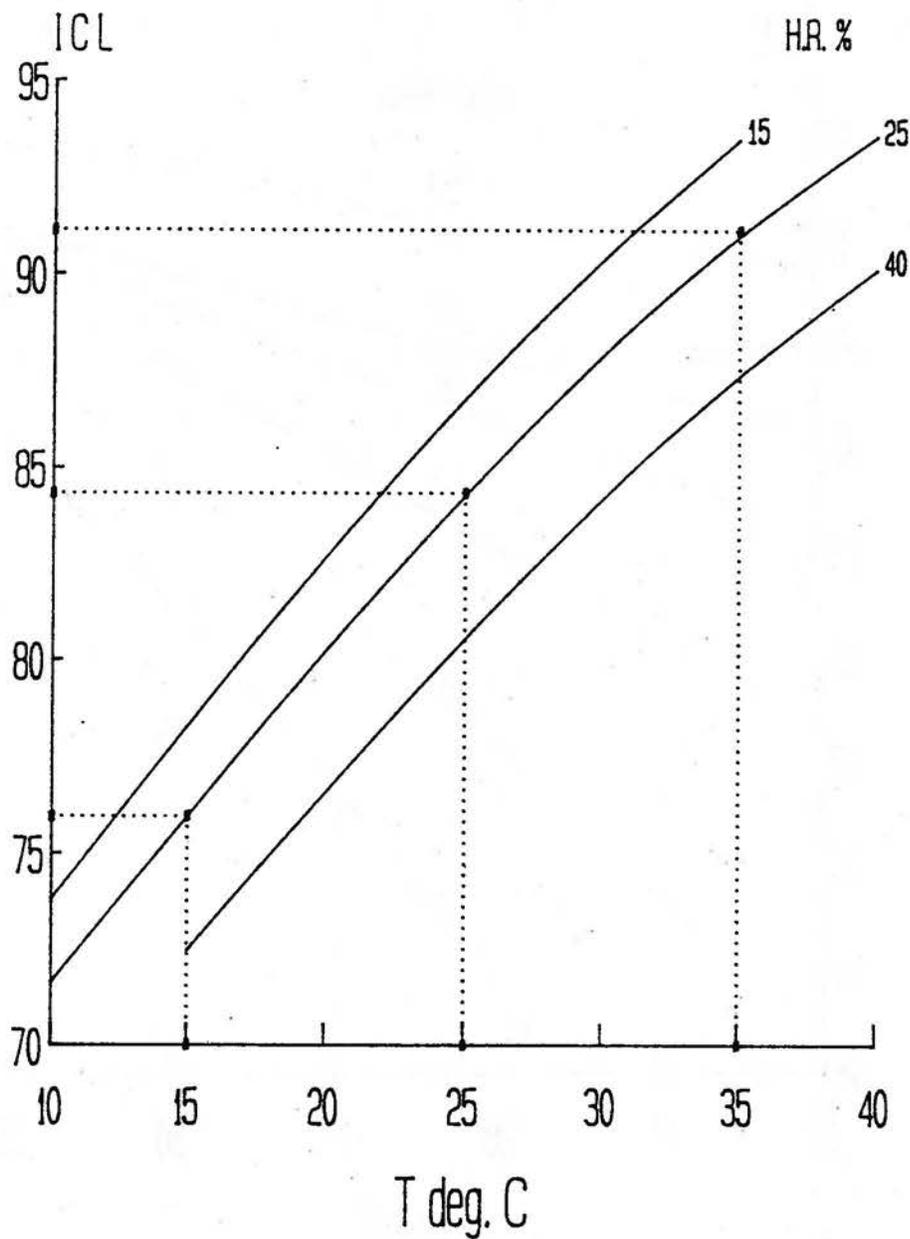


Figure 3.6

Variations de l'ICL de départ 40 (combustibles légers sursaturés d'eau) en fonction de la température et une vitesse de vent constante à 15 km/h, selon 3 valeurs d'humidité relative (H.R.) 15%, 25% et 40%. Les pointillés indiquent les fluctuations obtenues de l'ICL selon la courbe H.R. = 25%; des températures de 15°C à 35°C font fluctuer l'ICL de 76 (NUL) à 91 (EXTREME).

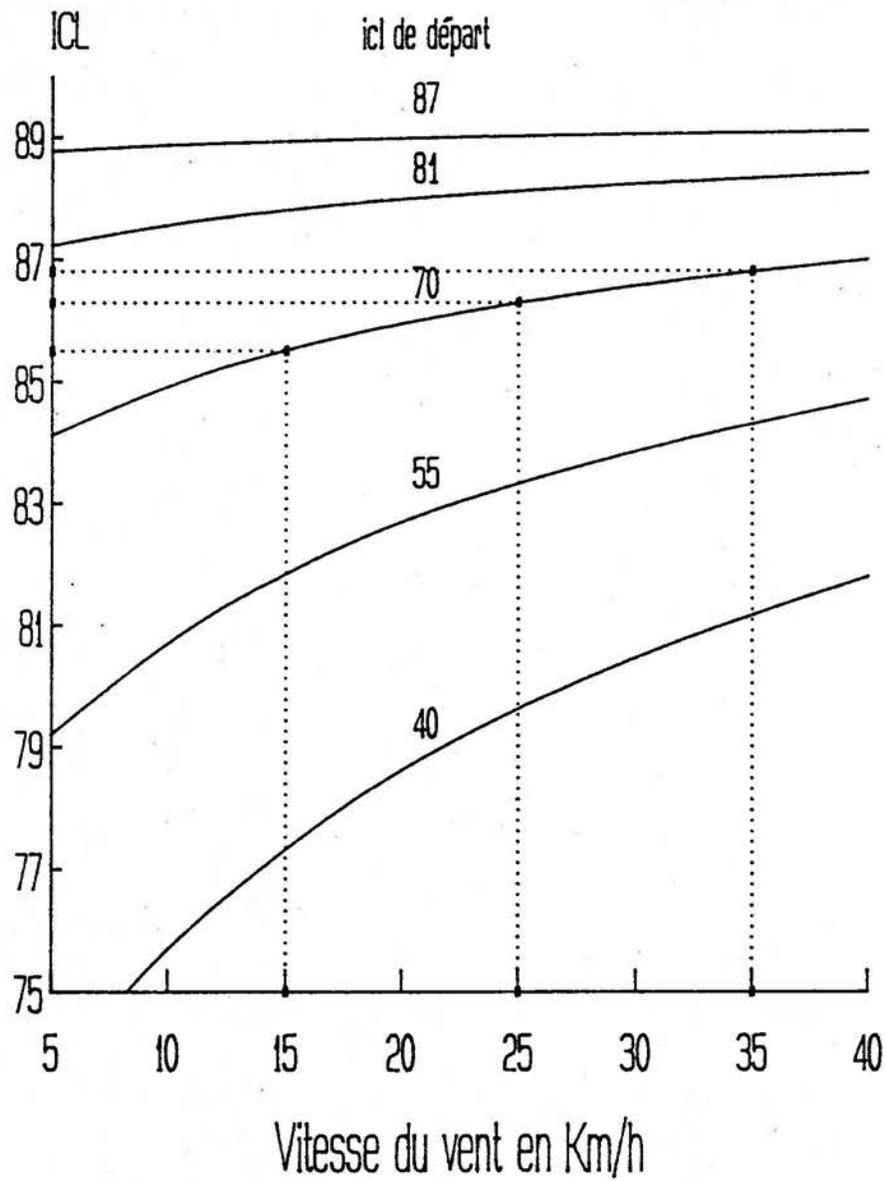


Figure 3.7

Variations de l'ICL en fonction de la vitesse du vent, en gardant constantes la température à 21°C et l'humidité relative à 40%. Les pointillés indiquent les variations obtenues de l'ICL de départ de 70 pour les vitesses de vent comprises entre 15 km/h et 35 km/h.

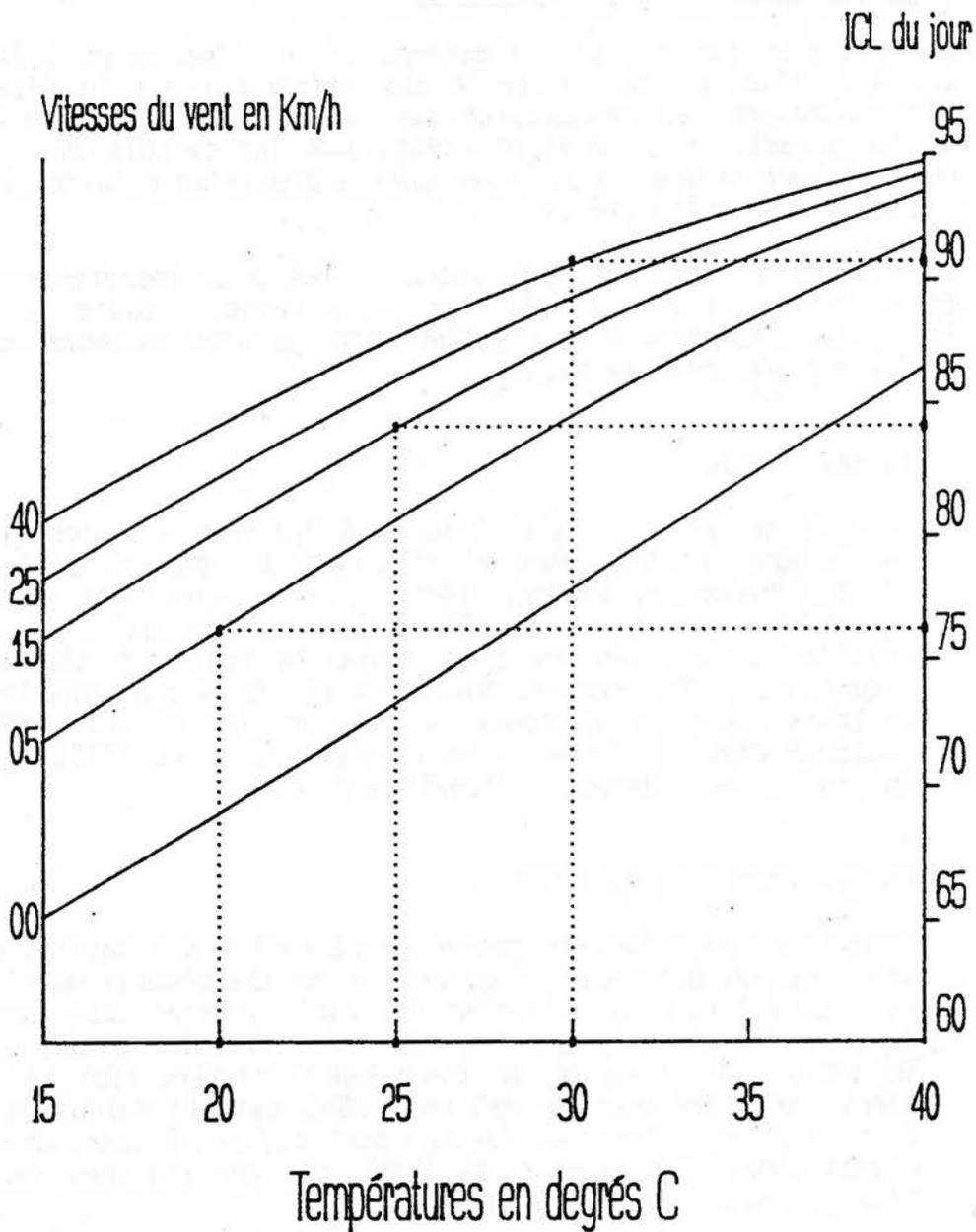


Figure 3.8

Variations de l'ICL de départ 40 en fonction de la température et de la vitesse du vent en gardant constante l'humidité relative à 25%. Les pointillés indiquent qu'une variation de température de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ et des vitesses de vent de 5 km/h à 40 km/h font varier l'ICL de 76 à 91 c'est-à-dire de NUL à EXTREME.

Précision de l'estimation de l'ICL

La précision requise dans l'estimation de l'ICL ne peut évidemment pas être plus grande que celle des paramètres qui le déterminent. Par conséquent, en connaissant les normes de précision des mesures de ces paramètres et de leurs effets dans les calculs de l'ICL, nous pouvons nous rendre compte avec quelle précision celui-ci peut être estimé et par suite prévu.

Nous avons vu que les deux facteurs les plus importants dans les équations de calcul de l'ICL sont les facteurs pluie et humidité relative. Examinons à quelle précision ces deux facteurs sont habituellement observés ou mesurés.

a) Facteur pluie

On doit mesurer la pluie au moins à 0,2 mm près selon les normes de la méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt (Turner et Lawson, 1978). Ainsi, on note qu'avec une variation de 0,2 mm de pluie, les valeurs de l'ICL ne sont précises qu'à 4 unités près avant la phase de séchage (voir figure 3.2). Par contre, après l'effet de séchage par les autres facteurs (sans tenir compte de la précision de leur mesure), on constate d'après l'exemple de la figure 3.9 que l'ICL est estimé en général avec un écart d'environ 2 unités.

b) Facteur humidité relative

L'humidité relative est déterminée à partir des mesures des températures du thermomètre sec (T_s) et du thermomètre mouillé (T_m). La figure 3.10 montre l'effet des variations de ces températures dans le calcul de l'humidité relative. On note qu'une variation de 1°C à 2°C seulement au thermomètre mouillé (T_m) par exemple donne une différence de ± 10 pour cent dans le calcul de l'humidité relative. Cette différence peut causer un écart d'environ 4 unités dans l'estimation de l'ICL tel qu'illustré, comme nous l'avons remarqué dans la figure 3.3.

La précision normalement requise des observations des températures pour le calcul des indices est du demi-degré Celsius (Turner et Lawson, 1978). Une précision de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ pour le thermomètre sec et le thermomètre mouillé donne une précision de $\pm 1^\circ$ à la différence psychométrique, de sorte que les valeurs calculées de l'humidité relative ne sont précises qu'à 5 pour cent près. Cette précision donne en général dans les calculs d'ICL un écart d'environ 2 unités (voir fig. 3.3 et fig. 3.11).

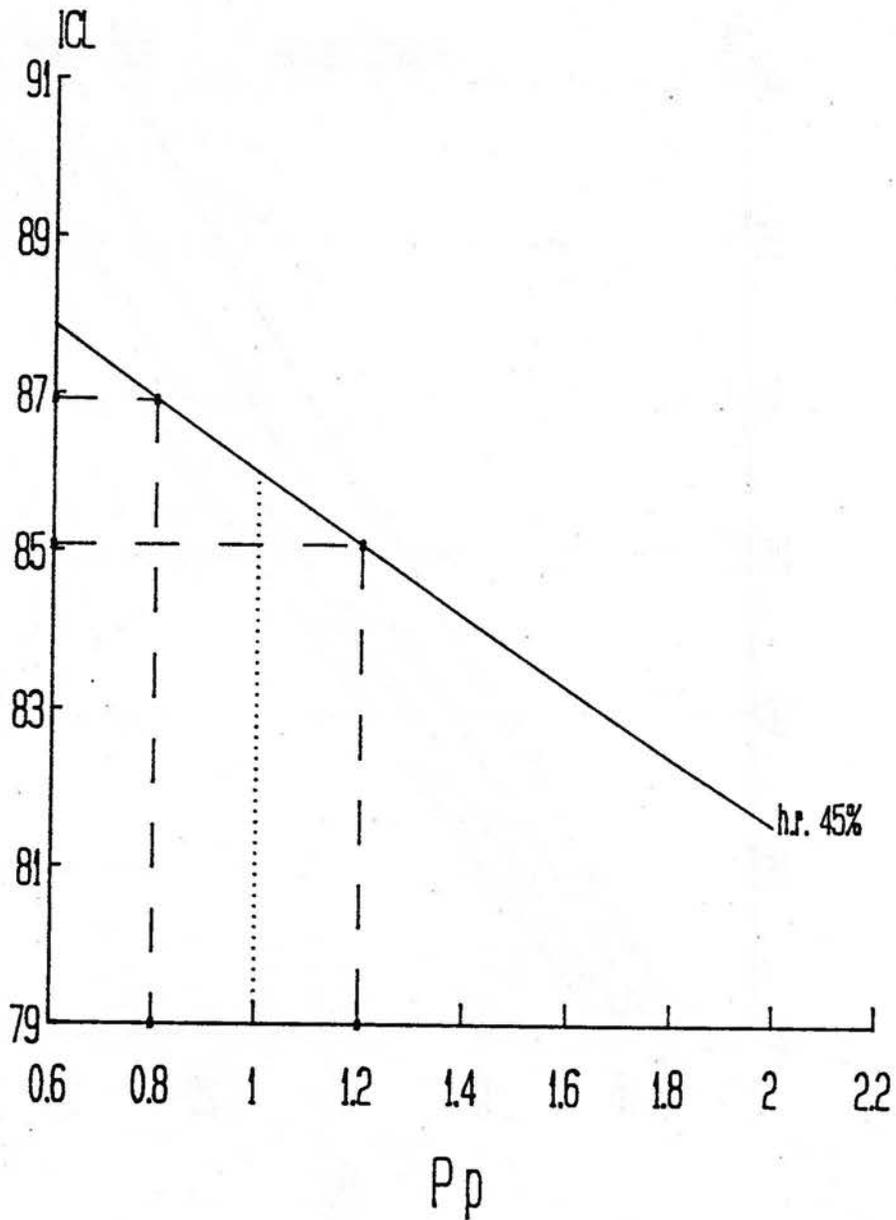


Figure 3.9

Précision de l'estimation de l'ICL (de départ 88) selon la mesure à 0,2 mm près du paramètre pluie (Pp), en gardant constantes l'humidité relative à 45%, la température à 21°C et la vitesse du vent à 15 km/h. Les lignes brisées indiquent que dans ces conditions le paramètre pluie Pp de 1 mm fait varier l'ICL de 85 à 87 ou de MODERE à HAUT.

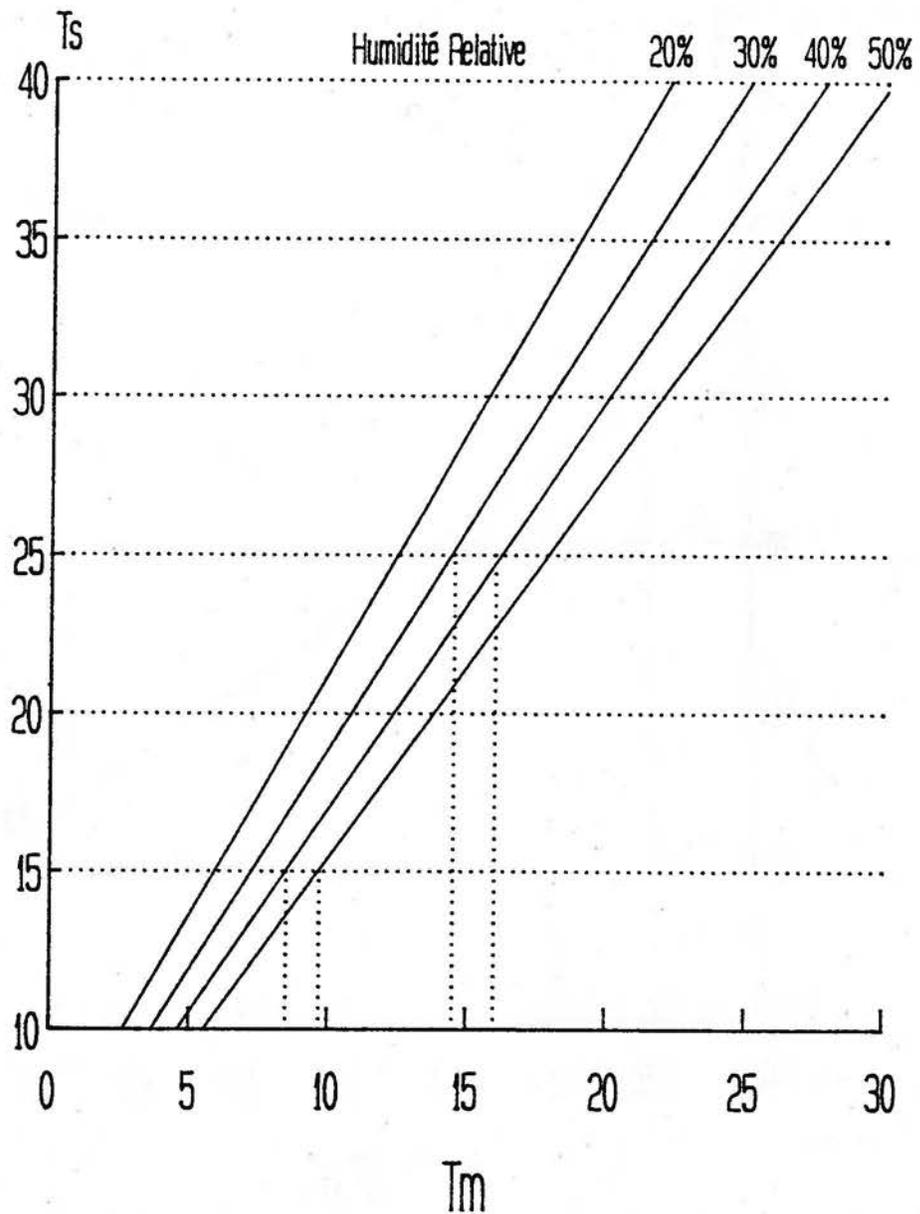


Figure 3.10

Effets des variations des températures prises aux thermomètres secs (T_s) et mouillés (T_m) pour le calcul des humidités relatives de 20%, 30% 40% et 50%. Les pointillés démontrent qu'une variation de 1°C à 2°C au thermomètre mouillé (T_m) donne une différence de ± 10% dans le calcul de l'humidité relative.

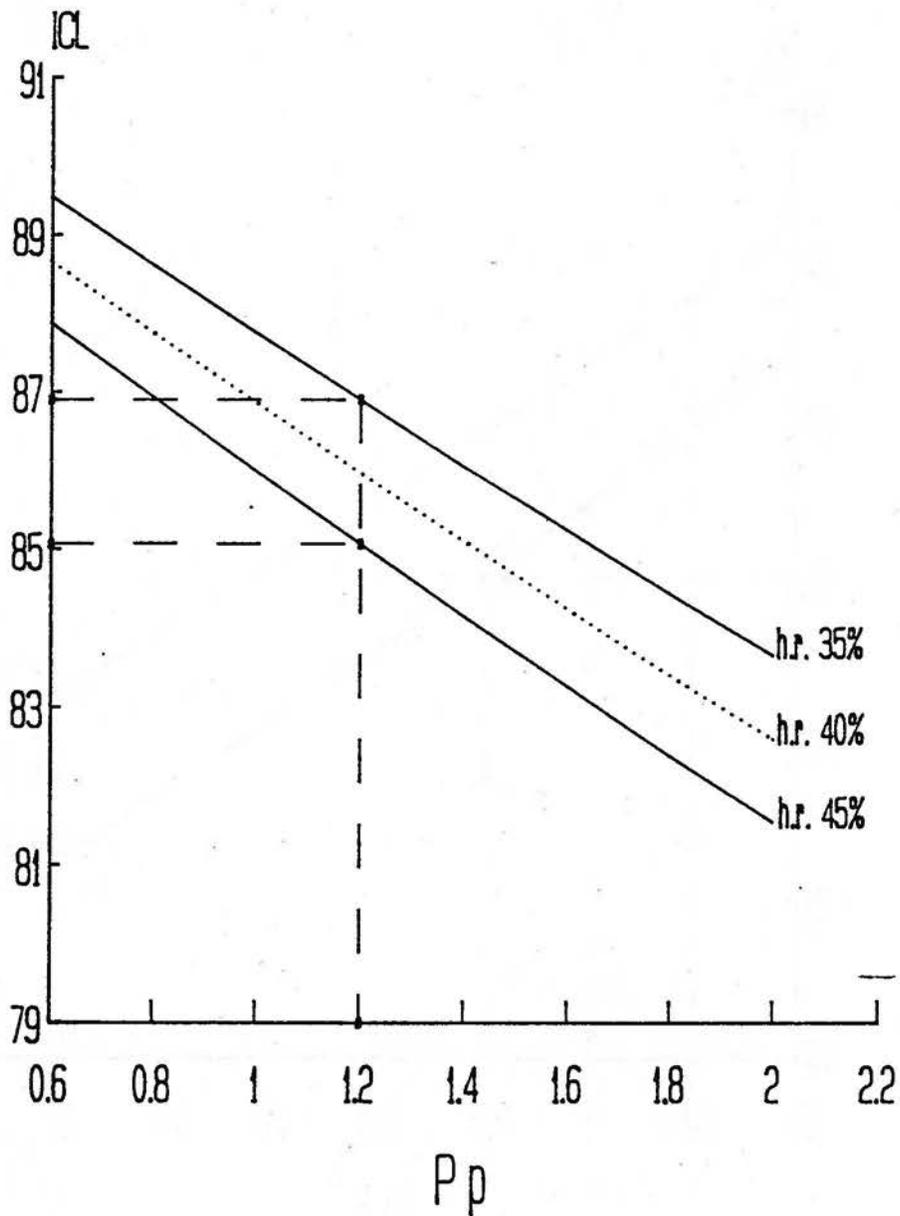


Figure 3.11

Précision de l'estimation de l'ICL (de départ 88) selon la mesure à 5% près de l'humidité relative, en gardant constantes la température à 21°C, la vitesse du vent à 15 km/h et la pluie à 1,2 mm. Les lignes brisées montrent que dans ces conditions le paramètre humidité relative (h.r.) de 40% permet d'estimer l'ICL de 85 à 87 ou de MODERE à HAUT.

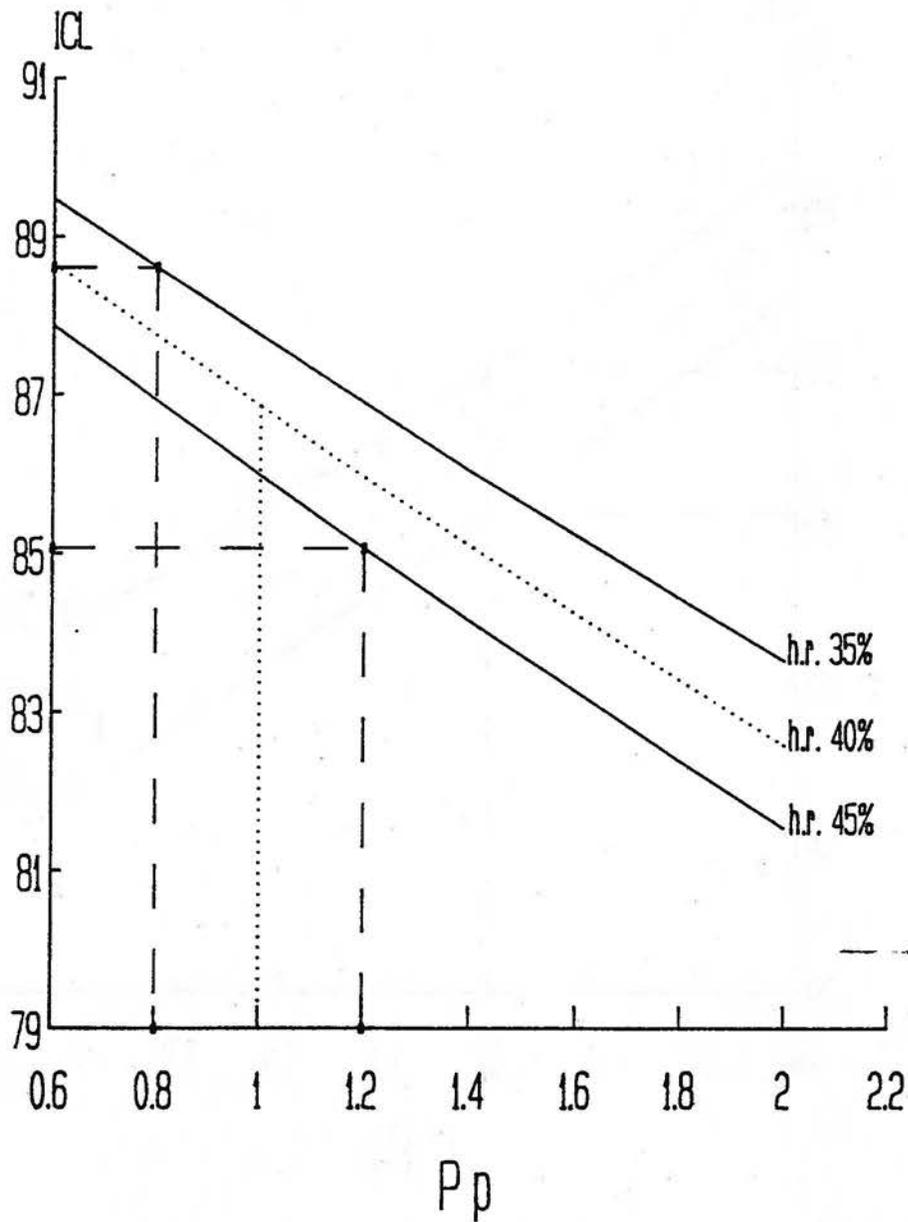


Figure 3.12

Précision de l'estimation de l'ICL en tenant compte de la précision des facteurs pluie ($\pm 0,2$ mm) et humidité relative ($\pm 5\%$).

c) Conclusion

Dans des conditions normales d'observations météorologiques, l'ICL est donc estimé à ± 2 unités près en tenant compte des précisions des facteurs pluie et humidité relative; ce qui veut dire qu'un indice OBSERVÉ de 87, par exemple, représente une valeur comprise entre 85 et 89 (voir figure 3.12). Il ne faudrait certainement pas s'attendre à une précision des prévisions plus grande que celle des observations.

Les précipitations durant la saison des feux sont souvent convectives. Il n'est pas rare de mesurer une hauteur de pluie de 1,5 mm, en un point, mais d'avoir 1,0 mm ou 2,0 mm quelques kilomètres plus loin. Avoir la capacité d'évaluer à une précision de 0,5 mm les précipitations qui affectent une petite région forestière, disons de 2 km par 2 km, à partir d'un seul pluviomètre situé au centre de cette région, nous semble une précision remarquable. Cependant, l'exemple de la figure 3.13 montre que pour un indice de départ de 88, cette précision des précipitations pourrait faire fluctuer les calculs d'inflammabilité entre 81 et 87, c'est-à-dire entre BAS et HAUT.

Ce qui veut dire qu'à un point quelconque, à l'intérieur de cette petite forêt, on ne peut préciser la valeur de l'ICL à partir d'une seule station. Cette situation illustre parfaitement la définition d'un indice. En effet, les indices sont des mesures indirectes (ou des ordres de grandeur) et ont été développés pour évaluer le danger de feu d'un territoire forestier et non pour des points ou des lignes. La distribution des valeurs de l'indice n'est pas une distribution linéaire.

C'est pourquoi le Service Forêt-météo évalue les données de façon spatiale (par zone) plutôt que ponctuelle (par station). Le problème a nécessité de diviser le territoire du Québec en quelques 110 zones forestières (voir annexe III).

Pour l'évaluation par zone des prévisions de l'ICL, nous avons défini des valeurs d'indices en fonction des classes d'inflammabilité et de la précision à laquelle l'ICL peut être mesuré. Dans la classe BAS (ou NUL), on a retenu que les trois valeurs 40, 70 et 81; pour les autres classes, on a gardé une précision de ± 2 unités. Le tableau suivant montre les indices d'inflammabilité utilisés pour les zones forestières.

<u>Classes ICL</u>	<u>Observations Stations</u>	<u>Prévisions Zones</u>
BAS	0 à 82	40, 70, 81
MODÉRÉ	83 à 86	83, 85
HAUT	87 à 90	87, 89
EXTRÊME	91 et plus	91, 93, 95

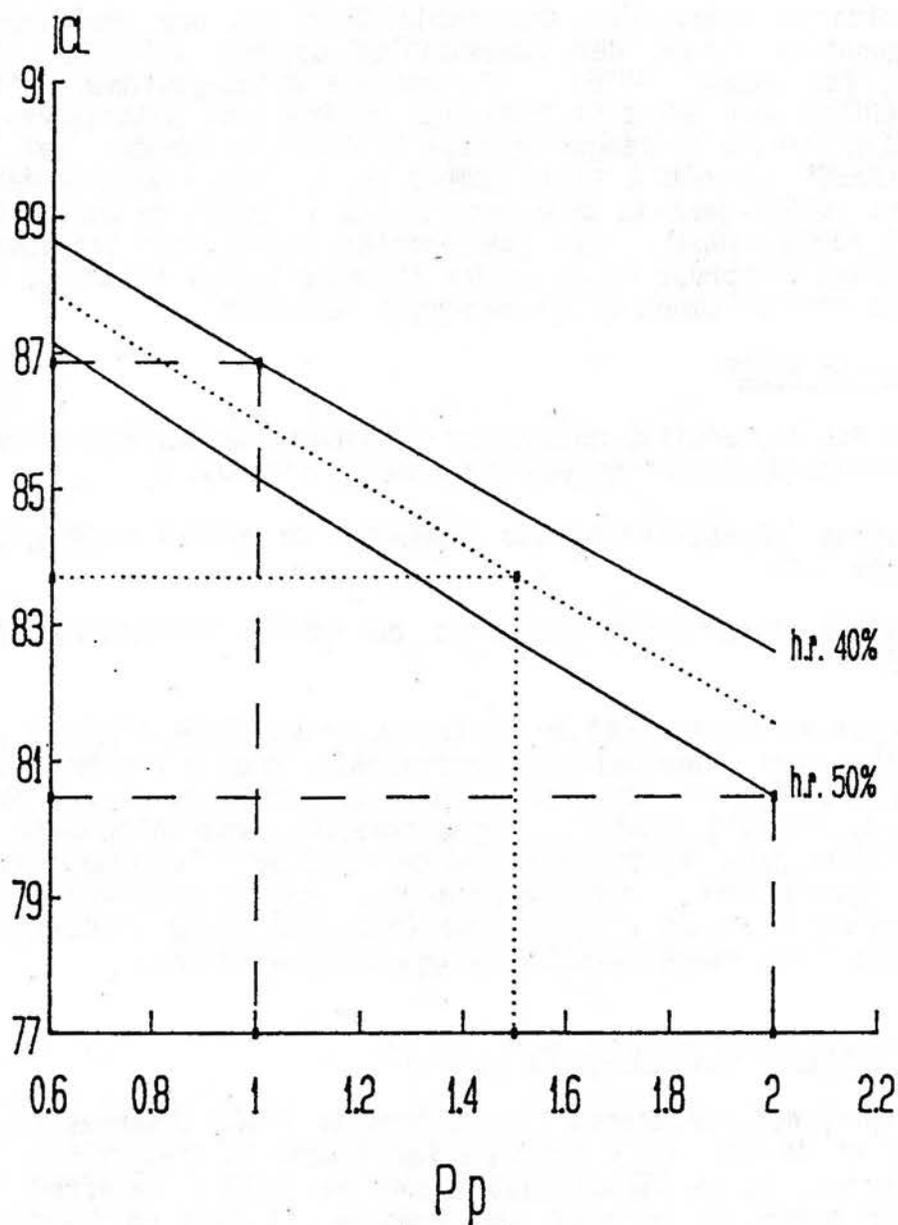


Figure 3.13

Exactitude des calculs d'inflammabilité pour une petite région forestière. En fixant la température à 21°C et la vitesse du vent à 15 km/h, les paramètres pluie (Pp) de 1,5 mm à ± 0,5 mm et humidité relative (h.r.) de 45% à ± 5% causent une variation de l'estimation de l'ICL (départ 88) de 81 à 87 ou de BAS à HAUT.

4. INDICE DU COMBUSTIBLE DISPONIBLE - SÉCHERESSE

Définition

L'indice du combustible disponible (ICD) est une cote numérique de la quantité totale des combustibles pouvant alimenter l'incendie (C.E. Van Wagner, 1976). Il remplace avantageusement l'indice de SÉCHERESSE qui existait dans les générations antérieures (1939 à 1972) d'indices de danger de feux de forêt au Canada. Cet indice de SÉCHERESSE servait à tenir compte de la teneur en eau des combustibles LOURDS dans la détermination de l'indice de danger de feu de Beall (1939, 1950). Les combustibles lourds sont les combustibles de nature tourbeuse ou de nature ligneuse à fort diamètre, qui s'allument difficilement et se consomment lentement.

Calcul de l'ICD

L'ICD est le résultat obtenu par la moyenne harmonique de deux cotes numériques de teneur en eau des couches d'humus:

- couches intermédiaires peu compactes de débris organiques décomposés (IH);
- couches inférieures compactes de débris organiques décomposés (IS).

La perte ou l'augmentation en eau du combustible disponible (LOURD) s'évalue tout comme celle du combustible léger à l'aide de plusieurs équations décrites dans les ouvrages de référence de C.E. Van Wagner et T.L. Pickett (1985). Les paramètres météorologiques les plus importants dans la détermination de l'ICD sont les précipitations et les températures. Mais auparavant, voyons l'influence des deux variables IH et IS à l'aide des équations 27 de l'annexe I, où on calcule l'ICD comme fonction de ces deux variables.

ICD fonction de IH et de IS

La figure 4.1 représente les valeurs de l'ICD obtenues en fonction de IH et de IS. On y remarque facilement la très faible influence de IS dans la variation quotidienne de l'ICD. En effet, pour une valeur donnée de IH = 30 par exemple, il faut un écart de IS de l'ordre de 100 unités pour apporter un écart d'à peine 5 unités à la valeur de l'ICD. L'accroissement journalier de l'IS est d'environ 8 unités par jour (figure 4.8). Ainsi dans un contexte de prévision de l'ICD, il semble évident que la variable IS est plutôt négligeable. Par contre, cette variable IS est importante dans l'évolution de semaine en semaine des valeurs de l'ICD durant la saison des feux.

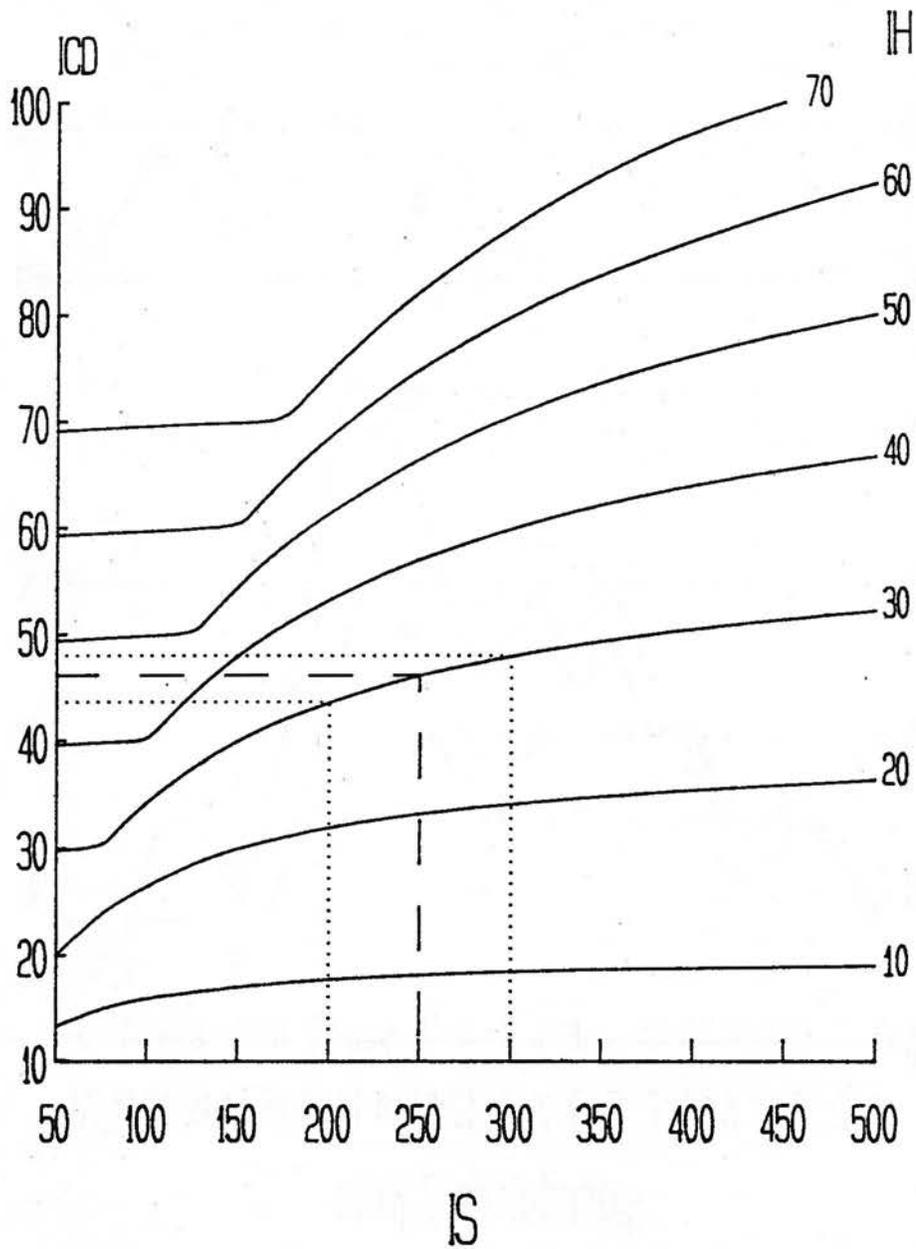


Figure 4.1

L'ICD est une fonction des variables IH et IS. Les pointillés indiquent que pour $IH = 30$ une fluctuation de IS 200 à 300 n'apporte qu'un écart d'à peine 5 unités à la valeur de l'ICD.

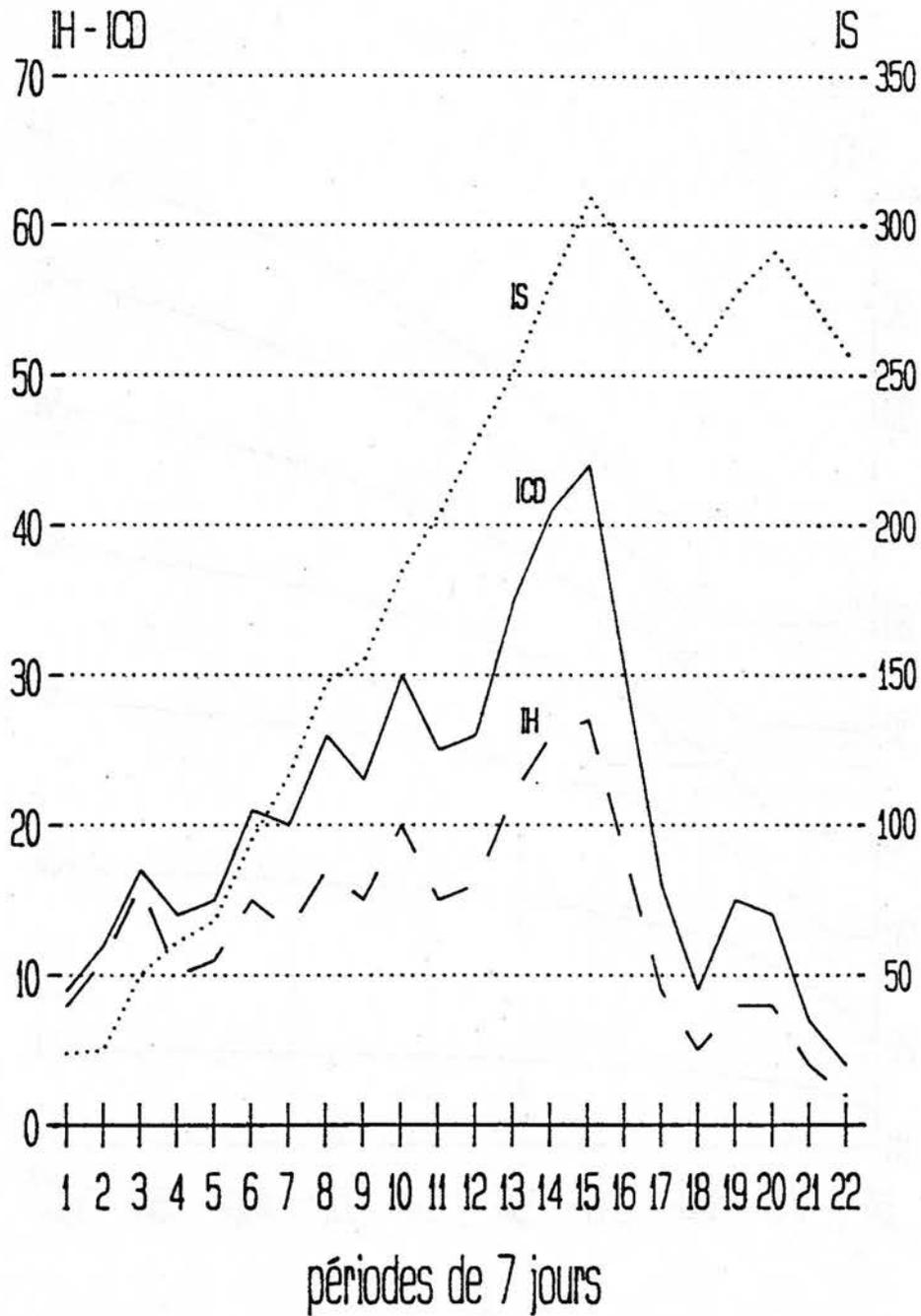


Figure 4.2

Variations comparatives de l'ICD, l'IS et l'IH. Au début, c'est-à-dire au printemps, les couches d'humus sont généralement saturées d'eau, les valeurs des 3 variables sont proches.

Le graphique de la figure (4.2) montre les variations moyennes de IH, IS et ICD observées pour des périodes de 7 jours du 15 mai au 15 octobre sur le territoire protégé par la Société de Conservation de la Gaspésie. On remarque dans ce graphique que ICD varie comme IH et que IS augmente presque en ligne droite une bonne partie de la saison. On voit qu'au début les valeurs de l'ICD sont proches de celles de IH, qu'elles s'en éloignent durant la saison et qu'elles s'en rapprochent à la fin par suite de précipitations suffisantes pour faire décroître l'IS.

L'ICD a été conçu ainsi afin d'être un bon indicateur de la situation concernant les incendies en tenant compte du dessèchement des couches inférieures (IS) qui a une influence relativement importante sur le comportement des incendies.

Effets de la pluie

L'effet de la pluie sur l'ICD ou la variation de la teneur en eau des combustibles LOURDS est déterminé par la variation de IH et de IS en fonction des précipitations.

Le graphique de la figure 4.3 montre le pourcentage de réduction des deux composantes de ICD en fonction des précipitations de 24 heures. Il faut 10 mm de pluie pour obtenir 50% de réduction de IH tandis qu'il en faut 50 mm environ pour obtenir à peu près le même résultat pour IS. De plus, on note dans ce graphique qu'après 10 mm de pluie les pentes des courbes de IH 20 à 80 s'adoucissent considérablement réduisant ainsi l'importance des quantités de pluie excédant cette valeur.

Le graphique de la figure 4.4 reprend les valeurs de la figure précédente, mais pour des quantités effectives de pluie comprises entre 1 mm et 12 mm seulement. Ce graphique peut être utile pour illustrer l'efficacité des précipitations sur IH et ainsi déterminer les seuils de pluie utiles pour la prévision. Par ce graphique, on peut noter les résultats suivants:

<u>Pluie</u>	<u>% de réduction de IH</u>
2 mm	10%
2,7 mm	20%
4 mm	30%
6 mm	40%
10 mm	50%

et IS subit en général une réduction négligeable qui sera presque annulée par les facteurs de séchage.

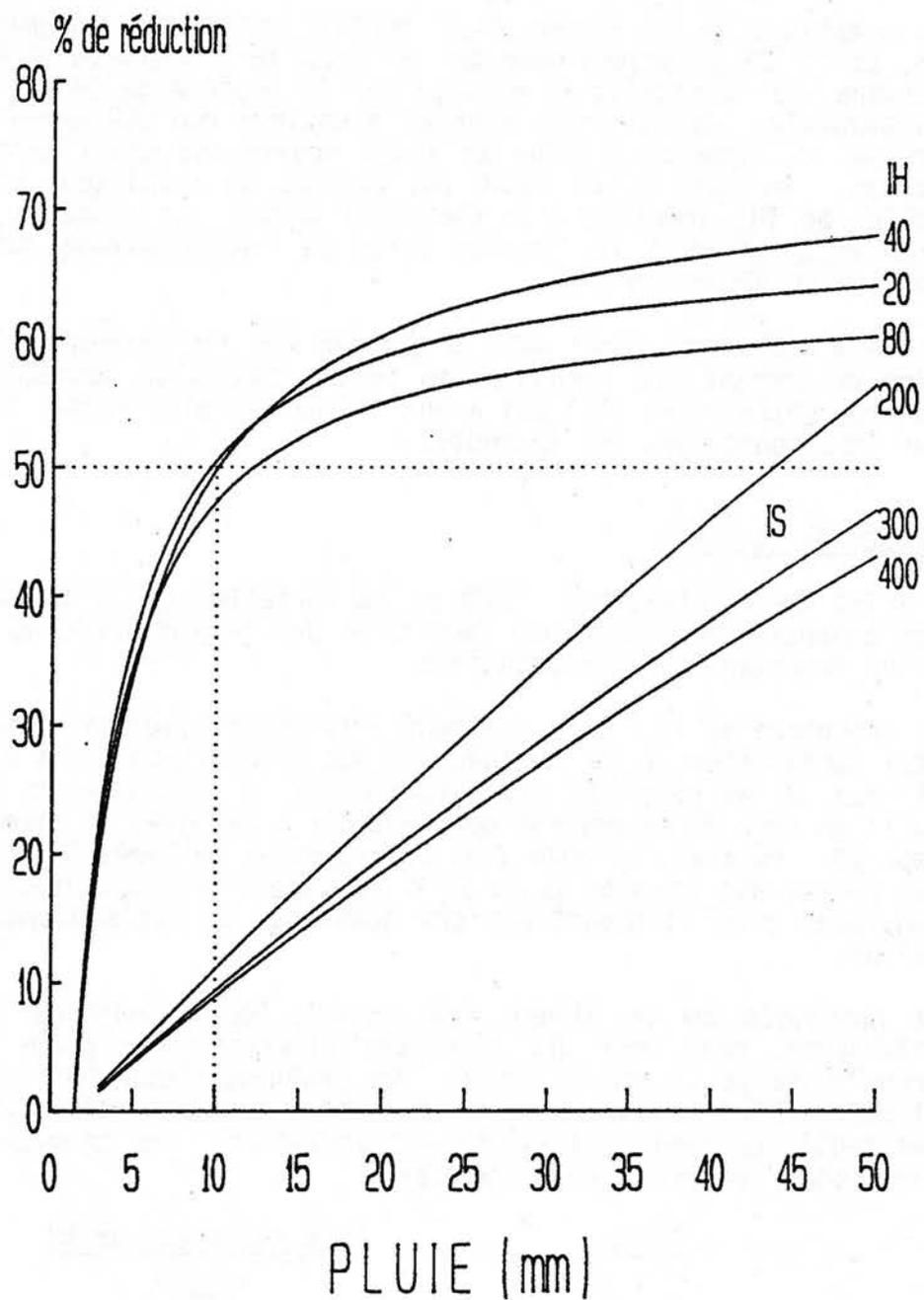


Figure 4.3

Variations de IH et de IS en fonction de la pluie. Les courbes obtenues ont été trouvées en utilisant les équations 11 à 15 et 18 à 21 de l'annexe I.

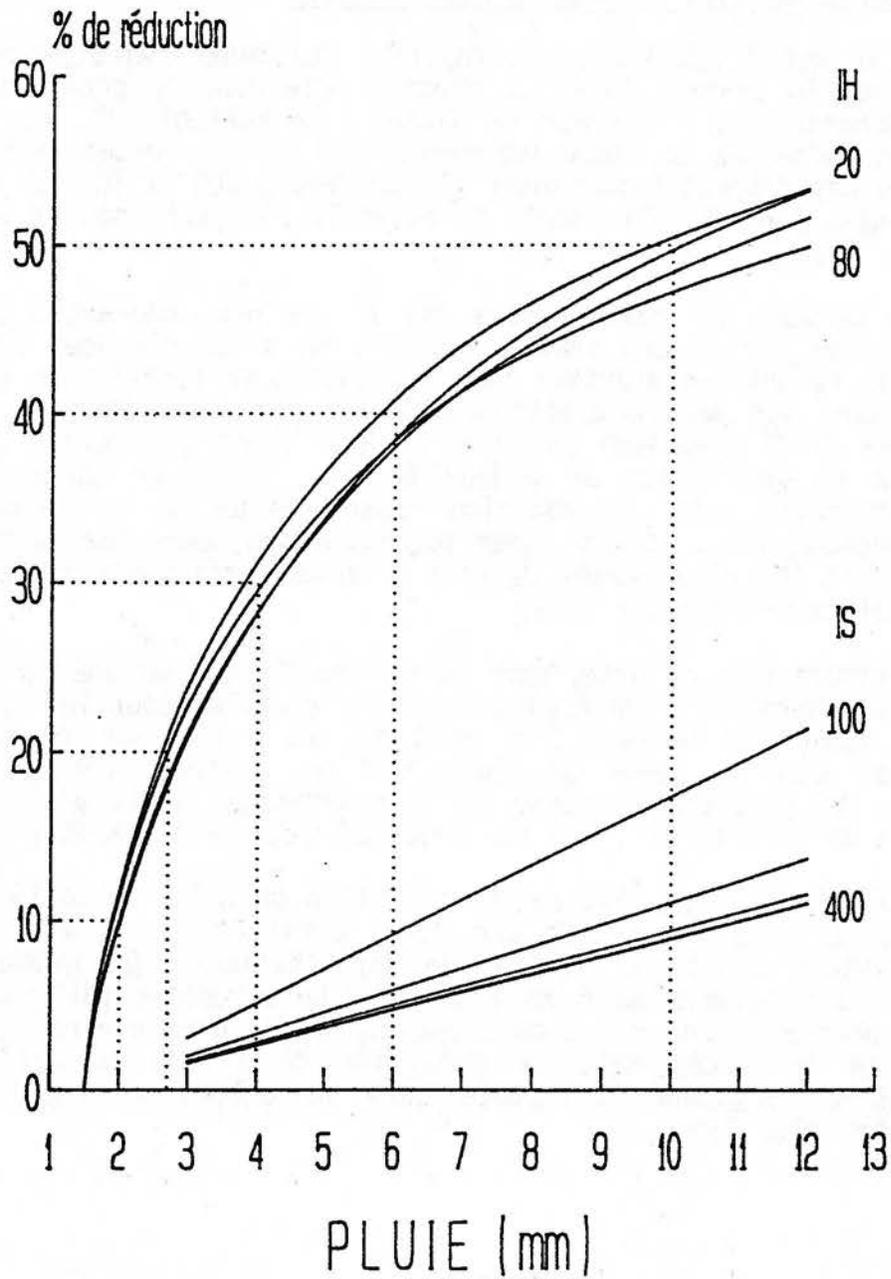


Figure 4.4

Pourcentages de réduction de IH (20, 40, 60 et 80) en fonction de la gamme de pluie de 2 mm à 10 mm. On peut apprécier la faible influence de cette gamme de pluie sur la réduction de IS (100, 200, 300 et 400).

Réduction de l'ICD en fonction de la pluie

On a vu que l'ICD était une fonction des deux variables IH et IS, mais que IH devrait jouer un premier rôle dans la détermination de la réduction de l'ICD par la pluie. La variable IS, par contre, n'étant affectée de façon importante que par de fortes quantités de pluie, contribuait à augmenter l'écart entre ICD et IH. De plus, on a vu que, pour un ICD donné, il existait plusieurs paires de IH, IS (fig. 4.1).

En se servant des combinaisons IH, IS les plus courantes observées durant les saison des feux du Québec, on a calculé pour différents ICD les réductions d'unités correspondantes en fonction de la pluie. La figure 4.5 montre graphiquement les résultats obtenus pour les valeurs d'ICD comprises entre 20 et 60. Etant simplement la combinaison de deux cotes de teneur en eau, l'ICD en garde la forme fondamentale, soit une fonction logarithmique de la teneur en eau des combustibles. Cette forme logarithmique donne par exemple pour la courbe ICD 40 un effet de plus en plus négligeable aux quantités de pluie supérieures à 14 mm.

À la figure 4.6, on note, pour la courbe ICD 40, qu'une variation de 0,5 mm détermine l'ICD à plus ou moins 2 unités pour les précipitations comprises entre 1,5 mm et 3 mm, et à plus ou moins 1 unité environ pour la gamme de pluie ≥ 4 mm. Ainsi, contrairement à l'ICL, la précision requise de l'observation de la pluie pour la mesure en général de l'ICD est beaucoup plus facile à obtenir.

À la figure 4.7, on voit qu'une réduction de l'ICD 40 de 15 unités à ± 5 unités près est causée par des précipitations de 4 mm à 14 mm élargissant ainsi les limites de vérification d'une gamme prévue, disons par exemple de 6 mm à 12 mm. Le paramètre pluie d'environ 7 mm pourrait dans ces conditions permettre d'atteindre une précision de 5 unités dans la prévision de l'ICD, ce qui est une précision largement suffisante dans le calcul de l'IFM tel que démontré plus loin.

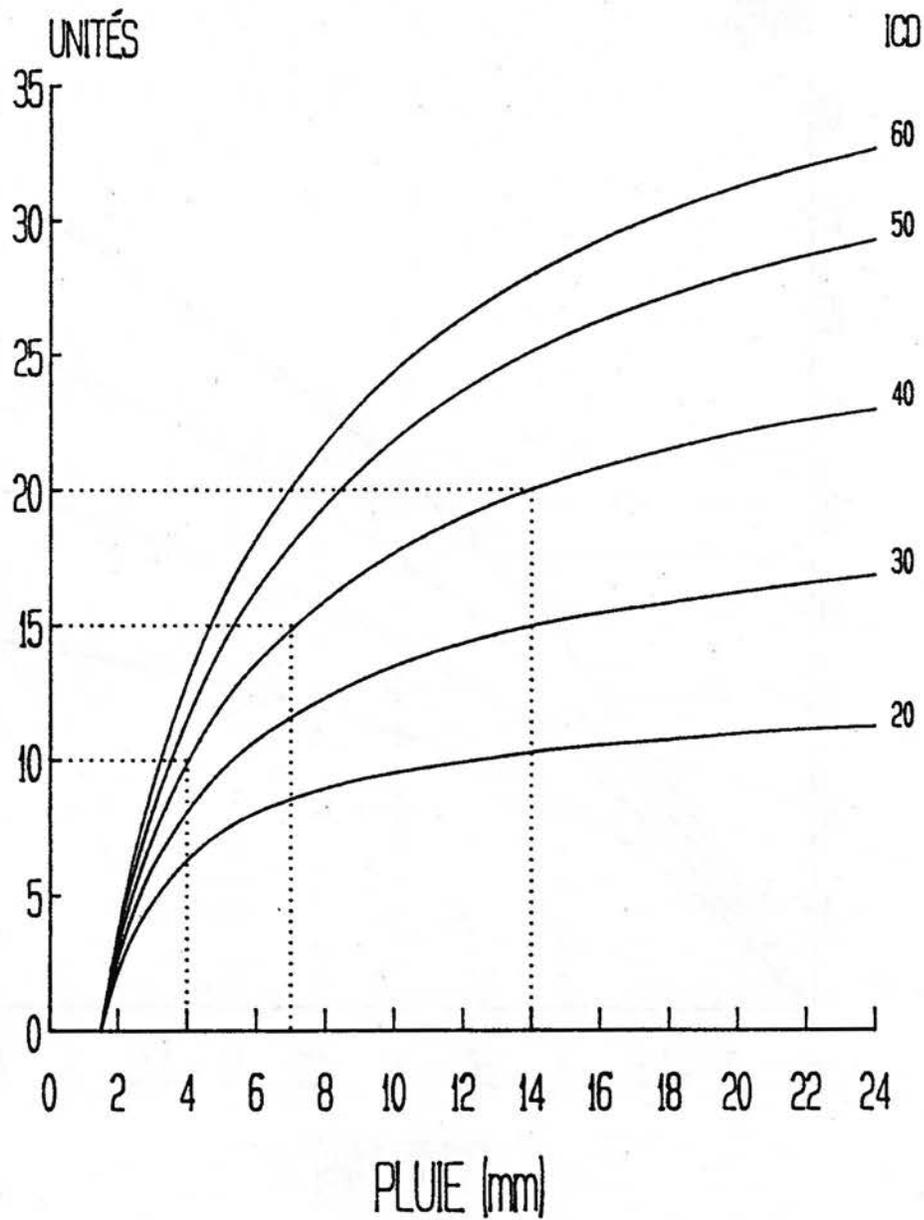


Figure 4.5

Réduction de l'ICD en fonction de la pluie. Les pentes des courbes logarithmiques d'ICD s'adoucissent à mesure que les précipitations augmentent. Des précipitations de 4 mm à 7 mm réduisent l'ICD 40 de 10 à 15 unités, tandis qu'il faut des précipitations de 7 mm à 14 mm pour le réduire de 5 autres unités.

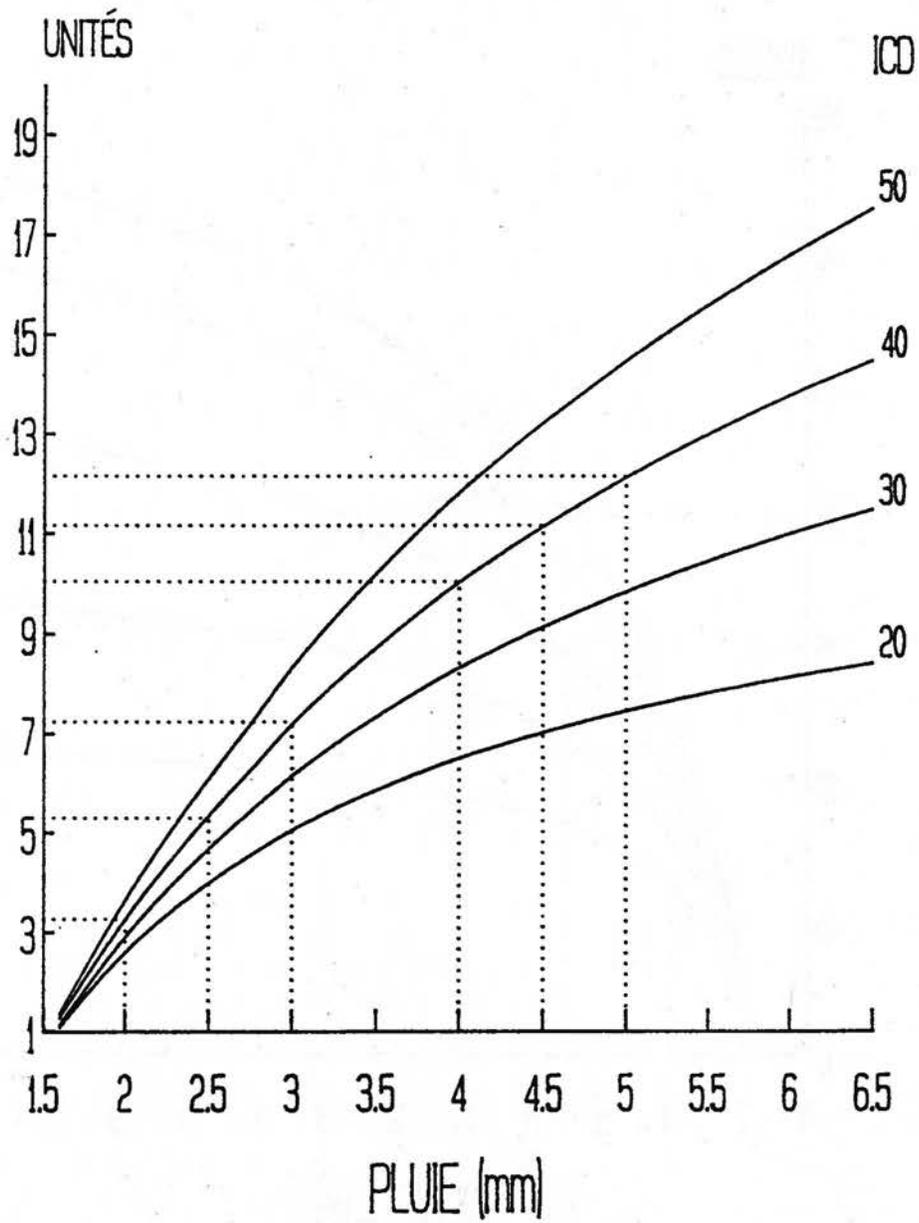


Figure 4.6

Effets d'une précision de $\pm 0,5$ mm de pluie sur l'ICD pour les valeurs de pluie comprises entre 1,5 mm et 6,5 mm. Les pointillés comparent les réductions obtenues pour les précipitations de 2 mm à 3 mm avec celles de 4 mm à 5 mm.

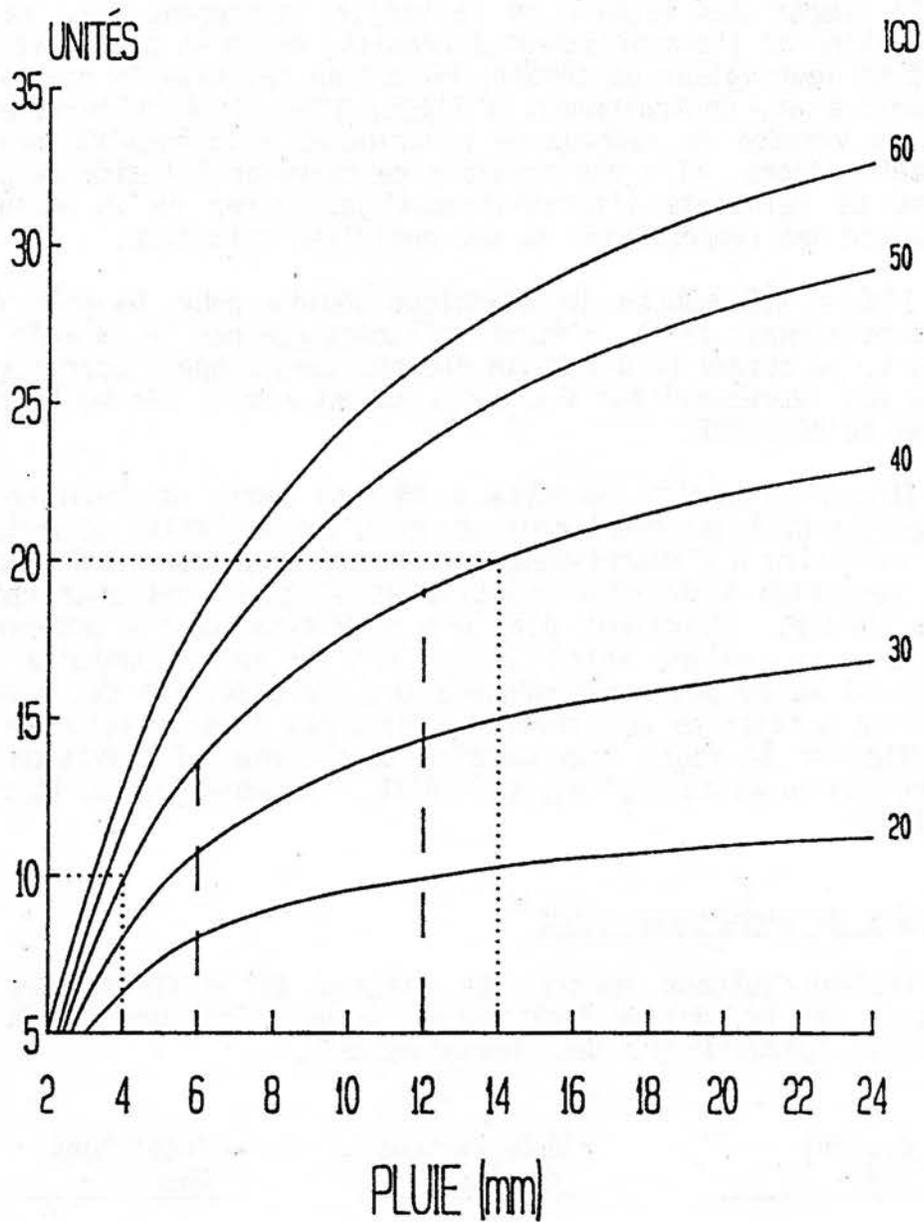


Figure 4.7

Réduction de l'ICD en fonction d'une gamme de pluie de 6 mm à 12 mm par rapport à une autre de 4 mm à 14 mm.

Effets des températures et des humidités relatives

Les équations (16,17 et 22,23 de l'annexe I) pour la phase de séchage des deux paramètres IH et IS ont comme avantage de ne pas tenir compte des valeurs de la veille; autrement dit, le séchage journalier ou l'accroissement journalier de IH et de IS est indépendant de leur valeur de départ, ce qui en facilite la représentation graphique et, contrairement à l'ICL, l'humidité relative n'affecte que la vitesse de séchage en contribuant à la réduire ou à l'augmenter. Alors, il a été possible de calculer à l'aide de ces équations de référence l'accroissement journalier de IH et de IS en fonction des températures et des humidités relatives.

La figure 4.8 montre le graphique obtenu pour le mois de juin. L'accroissement de IS, n'étant influencé que par le paramètre température, se résume en une seule droite, tandis que l'accroissement de IH a été représenté par 6 droites tenant compte des humidités relatives de 20 à 70%.

En fixant l'humidité relative à 45 pour cent, on constate dans ce graphique qu'à une température de 20°C une variation de $\pm 5^\circ\text{C}$ apporte une variation à l'accroissement de IH de ± 1 unité, tandis qu'il faut une variation d'humidité relative de 15 pour cent pour obtenir la même valeur. Autrement dit, une prévision ou une observation de température variant entre 15 et 25°C et une d'humidité relative entre 30 et 60 pour cent donneraient une précision de la mesure de IH à ± 2 unités; ce qui revient à dire que l'observation de IH peut s'effectuer de façon très précise tout comme sa prévision à court terme (24 ou 48 heures) et, par suite, l'observation et la prévision de l'ICD.

Classes de sécheresse - ICD

Le tableau suivant montre les classes de l'ICD et les valeurs prévues par le service Forêt-météo, visant ainsi une précision de ± 5 unités lorsqu'il y a des précipitations.

<u>Classes ICD</u>	<u>Observations Stations</u>	<u>Prévisions Zones</u>
BAS	0 à 22	5, 10, 15, 20
MODÉRÉ	23 à 37	25, 30, 35
HAUT	38 à 57	40, 45, 50, 55
EXTRÊME	58 et plus	60 et plus

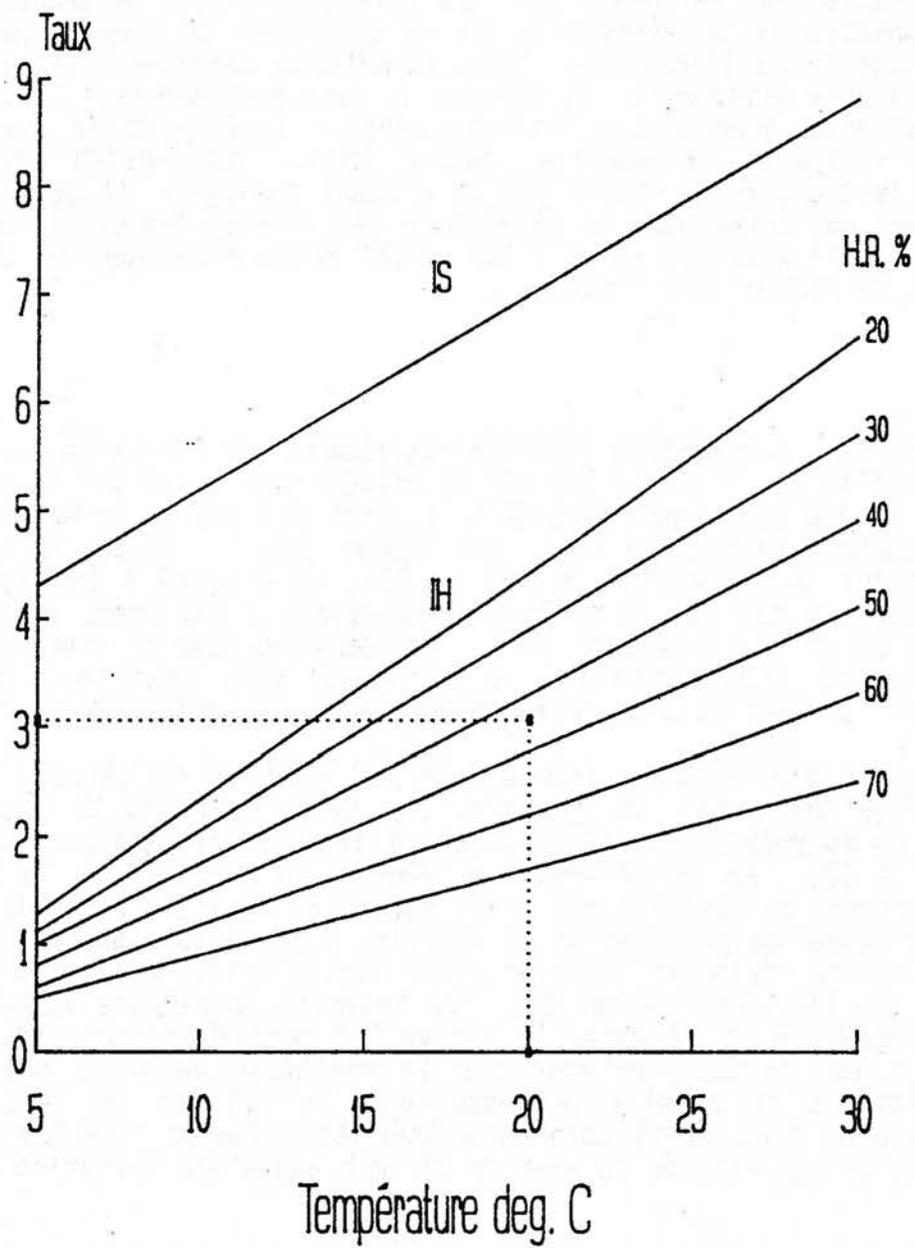


Figure 4.8

Accroissement journalier (mois de juin) de IS et IH en fonction de la température et de l'humidité relative (H.R.), d'après les équations de références 16 et 22 à l'annexe I.

5. VENT: IPI, IFM

Le vent (vitesse et direction) est un des paramètres météo les plus importants dans le combat des feux de forêt; il est en grande partie responsable de la vitesse et de la direction de propagation et de l'intensité de l'incendie. Dans la méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie, la vitesse du vent combinée avec l'ICL donne l'indice de propagation initiale (IPI). L'IPI combiné avec l'ICD donne l'indice d'intensité appelé indice FORÊT-METEO (IFM) tel qu'illustré par la figure 2.1 du présent ouvrage. Il serait intéressant par conséquent de déterminer les limites des précisions dans les mesures de l'IPI et de l'IFM et par suite d'évaluer les possibilités de prévoir ces indices.

IPI

L'indice de propagation initiale représente les effets de la vitesse du vent et de la teneur en eau du combustible léger sur la propagation du feu sans tenir compte de l'effet des quantités variables de combustible disponible (C.E. Van Wagner 1987). En se servant des équations de référence (24, 25 et 26), on a tracé à la figure 5.1 les courbes des ICL 55 à 95 en considérant l'IPI comme fonction de l'ICL et de la vitesse du vent. On remarque dans ce graphique qu'à mesure que l'ICL augmente, la variation dans la vitesse du vent devient de plus en plus importante dans la détermination de l'IPI.

Supposons que l'ICL du jour est 88 (87 à 89) et la vitesse du vent observée est autour de 20 km/h, une variation dans la vitesse du vent de ± 5 km/h causerait dans ces conditions une variation de l'IPI de 6 à 13. En se référant au "Manuel de terrain" de la Méthode canadienne, on constate que cette variation de l'IPI pourrait donner une vitesse de propagation de 4 m/min. à 16 m/min. pour le type de combustible "Épinette boréale" (voir figure 5.2). Supposons maintenant que l'on observe (ou que l'on prévoit) la vitesse du vent avec une précision de ± 2 km/h, la figure 5.3 montre les calculs obtenus pour l'ICL de 90. On note que la variation de l'IPI obtenu est appréciable et qu'elle augmente avec la vitesse du vent. Une vitesse de vent de 15 km/h donne une variation de l'IPI de 7 à 12, tandis qu'une vitesse de vent de 25 km/h cause une variation de 12 à 19.

Ces écarts mal interprétés sont importants et pourraient causer des erreurs coûteuses dans la prise de décision de combat d'incendie. La figure 5.4 montre que pour un ICL 90 une prévision ou une observation d'une vitesse de vent de 20 km/h donnerait, dans ces conditions d'interprétation des données, une variation de la vitesse de propagation de 9 m/min. à 19 m/min. D'où l'importance de considérer l'IPI comme un ordre de grandeur seulement de la vitesse de propagation de l'incendie.

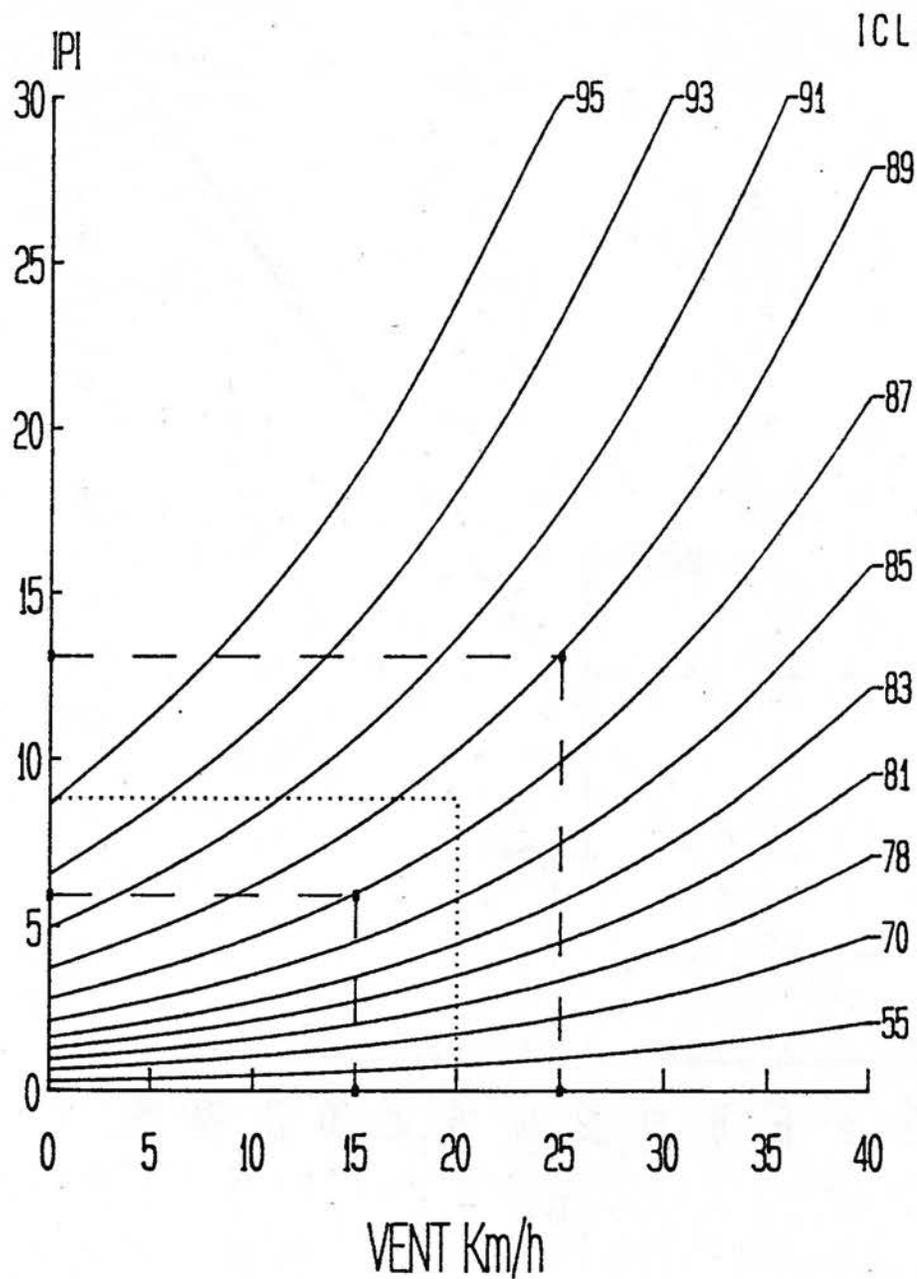


Figure 5.1

L'indice de propagation initiale IPI est une fonction des variables ICL et VENT (vitesse). L'ICL du jour de 87 à 89 et une vitesse de vent de 20 km/h à ± 5 km/h donnent une fluctuation d'IPI de 6 à 13, telle qu'indiquée par les pointillés.

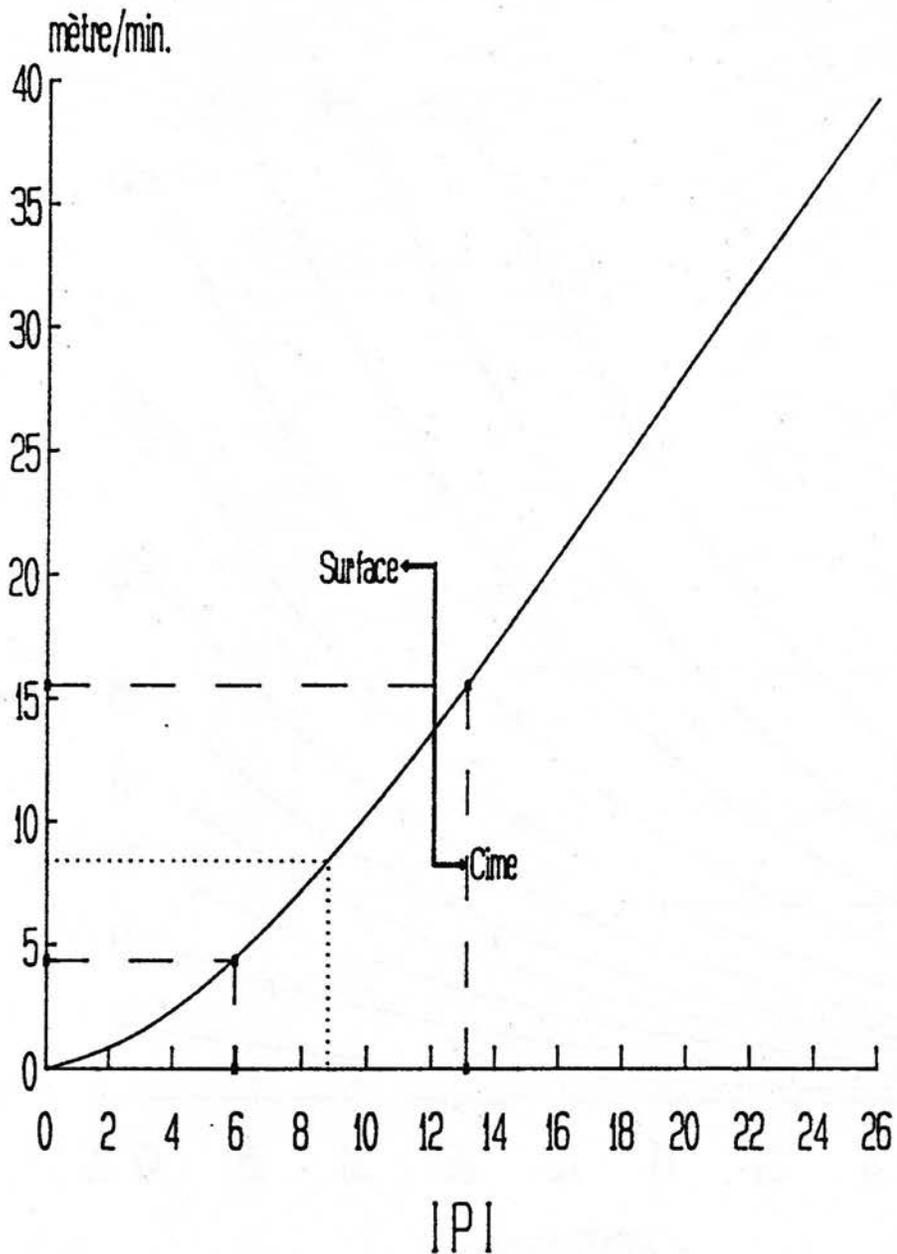


Figure 5.2

Vitesse de propagation des incendies dans le type de forêt "Épinette boréale" d'après le "Manuel de terrain" de la Méthode canadienne. Une fluctuation de l'IPI de 6 à 13 donne dans ce type de combustible une vitesse de propagation de l'incendie de 4 mètres/minute à 16 mètres/minute dépassant ainsi le seuil de feu de surface à feu de cime.

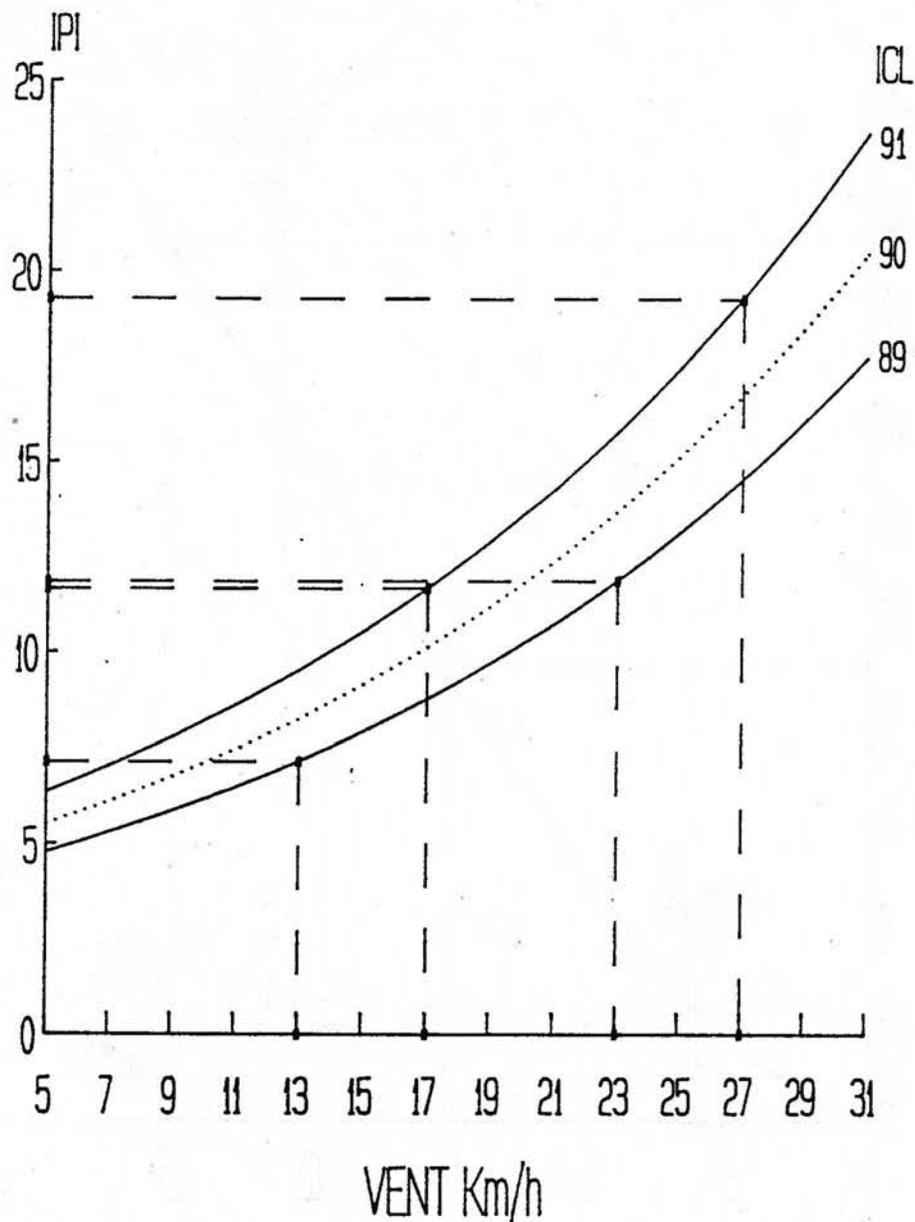


Figure 5.3

Exactitude de la mesure de l'IPI en fonction de la précision des mesures de la vitesse du vent à ± 2 km/h et de l'ICL du jour (90) à ± 1 unité. Une vitesse de vent de 15 km/h dans ces conditions donne une variation de l'IPI de 7 à 12, 25 km/h une variation de l'IPI de 12 à 19.

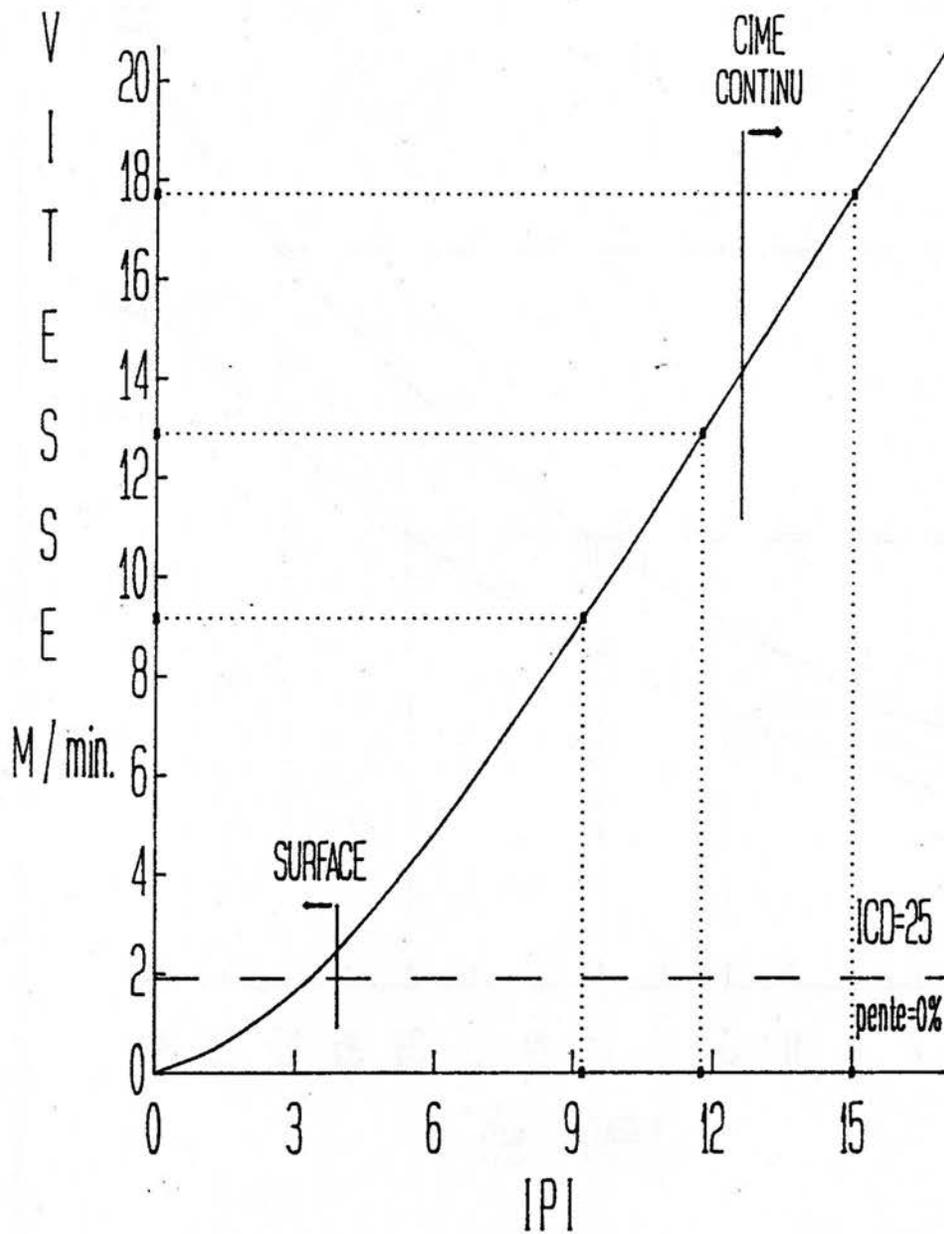


Figure 5.4

L'ICL du jour 90 à ± 1 unité avec une vitesse de vent de 20 km/h à ± 2 km/h évaluent une vitesse de propagation de l'incendie dans le type "Épinette boréale" comprise entre 9 mètres/minute à 18 mètres/minute. D'après le Canadian Forest Fire Behavior Prediction System 1989.

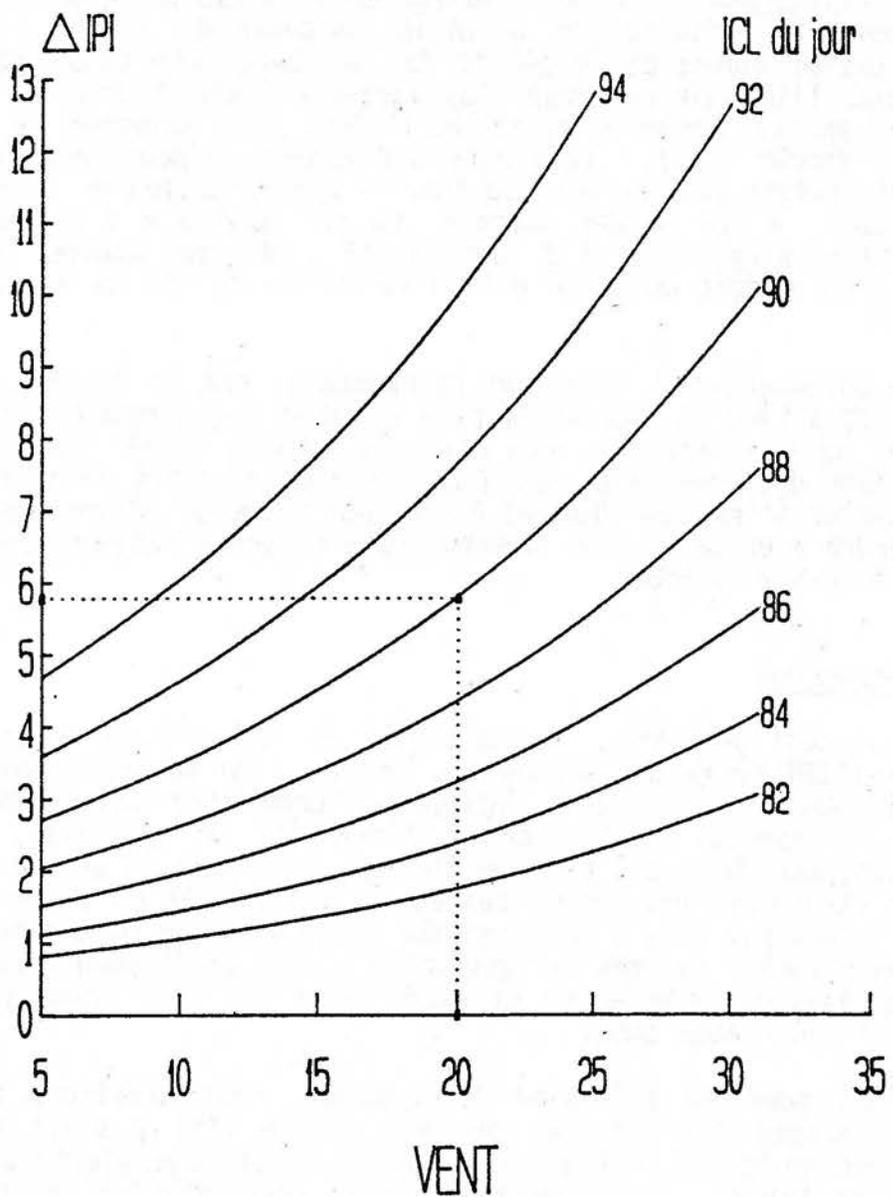


Figure 5.5

Précision du calcul de l'IPI en fonction des vitesses du vent estimées à ± 2 KM/h et des humidités relatives à $\pm 5\%$. ΔIPI est le nombre d'unités d'écart entre les valeurs minimum et maximum de l'IPI calculé dans ces conditions. On remarque dans cette figure l'importance des écarts obtenus selon l'accroissement des valeurs ICL et vitesse du vent.

IFM

L'indice Forêt-météo résulte de la combinaison de l'IPI et de l'ICD et représente l'intensité du feu en progression d'après la quantité d'énergie produite par unité de longueur du front. Il remplace l'ancien indice de danger de feu de la méthode canadienne. Cependant, l'IFM est beaucoup plus variable d'une journée à l'autre que cet ancien indice à cause de l'effet plus prononcé du vent (C.E. Van Wagner 1987). La figure 5.6 montre l'importance des facteurs IPI (effets du vent) et ICD dans la détermination de l'indice Forêt-météo. À ICD 40 par exemple, un IPI de 7 à ± 2 unités donne une variation de IFM de ± 3 unités (12 à 18); par contre, un ICD de 40 à ± 10 unités ne cause qu'une variation de IFM de ± 2 unités (13 à 17).

Le paramètre IPI, comme on le constate, est le facteur premier des fluctuations de jour en jour de l'IFM et aussi responsable des limites de sa précision. En d'autres termes, l'IFM calculé en tenant compte des précisions des facteurs fluctue entre deux classes d'intensité d'incendie (MODÉRÉ à HAUT par exemple) plutôt que de correspondre à un point bien précis d'une classe d'intensité donnée (voir figure 5.7 et 5.8).

Conclusion

Tout ceci démontre l'impossibilité de calculer ou de prévoir l'IPI ou l'IFM comme des paramètres précis. On constate plutôt que ces paramètres doivent être interprétés comme des indications probables de vitesses de propagation et d'intensité des incendies. Les variations possibles des vitesses de vent observées ou prévues permettent de déterminer des gammes représentatives d'IPI et d'IFM. En effet, il n'est pas rare d'observer aux stations d'une même zone forestière des vitesses de vent variant entre 5 km/h et 15 km/h, évaluant ainsi les limites inférieures et supérieures des indices du jour (IPI et IFM) pour cette zone.

Ainsi pour la prévision Forêt-météo, nous préférons prévoir les variations des vitesses de vent (comme s'il y avait des feux de forêt en cours) valides pour toute la période plutôt que pour une heure donnée. Cette approche permet d'évaluer les variations d'IPI et d'IFM et de déterminer leurs limites supérieures. Enfin, puisqu'il n'est pas réaliste de donner ou de prévoir une indication complète du danger d'incendie pour une journée donnée au moyen d'un seul chiffre (IFM, par exemple), le service Forêt-météo fournit donc aux quartiers généraux de lutte (Q.G.L.) les paramètres météo de base tels que: ICL, ICD (IH, IS) et le le VENT, ainsi que tous les facteurs qui ont servi à les évaluer.

Cette information permet par la suite aux responsables de la lutte de développer les indices de leur choix, de calculer et d'interpréter les dangers d'incendie et de faire les prédictions d'éclosion et de comportement des feux pour les différents types de forêt ou de combustibles forestiers de leur territoire.

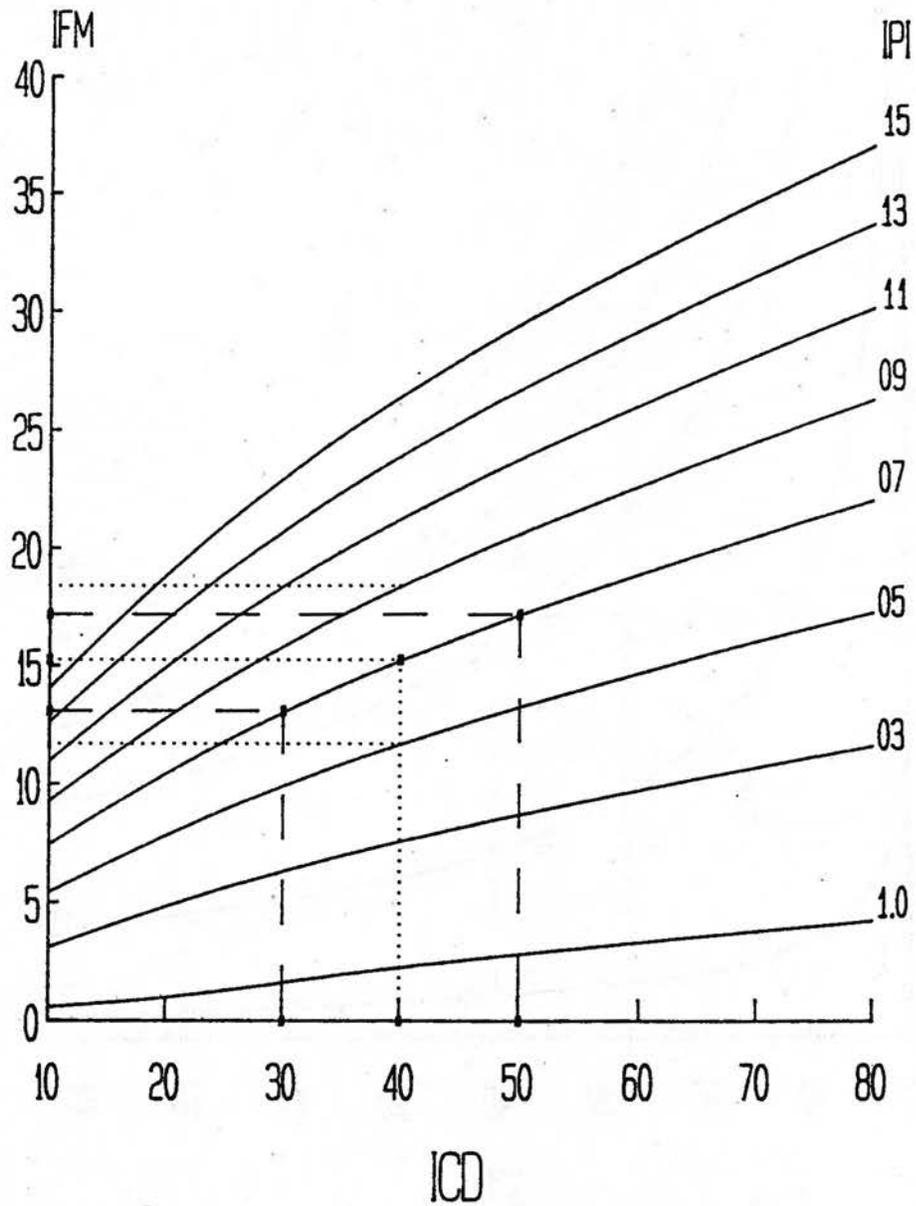


Figure 5.6

L'IFM est une fonction des variables ICD et IPI et est calculé par les équations 28 à 30 à l'annexe I. On compare les fluctuations de l'IFM calculées avec l'IPI 7 à ± 2 unités et l'ICD à ± 10 unités.

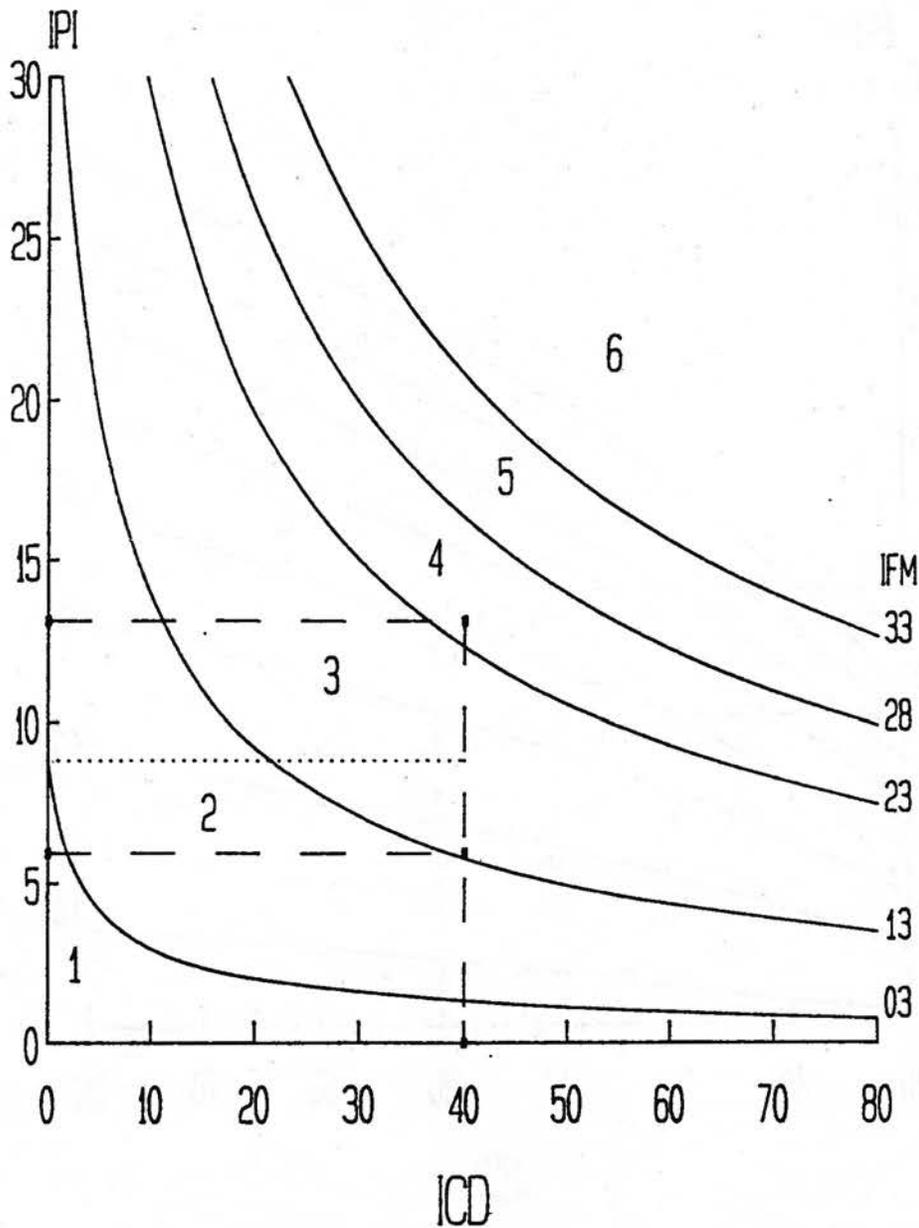


Figure 5.7

Exemple d'un graphique d'interprétation des caractéristiques de comportement d'un incendie dans le type de forêt "Pin gris" selon 5 valeurs d'IFM. Les classes d'intensité de 1 à 6 proviennent du "Manuel de terrain" du Service canadien des forêts (1987).

Classe d'intensité	Intensité frontale du feu	Tête feu		Description de l'action de suppression	:FM
		Longueur Flamme	Hauteur Flamme		
1	10	0.2	0.1	Petit feu de surface. Il est fort probable qu'il s'éteigne par lui-même, par contre si le IS et/ou ICD prévalent, un mop-up extensif sera exigé.	0-3
2	10-500	0.2-1.4	0.1-1.0	Feu de surface de peu d'intensité. Une attaque directe à la tête du feu ou aux flancs par des équipes terrestres avec outils manuels. Un coupe-feu fait à la main devrait contenir le feu.	4-13
3	500-2000	1.4-2.6	1.0-1.9	Feu de surface modérément vigoureux. Coupe-feu fait à la main peut être insuffisant. Equipements lourds, tels que tracteurs, pompe et aéronefs. Feu avec équipement lourd est ordinairement bien contrôlé.	14-23
4	2000-4000	2.6-3.5	1.9-2.5	Feu de surface très vigoureux pouvant occasionner de sérieux problèmes de maîtrise. Ex.: feux de cimes, feux en chandelle et feux disséminés. Efforts de maîtrise à la tête du feu probablement inefficace.	24-28
5	4000-8000	3.5-4.8	2.5-3.4	Feu de surface très vigoureux ou feux de cimes très actifs. Incendie très difficile à contrôler. La suppression doit s'attaquer principalement aux flancs. Comme attaque indirecte, l'hélicoptère pourrait être avantageuse.	29-33
6	8000	4.8	3.4	Type de feu se dégénéralant en conflagration. Comportement très violent et très dangereux pour le personnel terrestre. Aucun effort de suppression ne devrait être déployé aussi longtemps que les indices ne nous le permettrons pas.	34

Figure 5.8

Exemple d'interprétation des classes d'intensité d'incendie dans le type de combustible "Pin gris" tiré du "Manuel de terrain" du Service canadien des forêts (1987).

OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

Alexander, M.E.; McAlpine R.S. 1987. Manuel de terrain. Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt. Etude NOR-5-05 (NOR-5-191). Rapport No 17.

Beall, H.W. 1948. Forest fire danger tables (provisional), 2e édition révisée. Ottawa, ministère des Mines et des Ressources, Service des forêts du Dominion. Fire Res. Note 12. 73 pages.

Conseil des sciences du Canada 1983. La forêt canadienne est en danger. Déclaration du Conseil des sciences, 100 rue Metcalfe, Ottawa Canada K1P 5M1.

Forestry Canada Fire Danger Group, 1989. Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System. Technology and information transfer workshop. Winnipeg, Manitoba.

Paul, P.M., 1964. Forecasting Forest Fire Danger in the Maritime Provinces. Canada, Department of Forestry, Forest Research Branch. Publication No. 1047.

Paul, P.M., 1966. Steps in Forecasting Forest Fire Danger in the Maritime Provinces. Paper presented for the Canadian Institute of Forestry session on forest fire control at Banff, Alberta.

Paul, P.M., 1969. Field Practices in Forest Fire Danger Rating Canada, Forestry Service. Forest Fire Research Institute. Ottawa. Information report FF-X-20.

Poirier, R., 1990. Modèle analogique servant à la prévision des feux de cause humaine. (version provisoire). Environnement Canada, S.E.A., Centre météorologique du Québec, Forêt-météo.

Pouliot, L., 1968. Prévisions des dangers d'incendie au Québec, saison 1967. Ministère des Forêts et Développement rural. Institut de recherches sur les feux de forêt. Ottawa. Rapport d'information FF-X-13.

Pouliot, L. 1974. Prévision de météorologie forestière au Québec, Environnement Canada, Service des forêts. Institut de recherches sur les feux de forêt. Rapport d'information FF-X-49.

Pouliot, L. 1989. Méthode de prévision de précipitations pour le calcul des indices canadiens Forêt-météo. Article présenté lors du 10e Congrès sur les incendies et la météorologie forestière, avril 1989, Ottawa.

Rowe, J.S. 1972. Les régions forestières du Canada, Ministère de l'Environnement. Service canadien des forêts. Publication N° 1300F.

Service de la protection contre le feu. 1982. Attaques par avions-citernes des incendies de forêt au Québec. Ministère Energie et Ressources. Précis sur l'attaque par avions-citernes des incendies forestiers au Québec.

Thibault, M. 1987. Carte "Régions écologiques du Québec méridional." Photocartothèque québécoise. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche.

Turner, J.A. et B.D. Lawson, 1978. La météorologie dans la méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie forestiers. Environnement Canada. Service des forêts. Centre de recherches forestières du Pacifique. Numéro de catalogue: F042-58/1978F.

Van Wagner, C.E. 1970. Conversion of Williams' Severity rating for use with the fire weather index. Service Canadien des forêts. Ministère des Pêches et Forêts. Station expérimentale forestière de Petawawa. Rapport d'information PS-X-21.

Van Wagner, C.E. 1987. Élaboration et structure de la méthode canadienne de l'indice Forêt-météo. Environnement Canada. Service des forêts. Institut forestier national de Petawawa. Numéro de catalogue 64-35/1987 F. ISBN 0-662-99113-6.

Van Wagner, C.E. et T.L. Pickett, 1985. Équation et programme FORTRAN de l'indice Forêt-météo de la méthode canadienne. Environnement Canada. Service des forêts. Institut forestier national de Petawawa. Numéro de catalogue F64-33/1985F. ISBN 0-662-93118-1.

Wright, J.G. 1932. Forest-fire hazard research as developed and conducted at Petawawa Forest Experiment Station. Réimprimé en 1967 comme Information Report FF-X-5. Ottawa, ministère des Forêts et du Développement rural, Institut de recherche sur les feux de forêt. 63 pages.

ANNEXE I

Équations et méthodes de calcul et
symboles utilisés.

(Extrait de l'ouvrage de référence de
Van Wagner C.E. et T.L. Pickett, 1985.)

Symboles utilisés dans les équations

Toutes les grandeurs utilisées dans les équations numérotées sont représentées dans la liste qui suit par des lettres uniques, quelquefois accompagnées d'un indice. Les symboles sont regroupés suivant leur place dans l'ensemble. Toutes les teneurs en eau sont des pourcentages calculés en fonction de la masse sèche. Midi est l'heure normale.

Météo

T	- température à midi, °C
H	- humidité relative à midi, %
W	- vitesse du vent à midi, km/h
r_o	- précipitation mesurée tous les jours à midi dans un endroit dégagé, mm d'eau
r_r	- précipitation réelle, ICL
r_e	- précipitation réelle, IH
r_d	- précipitation réelle, IS

Indice du combustible léger (ICL)

m_o	- teneur en eau du combustible léger le jour précédent
m_r	- teneur en eau du combustible léger après la pluie
m	- teneur en eau du combustible léger après dessèchement
E_d	- TEE du combustible léger pour le dessèchement
E_w	- TEE du combustible léger pour le mouillage
k_o	- valeur intermédiaire dans le calcul de k_d
k_d	- vitesse de dessèchement logarithmique, ICL, $\log_{10}m/\text{jour}$
k_l	- valeur intermédiaire dans le calcul de k_w
k_w	- vitesse de mouillage logarithmique, $\log_{10}m$ par jour
F_o	- ICL de la veille
F	- ICL

Indice de l'humus (IH)

M_o	- teneur en eau de l'humus le jour précédent
M_r	- teneur en eau de l'humus après la pluie
M	- teneur en eau de l'humus après le dessèchement
K	- vitesse de dessèchement logarithmique, IH, $\log_{10}m/\text{jour}$
L_e	- longueur réelle de la journée dans IH, heures
b	- facteur pente dans l'effet de la pluie sur IH
P_o	- IH de la veille
P_r	- IH après la pluie
P	- IH

Équations et méthodes de calcul

Indice du combustible léger (ICL)

$$m_o = 147.2 (101 - F_o) / (59.5 - F_o) \quad (1)$$

$$r_f = r_o - 0.5. \quad r_o > 0.5 \quad (2)$$

$$m_r = m_o + 42.5 r_f e^{-100(251 - m_o)} (1 - e^{-6.93 r_f}) \quad m_o \leq 150 \quad (3a)$$

$$m_r = m_o + 42.5 r_f e^{-100(251 - m_o)} (1 - e^{-6.93 r_f}) - 0.0015 (m_o - 150)^2 r_f^{0.5} \quad m_o > 150 \quad (3b)$$

$$E_d = 0.942 H^{0.679} + 11e^{(H-100)/10} - 0.18 (21.1 - T) (1 - e^{-0.115H}) \quad (4)$$

$$E_w = 0.618 H^{0.753} + 10e^{(H-100)/10} - 0.18 (21.1 - T) (1 - e^{-0.115H}) \quad (5)$$

$$k_o = 0.424 (1 - (H/100)^{1.7}) - 0.0694 W^{0.5} (1 - (H/100)^8) \quad (6a)$$

$$k_d = k_o \times 0.581 e^{0.0365T} \quad (6b)$$

$$k_f = 0.424 \left[1 - \frac{(100 - H)^{1.7}}{100} \right] + 0.0694 W^{0.5} \left[1 - \frac{(100 - H)^8}{100} \right] \quad (7a)$$

$$k_w = k_f \times 0.581 e^{0.0365T} \quad (7b)$$

$$m = E_d + (m_o - E_d) \times 10^{-k_d} \quad (8)$$

$$m = E_w - (E_w - m_o) \times 10^{-k_w} \quad (9)$$

$$F = 59.5 (250 - m) / (147.2 - m) \quad (10)$$

L'ICL se calcule de la façon suivante:

1. F de la veille devient F_o .
2. Calculer m_o en fonction de F_o à l'aide de l'équation 1.
- 3a. Si $r_o > 0.5$, calculer r_f à l'aide de l'équation 2.
- b. Calculer m_r en fonction de r_f et m_o à l'aide de l'équation 3a ou 3b.
 - (i) si $m_o \leq 150$, utiliser l'équation 3a.
 - (ii) si $m_o > 150$, utiliser l'équation 3b.
- c. m_r devient alors le nouveau m_o .
4. Calculer E_d à l'aide de l'équation 4.
- 5a. Si $m_o > E_d$, calculer k_d à l'aide des équations 6a et 6b.
- b. Calculer m à l'aide de l'équation 8.
6. Si $m_o < E_d$, calculer E_w à l'aide de l'équation 5.
- 7a. Si $m_o < E_w$, calculer k_w à l'aide des équations 7a et 7b.
- b. Calculer m à l'aide de l'équation 9.
8. Si $E_d \geq m_o \geq E_w$, prendre $m = m_o$.
9. Calculer F en fonction de m à l'aide de l'équation 10. On obtient l'ICL de la journée.

L'utilisation de ces équations comporte deux restrictions:

- L'équation 3 (a ou b) ne s'applique pas lorsque $r_o \leq 0.5$ mm; cela signifie que, par temps sec, le sous-programme précipitation doit être omis.
- m a une limite supérieure de 250; cela signifie que lorsque l'équation 3 (a ou b) donne $m_r > 250$, il faut prendre $m_r = 250$.

Indice de sécheresse (IS)

$r_d = 0,83r_o - 1,27,$	$r > 2,8$ (18)
$Q_o = 800e^{-D_o/400}$	(19)
$Q_r = Q_o + 3,937r_d$	(20)
$D_r = 400 \ln(800/Q_r)$	(21)
$V = 0,36 (T + 2,8) + L_r$	(22)
$D = D_o \text{ (ou } D_r) + 0,5V$	(23)

IS se calcule de la façon suivante:

1. D de la veille devient D_o .
- 2a. Si $r_o > 2,8$, calculer r_d à l'aide de l'équation 18.
 b. Calculer Q_o en fonction de D_o à l'aide de l'équation 19.
 c. Calculer Q_r à l'aide de l'équation 20.
 d. Calculer D_r en fonction de Q_r à l'aide de l'équation 21. D_r devient le nouveau D_o .
3. Prendre L_r dans le tableau 2 ci-dessous.
4. Calculer V à l'aide de l'équation 22.
5. Calculer D en fonction de D_o (ou D_r) à l'aide de l'équation 23. C'est l'IS de la journée.

L'utilisation des équations donnant IS comporte quatre restrictions:

- Les équations 18 à 21 ne s'appliquent pas à moins que $r_o > 2,8$; cela signifie qu'on doit omettre le sous-programme précipitation par temps sec.
- Théoriquement, D_r ne peut être inférieur à zéro. Si on obtient des valeurs négatives à l'étape 2d, il faut prendre zéro.
- On ne doit pas utiliser des valeurs de T inférieures à $-2,8$, dans l'équation 22. Si $T < -2,8$, prendre $T = -2,8$.
- V ne peut pas être négatif. Si l'équation 22 donne un résultat négatif, prendre $V = 0$.

Tableau 2. Coefficient de la longueur de la journée (L_r) pour le calcul de IS.

Mois:	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
L_r :	-1,6	-1,6	-1,6	0,9	3,8	5,8	6,4	5,0	2,4	0,4	-1,6	-1,6

Indice de propagation initiale (IPI)

$f(W) = e^{0,05039W}$	(24)
$f(F) = 91,9e^{-0,1386m} [1 + m^{5,31}/(4,93 \times 10^7)]$	(25)
$R = 0,208 f(W) f(F)$	(26)

Indice du combustible disponible (ICD)

$U = 0,8 PD/(P + 0,4D),$	$P \leq 0,4D$ (27a)
$U = P - [1 - 0,8D/(P + 0,4D)][0,92 + (0,0114P)^{1,7}],$	$P > 0,4D$ (27b)

Indice de l'humus (IH)

$r_e = 0,92r_o - 1,27,$	$r_o > 1,5$ (11)
$M_o = 20 + e^{(5,6348 - P_o 43,43)}$	(12)
$b = 100/(0,5 + 0,3 P_o),$	$P_o \leq 33$ (13a)
$b = 14 - 1,3 \ln P_o,$	$33 < P_o \leq 65$ (13b)
$b = 6,2 \ln P_o - 17,2,$	$P_o > 65$ (13c)
$M_r = M_o + 1000r_e(48,77 + br_e)$	(14)
$P_r = 244,72 - 43,43 \ln (M_r - 20)$	(15)
$K = 1,894 (T + 1,1) (100 - H) L_e \times 10^{-6}$	(16)
$P = P_o$ (ou P_r) $+ 100K$	(17)

L'IH se calcule de la façon suivante:

1. P de la veille devient P_o .
- 2a. Si $r_o > 1,5$, calculer r_e à l'aide de l'équation 11.
 - b. Calculer M_o en fonction de P_o à l'aide de l'équation 12.
 - c. Calculer b à l'aide de l'équation appropriée parmi 13a, 13b ou 13c.
 - d. Calculer M_r à l'aide de l'équation 14.
 - e. Calculer P_r en fonction de M_r à l'aide de l'équation 15. P_r devient le nouveau P_o .
3. Prendre L_e dans le tableau 1 ci-dessous.
4. Calculer K à l'aide de l'équation 16.
5. Calculer P en fonction de P_o (ou P_r) à l'aide de l'équation 17. C'est l'IH de la journée.

L'utilisation des équations donnant IH comporte trois restrictions:

- Les équations 11 à 15 ne s'appliquent pas à moins que $r_o > 1,5$; cela signifie qu'il faut omettre le sous-programme précipitation par temps sec.
- Théoriquement, P_r ne peut pas être inférieur à zéro. Si on obtient des valeurs négatives à l'étape 2e, il faut prendre zéro.
- On ne doit pas utiliser des valeurs de T inférieures à $-1,1$ dans l'équation 15. Si $T < -1,1$, il faut prendre $T = -1,1$.

Tableau 1. Longueur réelle de la journée (L_e) pour le calcul de IH

Mois:	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
L_e :	6,5	7,5	9,0	12,8	13,9	13,9	12,4	10,9	9,4	8,0	7,0	6,0

Indice de sécheresse (IS)

$r_d = 0,83r_o - 1,27,$	$r > 2,8$ (18)
$Q_o = 800e^{-D_o/400}$	(19)
$Q_r = Q_o + 3,937r_d$	(20)
$D_r = 400 \ln(800/Q_r)$	(21)
$V = 0,36 (T + 2,8) + L_r$	(22)
$D = D_o$ (ou D_r) $+ 0,5V$	(23)

IS se calcule de la façon suivante:

1. D de la veille devient D_o .
- 2a. Si $r_o > 2,8$, calculer r_d à l'aide de l'équation 18.
 b. Calculer Q_o en fonction de D_o à l'aide de l'équation 19.
 c. Calculer Q_r à l'aide de l'équation 20.
 d. Calculer D_r en fonction de Q_r à l'aide de l'équation 21. D_r devient le nouveau D_o .
3. Prendre L_r dans le tableau 2 ci-dessous.
4. Calculer V à l'aide de l'équation 22.
5. Calculer D en fonction de D_o (ou D_r) à l'aide de l'équation 23. C'est l'IS de la journée.

L'utilisation des équations donnant IS comporte quatre restrictions:

- Les équations 18 à 21 ne s'appliquent pas à moins que $r_o > 2,8$; cela signifie qu'on doit omettre le sous-programme précipitation par temps sec.
- Théoriquement, D_r ne peut être inférieur à zéro. Si on obtient des valeurs négatives à l'étape 2d, il faut prendre zéro.
- On ne doit pas utiliser des valeurs de T inférieures à $-2,8$, dans l'équation 22. Si $T < -2,8$, prendre $T = -2,8$.
- V ne peut pas être négatif. Si l'équation 22 donne un résultat négatif, prendre $V = 0$.

Tableau 2. Coefficient de la longueur de la journée (L_r) pour le calcul de IS.

Mois:	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
L_r :	-1,6	-1,6	-1,6	0,9	3,8	5,8	6,4	5,0	2,4	0,4	-1,6	-1,6

Indice de propagation initiale (IPI)

$f(W) = e^{0,05039W}$	(24)
$f(F) = 91,9e^{-0,1386m} [1 + m^{5,31}/(4,93 \times 10^7)]$	(25)
$R = 0,208 f(W) f(F)$	(26)

Indice du combustible disponible (ICD)

$U = 0,8 PD/(P + 0,4D),$	$P \leq 0,4D$ (27a)
$U = P - [1 - 0,8D/(P + 0,4D)][0,92 + (0,0114P)^{1,7}],$	$P > 0,4D$ (27b)

Indice Forêt-Météo (IFM)

$f(D) = 0,626U^{0,809} + 2,$	$U \leq 80$ (28a)
$f(D) = 1000/(25 + 108,64 e^{-0,023U}),$	$U > 80$ (28b)
$B = 0,1 R f(D)$	(29)
$\ln S = 2,72 (0,434 \ln B)^{0,647},$	$B > 1$ (30a)
$S = B,$	$B \leq 1$ (30b)

IPI, ICD et IFM se calculent de la façon suivante:

1. Calculer $f(W)$ et $f(F)$ à l'aide des équations 24 et 25.
2. Calculer R à l'aide de l'équation 26. C'est l'IPI de la journée.
3. Calculer U à l'aide de l'équation 27a si $P \leq 0,4D$ ou à l'aide de l'équation 27b si $P > 0,4D$. C'est l'ICD de la journée.
4. Calculer $f(D)$ à l'aide de l'équation 28a si $U \leq 80$. Si $U > 80$, utiliser l'équation 28b.
5. Calculer B à partir de l'équation 29.
6. Si $B > 1$, calculer S d'après son logarithme donné par l'équation 30a. Si $B \leq 1$, prendre $S = B$ selon l'équation 30b. S est l'IFM de la journée.

Indice journalier de sévérité (IJS)

$$IJS = 0,0272 (IFM)^{1,77} \quad (31)$$

ANNEXE II

Utilisation des probabilités des précipitations
pour le calcul des indices Forêt-météo.

(Extrait de l'article de l'ouvrage de référence
Pouliot, 1989).

3. PRÉVISION DES PRÉCIPITATIONS

En étudiant l'effet des différentes hauteurs de pluie dans le calcul des indices, nous nous sommes rendu compte de l'importance relative des précipitations au-delà de certains seuils. En premier lieu, le seuil 0,6 mm est la hauteur minimum de pluie requise pour affecter l'ICL; des précipitations de 3 mm permettent d'abaisser l'ICL extrême au niveau NUL ou BAS et de réduire l'ICD d'au moins 5 unités. Après 12 mm, les pentes des courbes de l'ICD s'adouçissent considérablement montrant la faible importance des quantités de pluie excédant cette valeur. Par conséquent, on peut traiter les précipitations en considérant les seuils ou classes de hauteurs de pluie et en ayant recours aux probabilités.

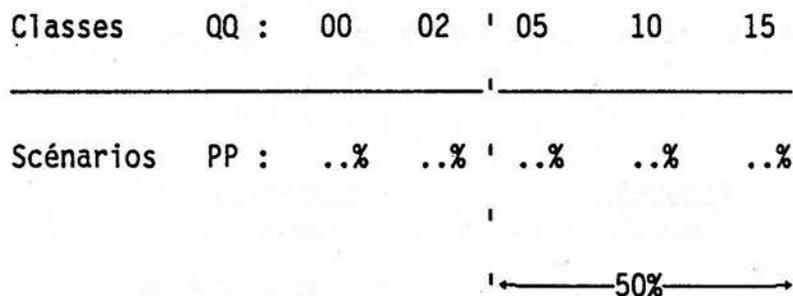
3.1 Classes de quantités de pluie (QQ)

Les classes de quantités de pluie (ou gammes de hauteurs de pluie) ont été déterminées en tenant compte des seuils des précipitations qui affectent l'ICL et l'ICD. Ces classes sont exprimées en code et ce sont les suivantes:

CLASSES (codes)	QUANTITÉS (QQ)
00	0,1 mm à 0,5 mm
02	0,6 mm à 2,9 mm
05	3,0 mm à 6,0 mm
10	6,1 mm à 12,0 mm
15	12,1 mm et +

3.2 Probabilités

On distingue deux sortes de probabilités: probabilités d'occurrence de pluie (POP) et probabilités qu'une quantité-seuil de précipitations soit atteinte (PP). La probabilité d'occurrence de pluie (POP) permet au prévisionniste d'exprimer, à l'aide de pourcentage, son appréciation des risques de précipitations ou des "chances" d'avoir de la pluie en un point ou sur une région donnée. Lorsque des précipitations sont prévues, la probabilité (PP) s'interprète comme le pourcentage du territoire qui sera touché par la quantité (QQ) de pluie prévue ou le pourcentage de stations qui observeront la gamme la plus représentative de hauteurs de pluie prévue pour une région. Par exemple, on préfère utiliser la gamme 02 pour la prévision d'averses légères ou de bruine, les gammes 10 ou 15 pour les averses modérées, orages, etc. Une probabilité de 50% d'observer la gamme 05 veut dire que cinq stations sur dix signaleront des précipitations de 3 mm à 6 mm. Mais en pratique, on observe plutôt 50% des stations avec plus de 2,9 mm, tel qu'illustré de la façon suivante:



De toute façon pour la prévision des indices, le problème n'est pas encore résolu puisque nous avons besoin d'une quantité de pluie (P_1) pour les sous-routines de calcul et non des probabilités. La méthode utilisée durant les saisons 1967 à 1984, pour évaluer le facteur pluie (P_1) pour la prévision des indices, était une méthode subjective basée sur l'expérience et la connaissance des besoins reliés à la détermination des dangers d'incendies.

Afin de réduire la subjectivité de la méthode, tout en rendant le produit utile, nous avons cherché une relation objective entre POP, PP et P_1 pour déterminer des scénarios de prévision de pluie.

3.3 Scénarios de pluie

L'idéal aurait été, peut-être, de déterminer pour chacune des gammes des probabilités PP et de calculer par la suite l'espérance mathématique (E) des scénarios, à l'aide de l'équation suivante:

$E(Q_m) = POP \times \sum PP_i Q_i = P_1$. Ainsi on obtiendrait une quantité de pluie P_1 qui pourrait être utilisée comme paramètre dans la prévision des indices, lorsque les chances de pluie sont suffisantes. Cependant, l'expérience nous apprend qu'il n'est pas possible de prévoir des probabilités pour chacune des gammes de façon satisfaisante. On peut, par contre, trouver pour une région de protection donnée, les différents scénarios observés en moyenne selon les POP et les PP observées et calculer par la suite les P_1 correspondants.

La figure 3.3 montre la courbe exponentielle pour la gamme 05, d'après la compilation des données (796 jours) des saisons 1978 à 1984 d'une des sept régions du Québec, équipée d'un réseau de vingt-quatre stations. Les P_1 calculés correspondaient, en général, à ceux qu'on utilisait auparavant empiriquement lorsqu'on prévoyait cette gamme. Donc, on a pris cette courbe comme modèle pour trouver les P_1 des autres gammes. Des scénarios de pluie ont été développés au moyen des relations trouvées entre les POP et les PP observés et ont été utilisés pour la prévision automatisée d'indices durant la saison 1985.

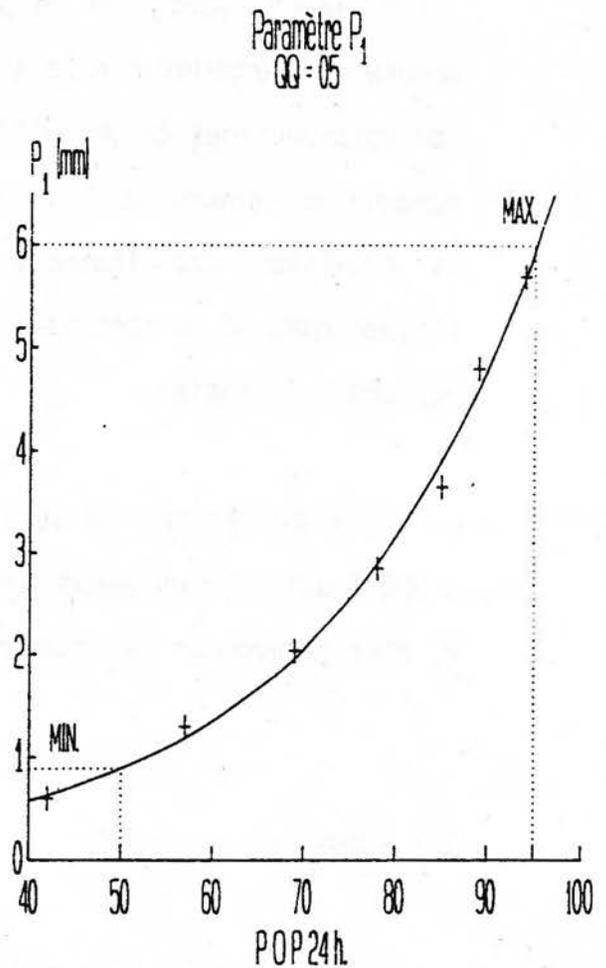


Figure 3.3 Courbe exponentielle des P_1 pour la gamme 05.

On retrouve à la figure 3.3A les relations entre le POP (0,6mm) et les PP de 3 mm et 6 mm, donnant des courbes nettement exponentielles ($POP \geq 40$), d'après la compilation des données des saisons 1985 à 1988, totalisant près de 2 000 cas ou jours-prévisions. La figure 3.3B montre les scénarios correspondants pour la gamme 05.

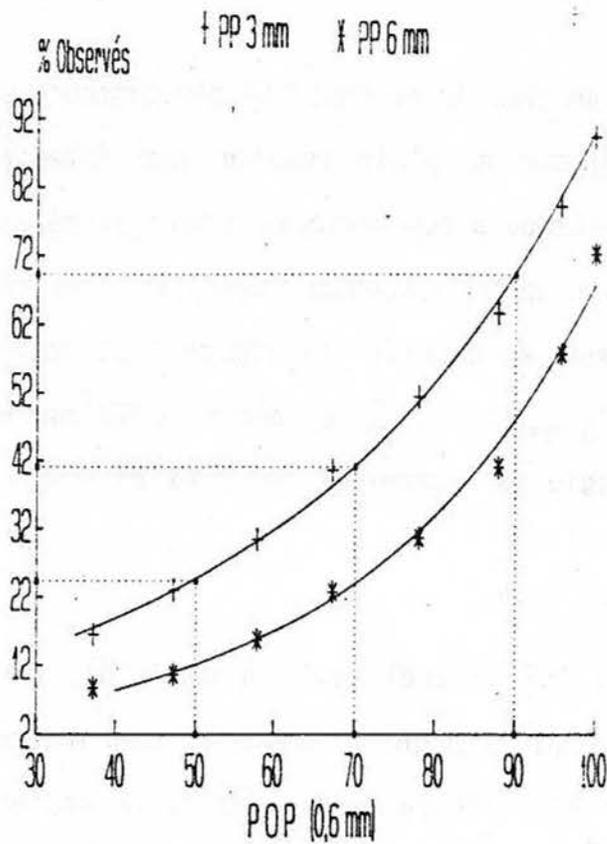


Figure 3.3A Relation POP 0,6 mm
- PP 3 mm et 6 mm.

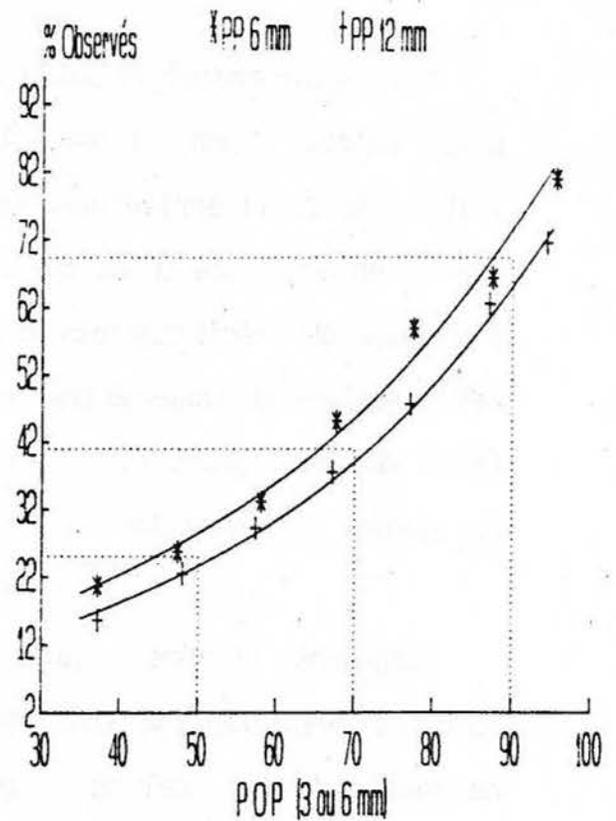


Figure 3.3C POP 3 mm et PP 6 mm
POP 6 mm et PP 12 mm.

POP	QQPP	P ₁
10	0510	--
20	0510	--
30	0520	--
40	0520	--
50	0530	1.0
60	0530	1.5
70	0540	2.2
80	0550	3.3
85	0560	4.0
90	0570	5.0
95	0580	6.0

Figure 3.3B Scénarios de pluie
pour la gamme 05.

POP	PP	QQ			
		02	05	10	15
Paramètre P ₁					
00	00	---	---	---	---
10	10	---	---	---	---
20	10	---	---	---	---
30	20	---	---	---	---
40	20	---	---	---	---
50	30	0.5	1.0	2.0	4.0
60	30	0.7	1.5	3.0	6.0
70	40	1.1	2.2	4.5	9.0
80	50	1.6	3.3	6.5	13.0
85	60	2.0	4.5	8.0	16.0
90	70	2.5	5.0	10.0	20.0
95	80	2.9	6.0	12.0	24.0

Figure 3.3D Scénarios de pluie
pour les gammes 00-02-05-10-15.

Nous avons choisi le seuil 0,6 mm pour la probabilité d'occurrence de pluie puisque c'est la hauteur minimum de pluie requise pour affecter l'ICL. Mais, il arrive que les systèmes atmosphériques prévus suggèrent plutôt un seuil de 3 mm ou 6 mm et même davantage comme dans les cas d'orages, de précipitations continues et autres. La figure 3.3C montre les relations obtenues entre le POP_{3 mm} et PP_{6 mm}, et entre le POP 6mm et PP 12 mm, soulignant ainsi l'analogie des scénarios observés en moyenne des gammes 05, 10 et 15.

Supposant la même relation du POP (trace) avec la gamme 02, nous obtenons quarante-cinq scénarios de pluie pour la prévision des indices de danger de feu, tel qu'illustré à la figure 3.3D. Ainsi, on obtient les P₁ demandés pour les calculs, en déterminant les POP et les classes de pluie (QQ) les plus représentatives, selon les systèmes atmosphériques en cause, la durée ou l'intensité des précipitations prévues.

Cette méthode, en plus d'offrir un moyen très simple et uniforme d'un prévisionniste à l'autre, favorise une meilleure prévision des dangers d'incendie de forêt. Elle permet, en effet, de découper plus finement le territoire forestier en régions de prévision, et d'une façon suffisamment précise pour cerner les zones menacées par des dangers de feux importants et pour discriminer les autres selon les besoins particuliers.

4. VÉRIFICATION DES PRÉVISIONS

La technique que nous préconisons pour la vérification des prévisions des scénarios de précipitations est celle qui permet d'évaluer et de corriger les erreurs qui affectent les calculs de prévision des indices ICL et ICD employés comme prédicteurs des feux de forêt. Nous avons développé des méthodes qui permettent de vérifier et d'améliorer les algorithmes de prévisions de 12 h, 24 h et 48 h des scénarios de précipitations ainsi que des autres paramètres (humidité relative, température et vent) qui influent sur les calculs d'indices. À titre d'exemple, la figure 4 montre la "fiabilité" des prévisions des POP 24 h par catégorie, illustrant ainsi, d'une façon générale, la précision des scénarios de pluie ou des paramètres P_1 .

Les tableaux de la figure 4A montrent la distribution des fréquences obtenues en jours-zones des ICL observés selon les ICL prévus, d'après les scénarios POP 30-40 et 50-60. Ces tableaux permettent d'apprécier la réussite des prévisions de l'ICL à ± 2 unités (87 vérifie les indices 85 à 89). Pour le POP 30-40, même si l'ICL est prévu trop élevé (+20%), l'erreur est bien répartie d'un point de vue pratique pour la prévision de feux de forêt. Par contre, pour les POP 50-60, 62% des P_1 prévus proviennent des scénarios de la gamme (QQ) 05 et donnent des dangers trop faibles. Pour une meilleure stratégie, il y aurait lieu de corriger notre algorithme de prévision pour les ICL 83 à 87 en les modifiant pour 85 à 89, tel qu'illustré dans le tableau.

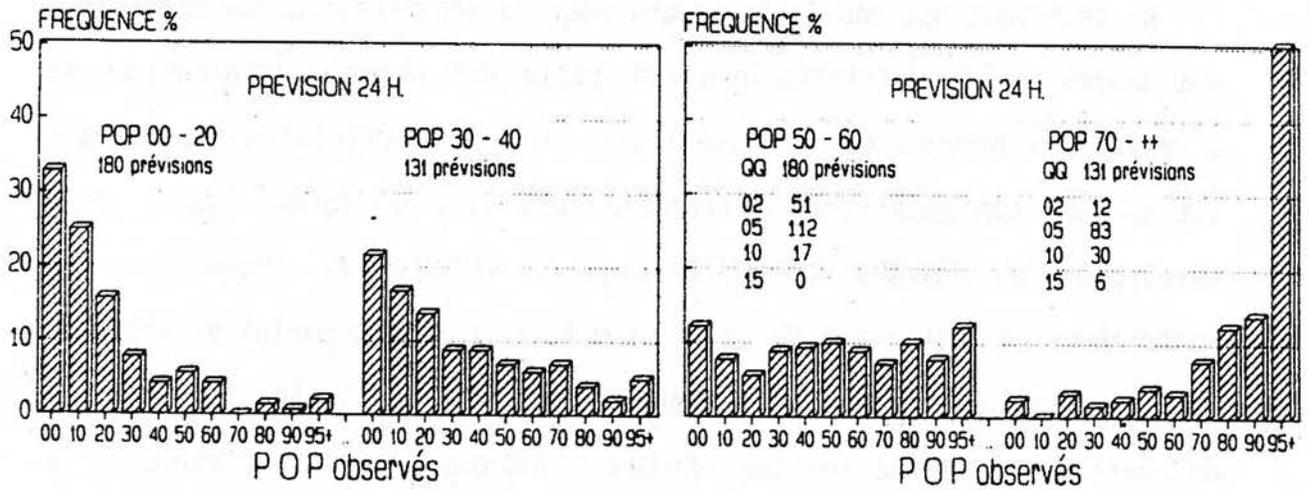


Figure 4 Distribution des fréquences des POP observés selon les catégories de POP 24 h prévus, du 1er mai au 31 août 1988.

I C L : OBSERVES	POP 30-40 PREVISION 24 H.							
	79	81	83	85	87	89	91	93
B	79	43	130	23	34	41	24	4
	81	8	155	54	38	27	17	10
M	83	1	35	37	41	17	10	3
	85	2	12	33	58	60	27	7
H	87		3	17	44	102	66	10
	89		1	8	20	53	66	14
	91				2	10	38	23
E	93					2	3	5
	95							

I C L : OBSERVES	POP 50-60 PREVISION 24 H.							
	79	81	83	85	87	89	91	93
B	79	467	666	55	18	5		
	81	49	295	50	18	7		
M	83	11	121	42	21	3		
	85	8	106	63	33	9		
H	87	5	72	50	40	41	4	
	89	1	34	33	54	26	2	
	91		7	12	22	13	3	
E	93			4	2	1	1	
	95							

Figure 4A Tableaux de contingence des fréquences en jours-zones de l'ICL, selon les prévisions de 24 h des POP 30-40 et 50-60.

ANNEXE III

Évaluation par zone des indices Forêt-météo.
Prévision et région météorologiques

MÉTHODES D'ÉVALUATION PAR ZONE DES INDICES FORÊT-MÉTÉO

1. INTRODUCTION

Nous savons que les indices sont des valeurs discontinues (d'une gamme de danger à l'autre) et que la distribution des valeurs d'indice n'est pas une distribution linéaire. Par conséquent, on ne peut traiter les indices par une simple arithmétique ou tenter d'interpoler entre deux valeurs. Par définition, les indices ne sont pas des mesures directes pour des points, mais plutôt des mesures indirectes de la teneur en eau des combustibles, et des comportements des feux qui pourraient se déclarer sur un territoire forestier. C'est pourquoi, il faut délimiter avant tout des territoires ou des zones météo-forestières spécifiques pour l'observation et le calcul des indices d'évaluation des dangers d'incendie.

2. ZONES MÉTÉO-FORESTIÈRES

Les zones météo-forestières (voir figures 1 et 1.a) sont des aires forestières délimitées en tenant compte de la topographie ou de la géographie, des types de forêts, des lignes administratives de protection et de la représentativité de la valeur de l'indice provenant d'une station. Au Québec, la délimitation des zones a été basée en premier lieu sur les régions forestières du Canada de J.S Rowe (1972). Cette délimitation a été modifiée par la suite pour s'ajuster davantage aux régions et zones écologiques du Québec développées par M. Thibault (1987). Dans cet ouvrage, la région écologique est définie comme "portion du territoire caractérisé par un climat régional distinctif tel qu'exprimé par la végétation", et permet une

meilleure détermination des distributions géographiques et physiographiques des forêts du Québec (types de forêt, relief, climat). En plus de suivre ces lignes maîtresses, nous avons tenu compte des zones d'activité ou à risque de feux de causes humaines et naturelles (foudre) (voir figures 1.b et 1.c).

En général, pour la lutte préventive contre les feux de forêt, le rayon d'efficacité d'une station forestière, relié à l'occurrence des feux, serait d'environ 40 km (William 1963, Turner et Lawson, 1978); ce qui correspond à une superficie de 5 000 km carrés. On retrouve habituellement une ou plusieurs stations météo (ou pluviomètres) par zone selon l'intensité de la protection. La superficie des zones peut varier entre 10 000 km carrés et 5 000 km carrés ou moins, dépendant des climats locaux qui affectent de façon significative les calculs des indices ou des probabilités d'occurrence et de comportement de feux de forêt.

Puisque, par définition, les indices s'adressent à un territoire, les zones déterminées par leur spécificité forestière (topographique, écologique ou climacique) deviennent des entités désignées répondant aux échelles de précision possible des mesures. La zone météo-forestière, ainsi définie, est en conséquence la plus petite unité de surface à considérer de façon réaliste pour l'observation et la prévision des paramètres de calcul d'indices pour la lutte préventive contre les feux de forêt, tout comme pour la prévision des conditions météo (à échelle méso) reliées au combat des feux de forêt.

3. ÉVALUATION PAR ZONE

Nous avons décrit les relations des paramètres météo et indices et les niveaux de précision ou de sensibilité qui affectent les calculs d'inflammabilité des forêts et des comportements des incendies. À titre

d'exemple, nous avons démontré que même une précision à $\pm 0,5$ mm dans l'évaluation des précipitations pouvait causer une variation de BAS à HAUT dans l'évaluation de l'inflammabilité (figure 3.13) et qu'une variation de 2 km/h seulement pouvait causer une variation de 9 mètres/min. à 19 mètres/min. dans l'évaluation de la vitesse de propagation de l'incendie (figure 5.4). Ce ne sont évidemment que des exemples pour démontrer les limites des calculs obtenus à partir d'une seule station pour déterminer les indices. Ces exemples veulent démontrer aussi l'importance d'évaluer des indices représentatifs par zone à l'aide des stations situées à l'intérieur et au pourtour de la zone à évaluer. Cette approche origine de celle développée par P.M. Paul (1964, 1966) pour les provinces Maritimes et adaptée pour le Québec en 1967.

Nous avons développé et amélioré, au fil des années, une méthode informatique d'évaluation des indices par zone en se basant sur le principe que le but des indices était d'obtenir des prédicteurs simples et réalistes, mais aussi efficaces, des probabilités d'éclosion de feux et des ordres de grandeur de leur comportement potentiel. Il faut, à notre avis, avoir une méthode d'interprétation des indices qui permet aux responsables de la lutte des incendies de choisir une stratégie de combat basée sur des analyses sérieuses.

Pour évaluer et interpréter les indices à bon escient, l'expérience des météorologistes forestiers, spécialisés dans ce domaine, nous apprend qu'il faut avant tout connaître et analyser la situation météorologique présente et celle des dernières 24 heures. Par exemple, nous devons analyser les caractéristiques des masses d'air et des phénomènes météorologiques qui affectent les zones comme: les points de rosée, les gradients de pression, l'instabilité, les systèmes de pluie des dernières 24 heures, etc. Cette analyse permettra d'évaluer les limites possibles inférieures, et supérieures des humidités relatives et des vitesses de vent, et de déterminer les caractères des

précipitations qui affectent ou ont affecté les zones étudiées. Par la suite, on évalue et vérifie les observations des stations météo-forestières en fonction de la situation météorologique et en tenant compte des facteurs qui régissent les calculs des indices.

Pour l'évaluation informatisée, des poids ont été attribués préalablement à chaque station en fonction de leur localisation ou de leur représentativité pour le calcul des indices. Des équations de conversion transforment les indices en facteur de gravité, selon une méthode similaire à celle de C.E. Van Wagner (1970) permettant de calculer l'indice IFM pour une zone à partir de plusieurs stations. La figure 2 montre la relation obtenue en prenant chaque paire de valeurs-limites correspondantes de danger d'ICL et d'IFM. Les figures 3 et 4 montrent les courbes de conversion calculées pour l'ICL et l'ICD en utilisant la formule de transformation de l'IFM en facteur de gravité (voir annexe I, IJS équ.31).

Des programmes informatiques permettent de gérer le système d'évaluation par zone, de calculer et de pointer les valeurs des indices pour toutes les zones forestières du Québec. À la figure 5, on trouve un exemple d'une carte d'analyse météo-forestière montrant le pointage des observations et des indices, la région affectée par la pluie au moment de l'observation, la position des fronts et l'évaluation des indices ICL/ICD par zone. La figure 6 montre une carte de pointage des températures (TT), des températures des points de rosée (TD), des vents et du temps observés aux stations météo-forestières aux environs de 13h, heure locale. Les températures des points de rosée ont été déterminées à partir des températures des thermomètres secs et mouillés.

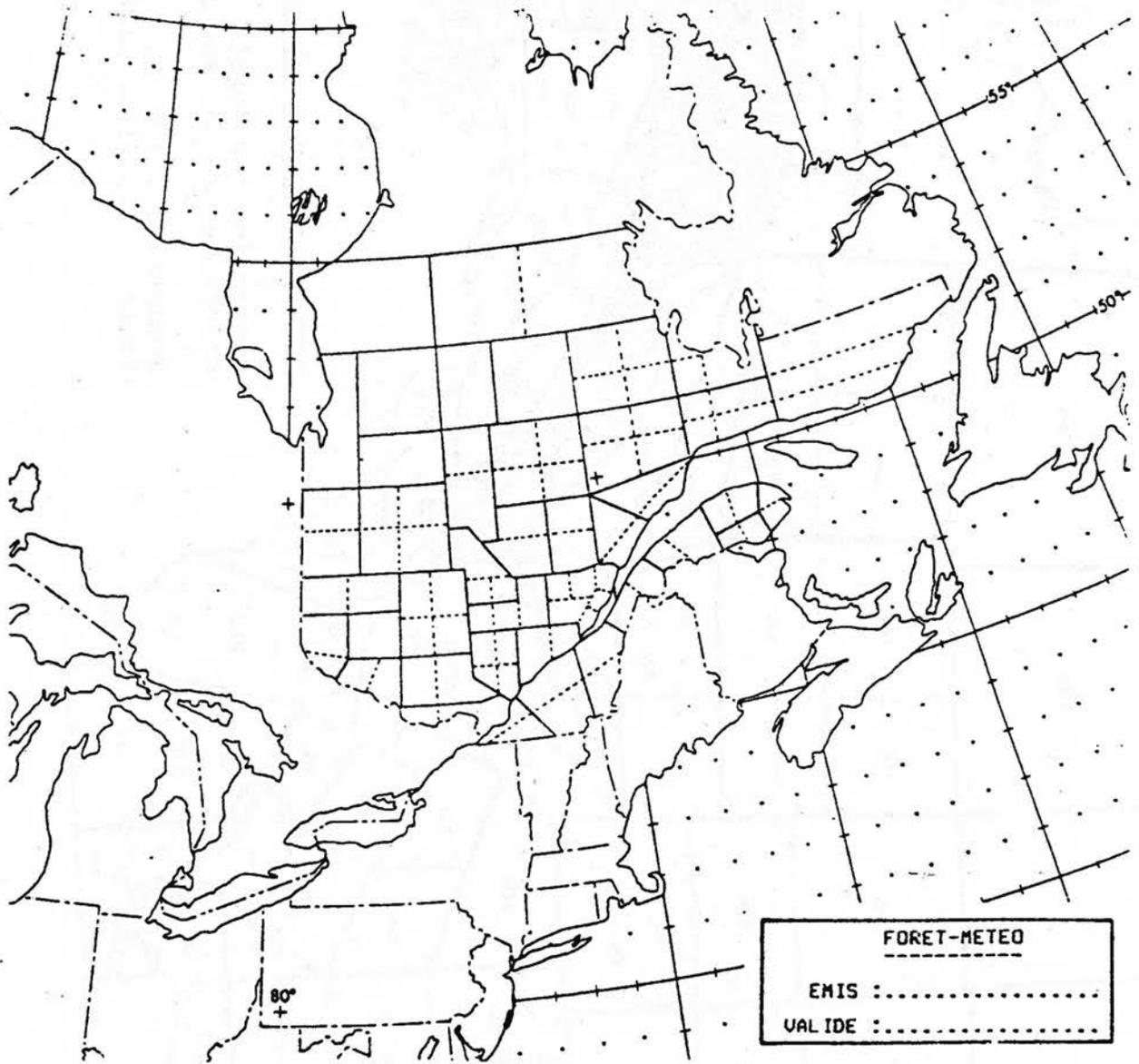
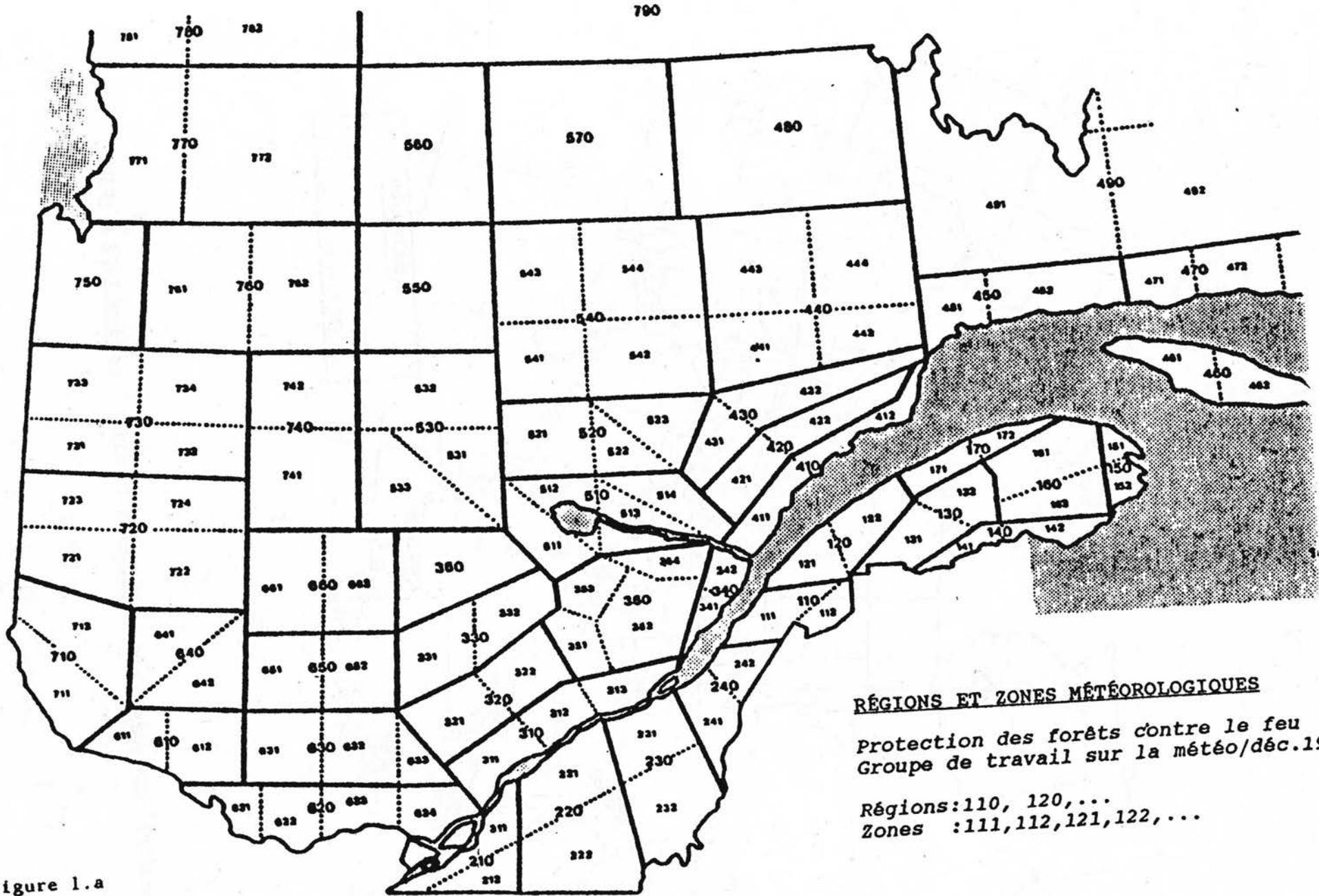


Figure 1

Carte montrant les zones météo-forestières du Québec, saisons 1972 à 1989.



RÉGIONS ET ZONES MÉTÉOROLOGIQUES

Protection des forêts contre le feu
Groupe de travail sur la météo/déc.19

Régions: 110, 120, ...
Zones : 111, 112, 121, 122, ...

Figure 1.a

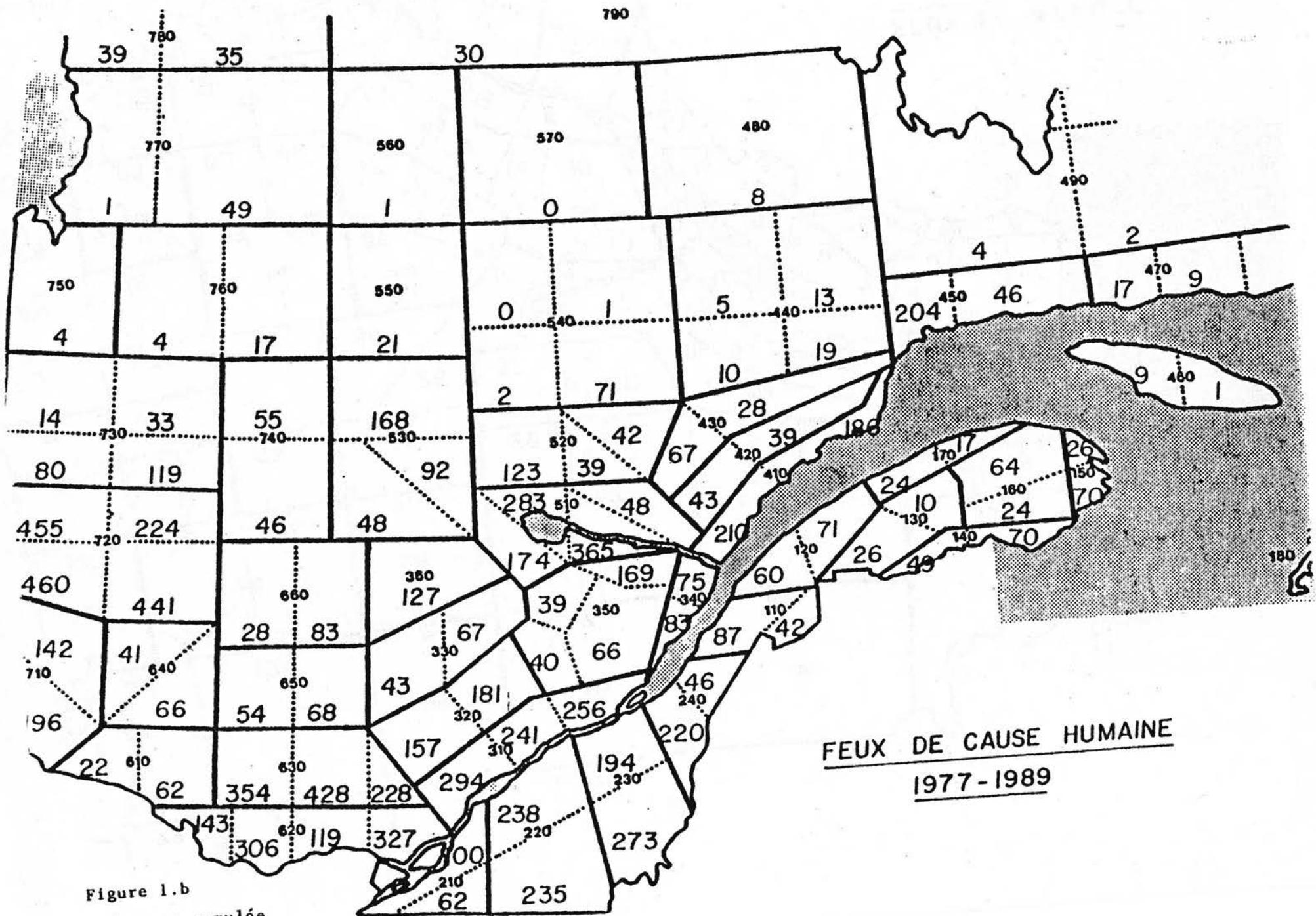


Figure 1.b
Fréquence cumulée

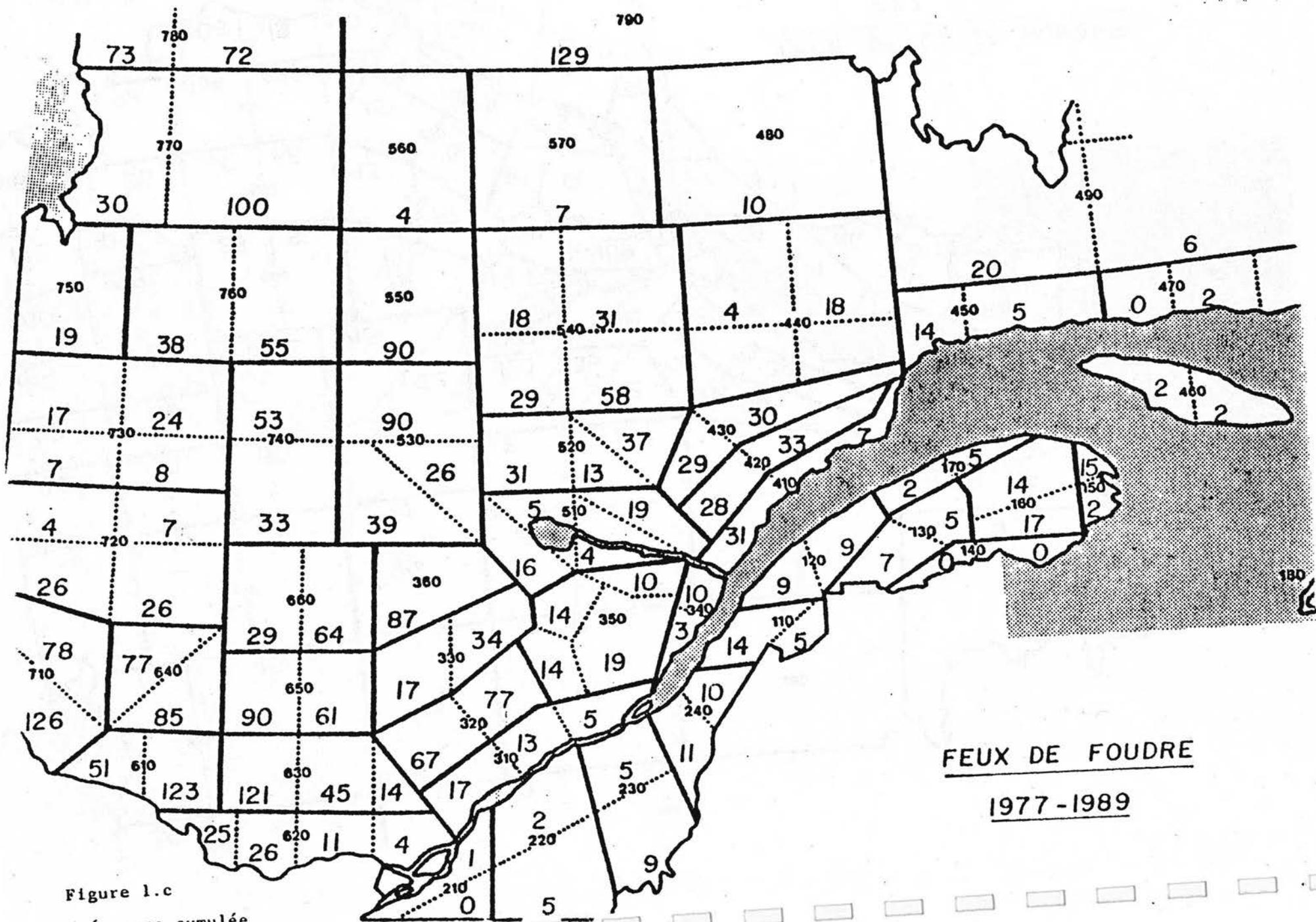


Figure 1.c
Fréquence cumulée

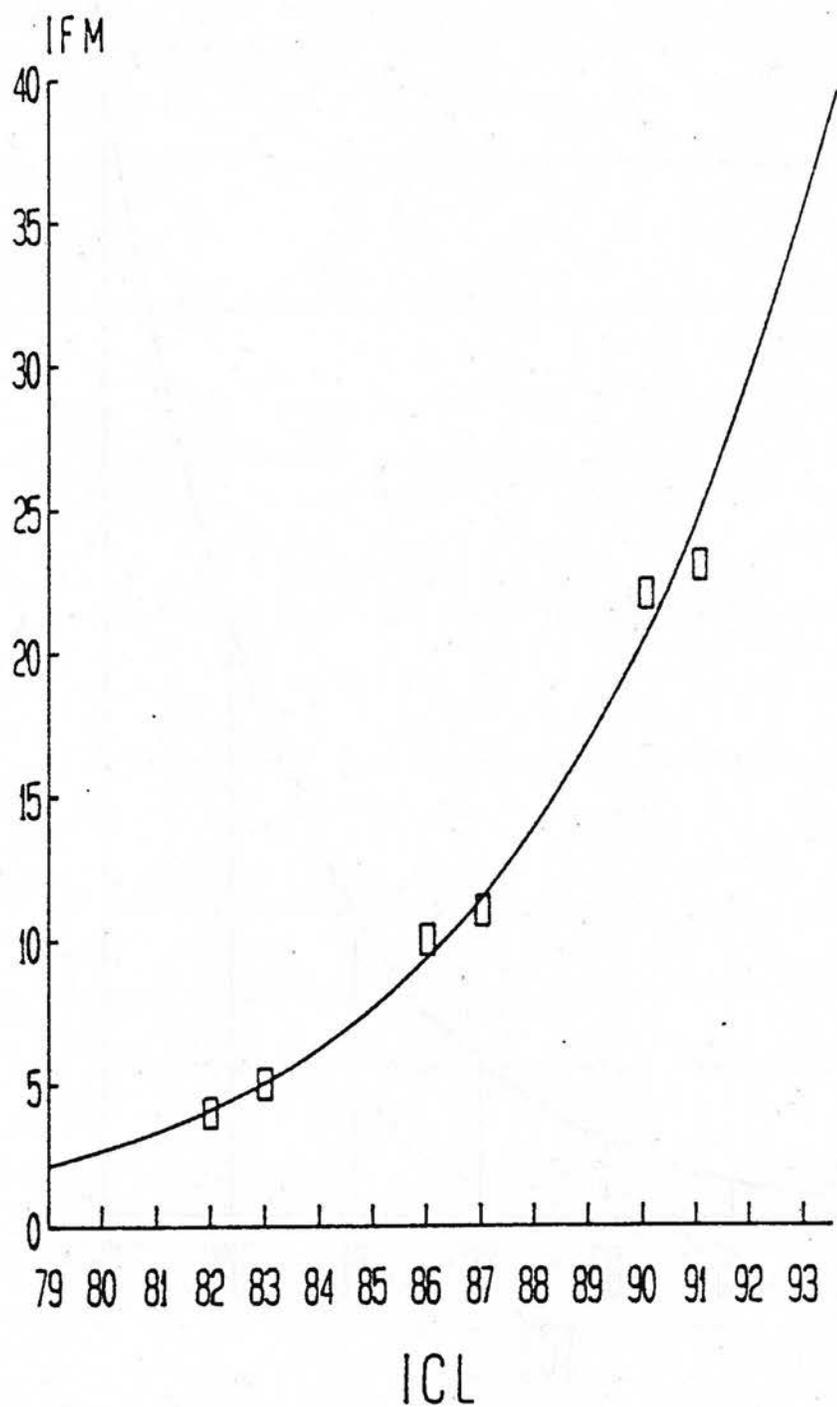


Figure 2

IFM relatif à l'ICL en fonction des limites des classes de danger.

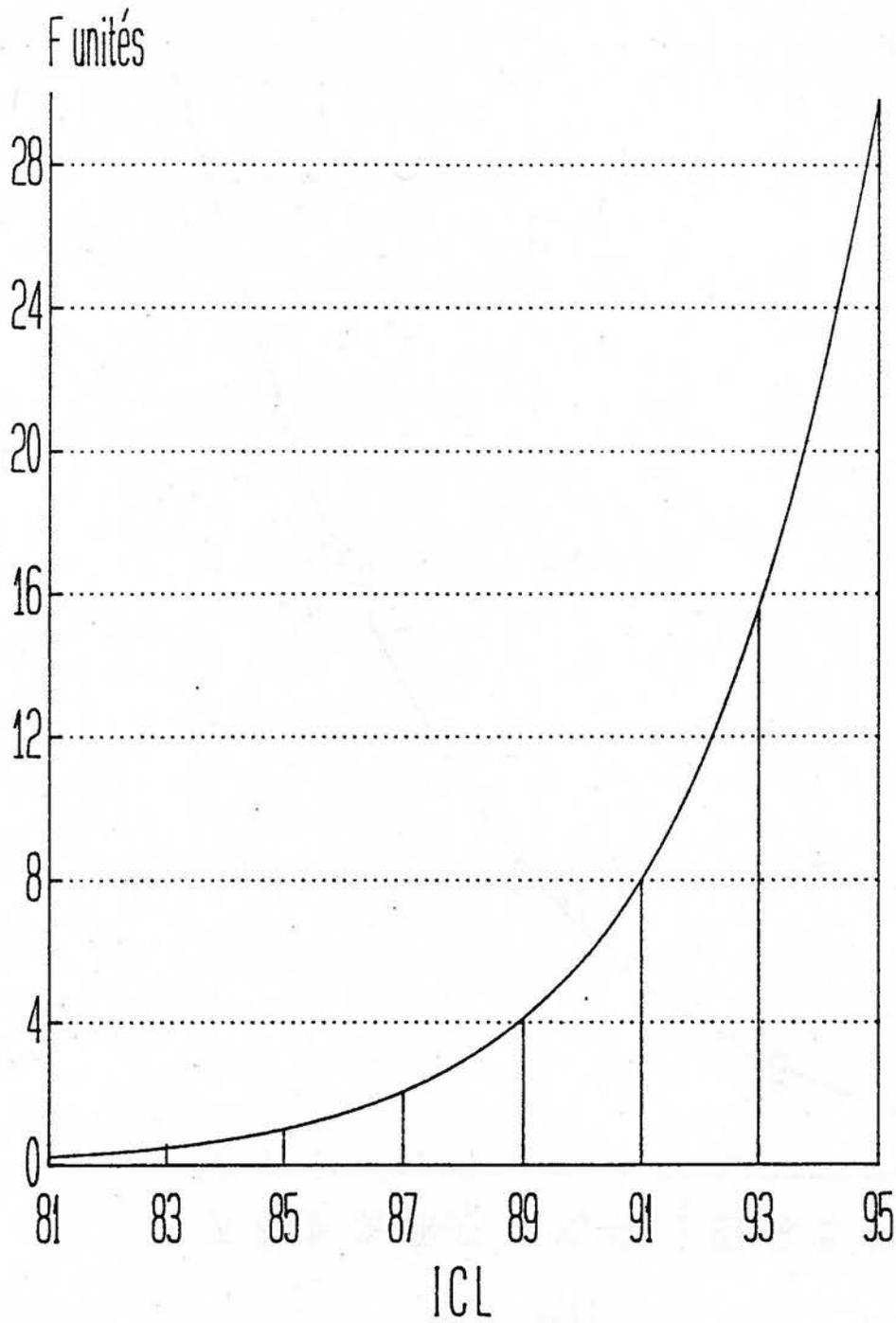


Figure 3

Courbe de conversion de l'ICL en facteurs d'importance relative de danger.

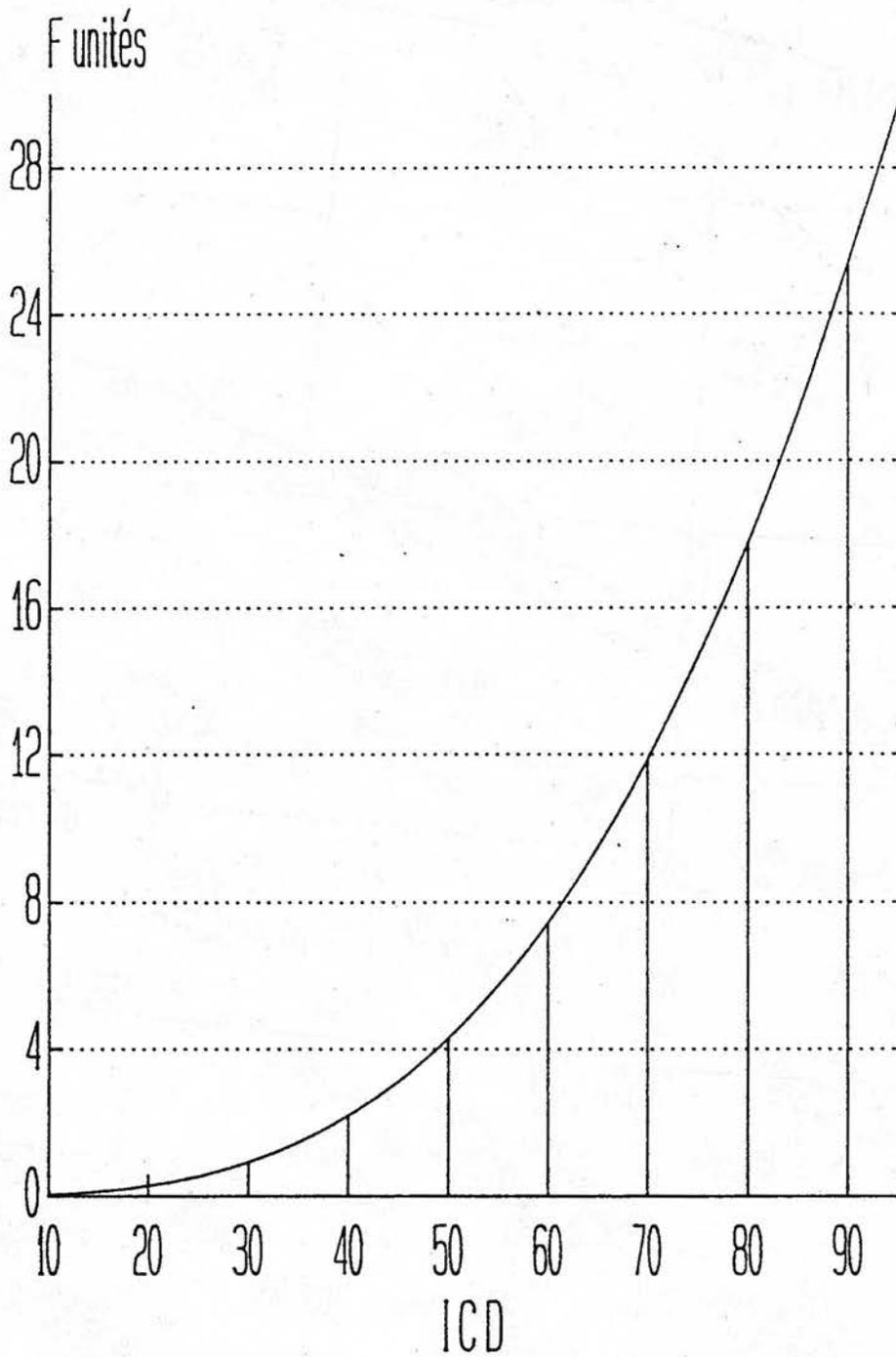


Figure 4

Courbe de conversion de l'ICD en facteurs d'importance relative de danger.

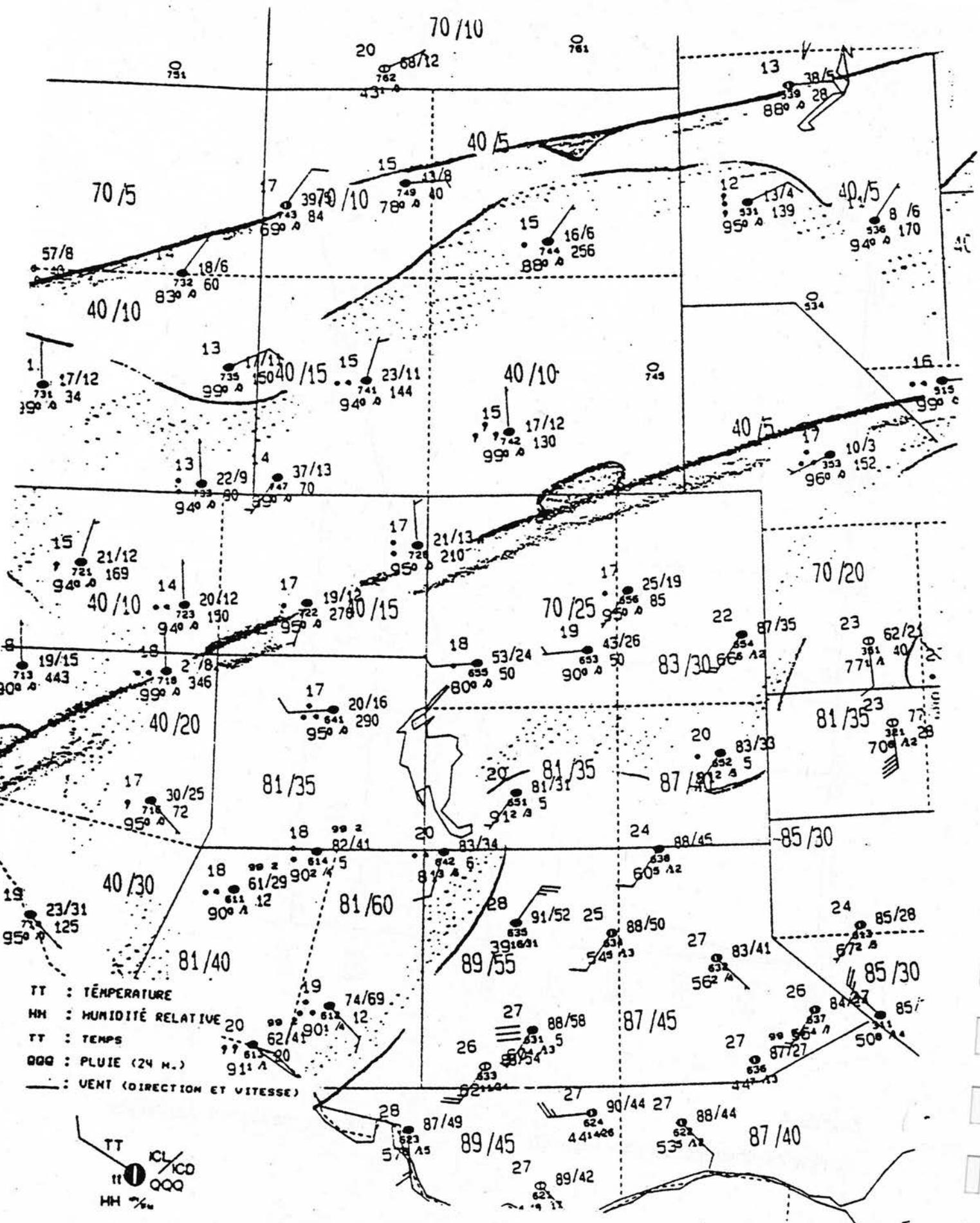


Figure 5 Exemple de carte d'analyse des observations météo-forestières d'une partie du territoire du Québec, le 15 août 1989.

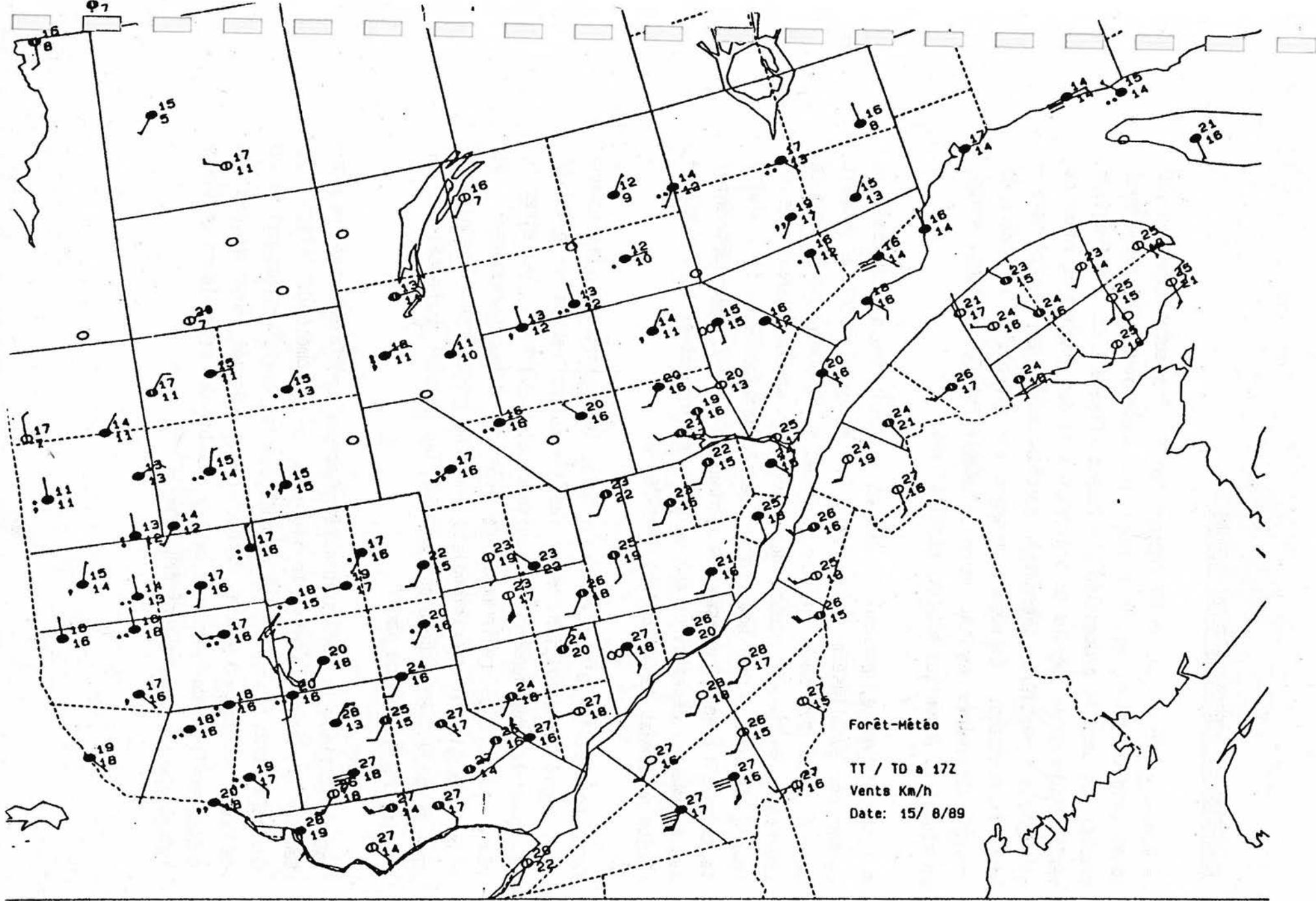


Figure 6 Carte de pointage des températures, thermomètres sec (TT) et points de rosée (TD), des vents et du temps aux environs de 13h locale.

4. PRÉVISION ET RÉGION MÉTÉOROLOGIQUES.

Le Québec a été divisé en 50 régions forestières subdivisées en 110 zones afin d'évaluer et de prévoir les conditions météorologiques spécifiques pour la protection des forêts (figure 1.a). Les régions météorologiques ou régions de prévision sont des groupes de zones ou de régions forestières déterminés quotidiennement par le prévisionniste Forêt-météo. Le nombre de zones par groupes et le nombre de groupes déterminés varient selon la complexité des systèmes atmosphériques et selon les besoins particuliers.

À titre d'exemple, prenons le cas où un front froid traversait le Québec tel qu'illustré à la figure 7. Le prévisionniste pouvait donc à l'aide des zones adapter la forme et le nombre de régions de prévisions en tenant compte des conditions météo présentes et de leur évolution. Ainsi pour cette journée particulière, il a divisé le territoire en 12 groupes ou régions (figure 8) pour déterminer les paramètres nécessaires aux calculs des indices et à la planification du combat des incendies (figure 9).

Cette possibilité d'ajuster la forme ou la superficie et le nombre de régions de prévision selon les situations permet de préciser davantage les déplacements des systèmes atmosphériques, les aires de pluie prévue, les revirements de vent ou autres phénomènes. De plus, elle aide le prévisionniste à mettre l'accent sur les paramètres météo qui sont nécessaires pour les calculs d'indices et les besoins forestiers du jour.

Par définition, la prévision météorologique spécifique pour la protection des forêts contre le feu doit tenir compte de l'incidence des paramètres météo sur les calculs des indices d'inflammabilité et de comportement des feux de forêt. C'est pourquoi, nous croyons que cette prévision doit inclure celles des indices et de leurs dérivées telles que les prédictions des feux.

Cette approche permet une évaluation quotidienne de l'efficacité ou de la justesse des prévisions et d'apporter les correctifs ou les améliorations qui s'imposent.

Des algorithmes et des programmes informatiques ont été développés pour extraire, à partir des conditions météo observées ou prévues, les paramètres appropriés aux calculs des indices. Depuis 1982, nous avons mis en opération et amélioré au fil des années un modèle analogique de prévision des feux de causes humaines (Poirier, 1990).

Ainsi, des programmes informatiques révisés et améliorés après chacune des saisons de feux permettent la prévision automatique des indices et des feux pour toutes les zones forestières du Québec et facilitent la gestion de l'ensemble du système de prévision Forêt-météo.

Actuellement le service de prévision Forêt-météo fournit les produits suivants:

- Prévisions météorologiques pour 12h, 24h, 36h et 48h (voir périodes A, B, C et D; figure 9).
- Prévisions des indices de 12h à 48h.
- Prévision du nombre de feux (cause humaine) jusqu'à 48h.
- Prévision de 12h à 96h de l'indice de gravité pour les régions forestières.
- Prévision météo pour les feux en cours ou dirigés.
- Prévision du danger de feu en forêt pour le public.
- Cartes d'analyse de surface et cartes pronostiques.
- Calcul des indices aux stations forestières et du SEA et évaluation par zones des indices ainsi que le contrôle de qualité des données.
- Calcul horaire de l'indice d'inflammabilité (ICL) aux stations du SEA.

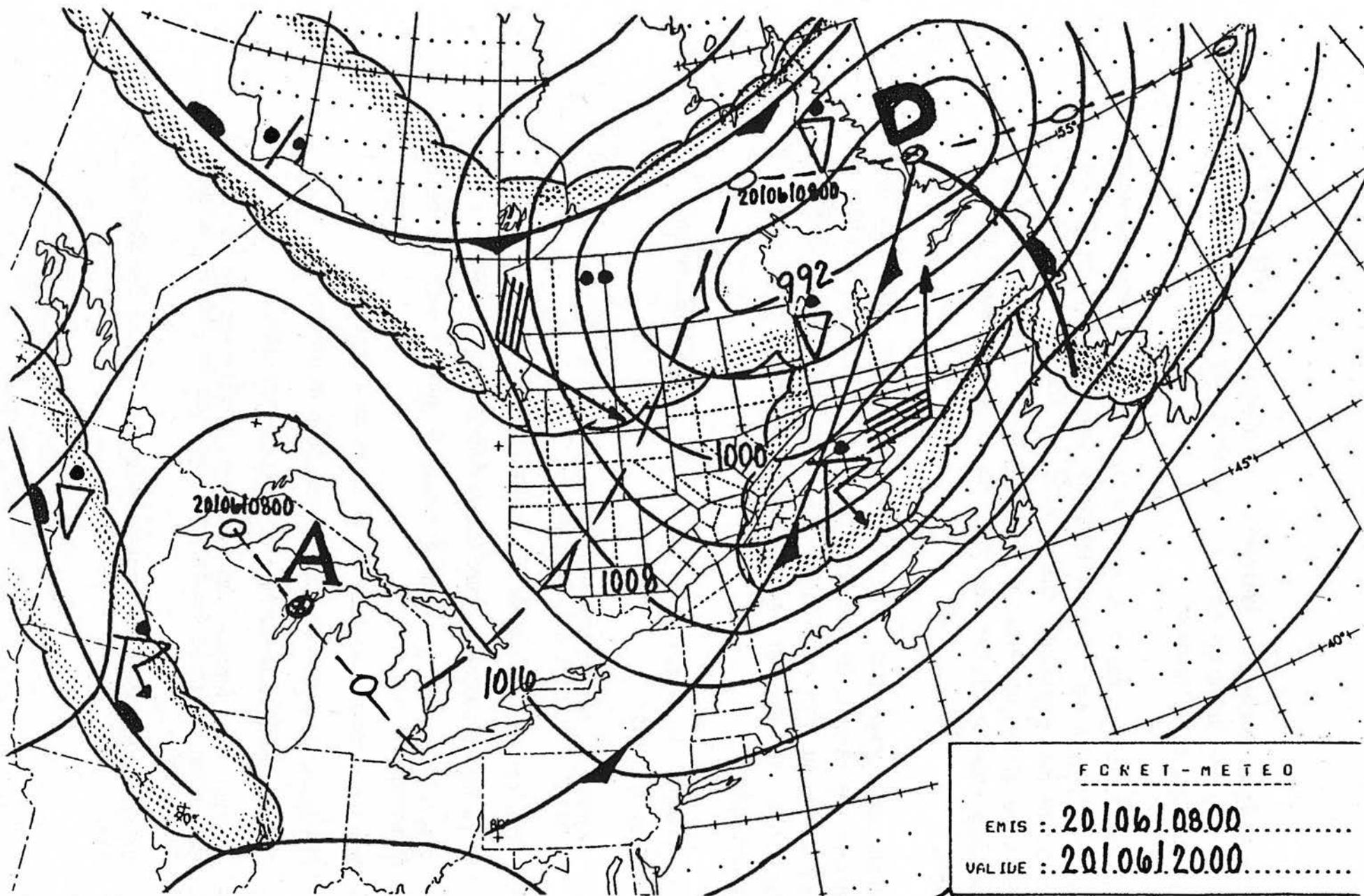


Figure 7

Pour renseignements, veuillez vous adresser à

Forêt-Météo
Centre météorologique du Québec
Service de l'environnement atmosphérique
Environnement Canada
100, boul. Alexis-Nihon
3e étage
Saint-Laurent (Québec)
H4M 2N8

Téléphone: (514) 283-1134

Publié par le Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement
Canada de la région du Québec.