

Record Number: 1290
Author, Monographic: Fortin, J. P.//Morin, G.//Leblanc, D.
Author Role:
Title, Monographic: Étude des conditions météorologiques critiques sur le bassin de la rivière
Sainte-Anne du Nord
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1979
Original Publication Date: Janvier 1979
Volume Identification:
Extent of Work: 34
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche
Series Volume ID: 128
Location/URL:
ISBN: 2-89146-125-8
Notes: Rapport annuel 1979-1980
Abstract: Rapport rédigé pour Hydro-Québec
10.00\$
Call Number: R000128
Keywords: rapport/ ok/ dl

ETUDE DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES
CRITIQUES SUR LE BASSIN DE LA RIVIERE
SAINTE-ANNE-DU-NORD

RAPPORT
SCIENTIFIQUE

128

par

J.P. Fortin, G. Morin, D. Leblanc,

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec
GIV 4C7

Janvier 1979

ETUDE DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES
CRITIQUES SUR LE BASSIN DE LA RIVIERE
SAINTE-ANNE-DU-NORD

RAPPORT
SCIENTIFIQUE

128

par

J.P. Fortin, G. Morin, D. Leblanc,

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec
GIV 4C7

Janvier 1979

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
TABLE DES MATIERES.	i
LISTE DES TABLEAUX.	iii
LISTE DES FIGURES	iv
1. INTRODUCTION	1
2. OBJECTIFS	1
3. DESCRIPTION SOMMAIRE DU BASSIN	2
4. DONNEES METEOROLOGIQUES UTILISEES	4
5. DETERMINATION DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES EXCEPTIONNELLES SUR LE BASSIN DE LA RIVIERE SAINTE-ANNE-DU-NORD	6
5.1 Détermination de l'équivalent en eau du stock de neige maximum au sol	6
5.1.1 Chûte de neige annuelle maximale.	6
5.1.2 Variation saisonnière de l'épaisseur maximisée de neige au sol.	11
5.1.3 Variation saisonnière de la densité du stock de neige au sol.	12
5.1.4 Variation saisonnière de l'équivalent en eau de l'épaisseur maximisée de neige au sol	16

	<u>PAGE</u>
5.2 Pluies maximales probables	16
5.3 Variation saisonnière de la valeur modale des pluies de 24 heures.	20
5.4 Températures maximales exceptionnelles pour différentes durées	21
6. CONDITIONS METEOROLOGIQUES EXCEPTIONNELLES POUR LA CRUE MAXIMALE PROBABLE DE PRINTEMPS.	25
7. CONDITIONS METEOROLOGIQUES EXCEPTIONNELLES POUR LA CRUE MAXIMALE PROBABLE D'AUTOMNE	28
8. CONCLUSION.	33
9. BIBLIOGRAPHIE	34

LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
1. Stations climatologiques utilisées dans l'étude	5
2. Nombre de jours moyen entre chaque chute de neige	9
3. Pluie cumulée en fonction du temps.	20
4. Séquences météorologiques exceptionnelles de printemps.	27
5. Séquence pluviométrique exceptionnelle d'été et pluies antécédentes.	30
6. Distribution de la séquence pluviométrique exceptionnelle à des pas de temps de 6,12 et 24 heures	31
7. Distribution de la hauteur de pluie cumulée pour les 6 heures se terminant le 28 août à 0 heure, selon un pas de temps de 1 heure.	32

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
1. Situation géographique du bassin étudié sur la rivière Sainte-Anne-du-Nord et des stations météorologiques.	3
2. Hauteur relative de la chute de neige maximisée par la méthode de la saison synthétique	8
3. Variation saisonnière de l'épaisseur maximale observée de neige au sol (courbe enveloppe)	13
4. Variation saisonnière de l'épaisseur maximisée de neige au sol.	14
5. Variation saisonnière de la densité de la neige au sol (courbe enveloppe)	15
6. Variation saisonnière de l'équivalent en eau de l'épaisseur maximisée de la neige au sol	17
7. Courbes hauteur-surface-durée (tirées de Gagnon, 1970)	19
8. Variation annuelle relative de la valeur modale des pluies maximales de 24 heures	22
9. Variation saisonnière des températures maximales journalières. (Courbe enveloppe des températures maximales moyennes observées pour différentes durées	24

1. INTRODUCTION

Dans la poursuite de son programme de mise en valeur du potentiel hydro-électrique du Québec, Hydro-Québec a récemment décidé de développer de nouveaux types d'aménagement pour faire face à la demande, pendant les heures de pointe. L'un des nouveaux aménagements prévus sera situé sur la rivière Sainte-Anne-du-Nord. Contrairement aux grands complexes hydro-électriques en cours de réalisation, le bassin d'alimentation de la centrale n'aura que 523 km². On aura alors recours à une réserve qui sera pompée entre les périodes de pointe.

Comme pour les autres centrales, il est toutefois nécessaire, afin de préciser certaines caractéristiques du barrage (vannes d'évacuation des crues, en particulier), de déterminer les crues maximales probables au site de ce barrage. La présente étude a pour but de fournir à Hydro-Québec les données météorologiques exceptionnelles conduisant à une telle crue, au printemps et en automne.

2. OBJECTIFS

Hydro-Québec désirant appliquer le modèle SSARR pour le calcul de la crue maximale probable sur le bassin d'alimentation, l'étude se confine à la détermination des valeurs exceptionnelles prises par les variables météorologiques à l'origine de la crue maximale probable. Ces données seront requises au printemps, en période de fonte, au moment où l'eau de fonte s'additionne à l'eau de pluie pour conduire éventuellement à des crues très importantes, et en été ou en automne, au moment où seule la pluie contribue à la crue.

Plus spécifiquement, l'étude vise à:

- déterminer le stock de neige maximum au sol au début de la période de fonte, ainsi que la date d'amorce de la fonte intensive;

- calculer la variation saisonnière de la valeur modale des pluies maximales de vingt-quatre heures;
- établir les régimes thermiques maximums probables au printemps (1er mars au 15 juin);
- définir les conditions météorologiques (températures et pluies) permettant le mûrissement du stock de neige de même que les conditions météorologiques critiques (températures et pluies) conduisant directement à la crue maximale probable de printemps.
- définir les conditions météorologiques antérieures à l'impulsion de pluie et l'impulsion elle-même, à l'origine de la crue maximale résultant essentiellement de la pluie (crue maximale probable d'été ou d'automne).

3. DESCRIPTION SOMMAIRE DU BASSIN

Dans un rapport préparé dans le cadre des études en vue de l'aménagement de la rivière Sainte-Anne-du-Nord, Rolland (1978) présente une brève description du bassin qui sied particulièrement à nos besoins. La description qui suit s'inspirera donc très largement de celle de Rolland (1978), en reprenant plusieurs extraits intégralement.

La rivière Sainte-Anne-du-Nord est située au nord-est de Québec (figure 1). Elle coule en direction nord-sud sur une distance de 90 km jusqu'à son confluent avec le Saint-Laurent à Beaupré. La pente est assez prononcée, la dénivellation totale étant de 792 m.

La superficie totale drainée par la rivière est de 1078 km² dont 523 km² au site du réservoir inférieur.

Le bassin versant se situe sur la bordure orientale des premiers con-

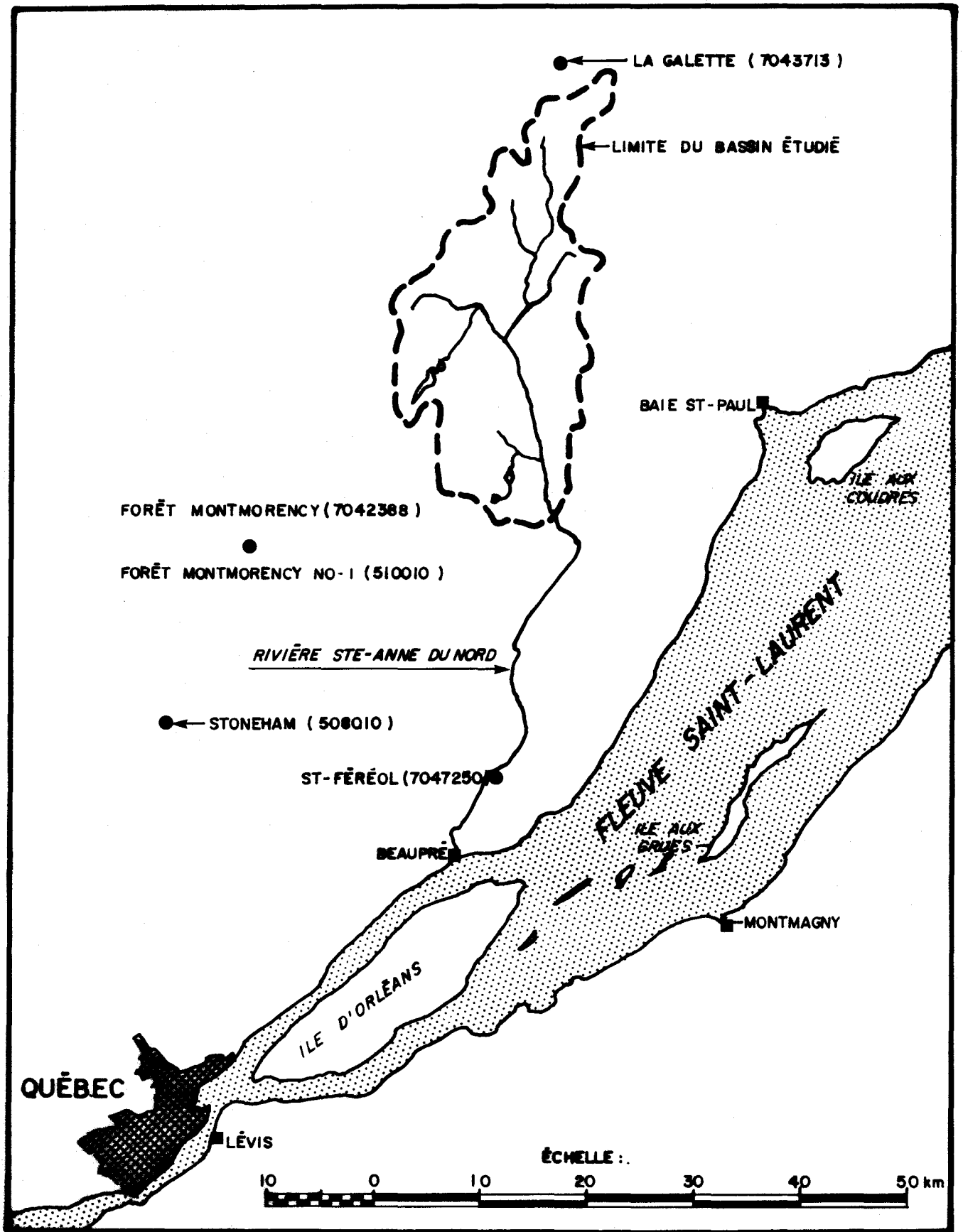


Figure 1 . Situation géographique du bassin étudié sur la rivière Sainte-Anne du Nord et des stations météorologiques .

treforts des Laurentides. Son relief est montagneux et particulièrement accidenté dans la partie centrale où les vallées aux flancs souvent escarpés sont profondes et encaissées. De nombreux lacs prennent naissance sur les hauteurs.

C'est dans cette région que se situe le Lac Louis (réservoir supérieur de l'aménagement) à une altitude d'environ 853 m. Ses eaux alimentent le ruisseau Davey qui se précipite dans la rivière Sainte-Anne-du-Nord suivant une pente de 7.1%.

Les sommets environnants atteignent et dépassent même les 1000 m; le mont Raoul Blanchard, le plus haut sommet des Laurentides, culmine avec ses 1165 m.

Enfin, la dénivellation entre les réservoirs supérieur (lac Louis) et inférieur serait d'environ 370 m, puisque ces derniers devraient fluctuer respectivement entre 870-896 m et 500-523 m, d'après les études préliminaires citées par Rolland (1978).

4. DONNEES METEOROLOGIQUES UTILISEES

Au chapitre du réseau climatologique régional, Rolland (1978) retient 30 stations, dont certaines aussi loin du site que Donnacona. Aucune de ces stations n'est située sur le bassin, mais par ailleurs, le bassin est relativement bien entouré. Compte tenu des objectifs de l'étude, de la disponibilité des données sur support informatique, de la longueur des séries, de leur homogénéité et aussi de l'éloignement et de l'altitude des stations par rapport au bassin, uniquement les données des stations présentées au tableau 1 et sur la figure 1 ont été analysées:

Tableau 1 Stations climatologiques utilisées dans l'étude

Nom de la station	No d'identification	Coordonnées géographiques lat. nord, long. ouest degrés et minutes	Altitude en mètres	Années utilisées	Variables climatologiques analysées
La Galette	7043713	47 44 70 44	741	1963-69	Chutes de neige Chutes de pluie
Saint-Féréol	7047250	47 07 70 50	229	1963-69 1916-69	Chutes de neige Températures
Forêt Montmorency	7042388	47 19 71 09	640	1965-75	Chutes de neige Chutes de pluie
Stoneham	508010	47 12 71 14	640	1956-77	Epaisseur et densité de la neige au sol
Forêt Montmorency No-1	510010	47 18 71 11	800	1965-77	Epaisseur et densité de la neige au sol

5. DETERMINATION DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES EXCEPTIONNELLES SUR LE BASSIN DE LA RIVIERE SAINTE-ANNE-DU-NORD

Les méthodes de calcul utilisées sont classiques. Elles ont été bien expliquées dans la littérature, aussi seulement un bref rappel des grandes lignes de ces méthodes sera présenté dans le cadre de ce rapport. Pour de plus amples renseignements, le lecteur pourra consulter les publications de Bruce (1969) et Gagnon *et al.*, (1970) Ces deux publications présentent des données québécoises avec lesquelles des comparaisons seront faites à l'occasion.

5.1 Détermination de l'équivalent en eau du stock de neige maximum au sol

Des données portant sur les chutes de neige et la neige au sol existant dans la région étudiée, ces deux types de renseignements sur la variation dans le temps du manteau nival seront intégrés de manière à déterminer la variation temporelle de l'équivalent en eau de l'épaisseur maximisée de neige au sol. La date d'amorce de la fonte intensive pourra être déduite de ces données.

5.1.1 Chute de neige annuelle maximale

La chute de neige annuelle maximale possible dans une région donnée peut être estimée à l'aide de la méthode des "saisons synthétiques". Pour ce faire, à partir de la série des données disponibles sur les chutes de neige à une station particulière, on détermine la chute de neige totale annuelle maximale observée. Cette valeur sert par la suite de référence. Une fois cette valeur déterminée, on divise arbitrairement la saison hivernale (par exemple, du début de septembre de l'année N à la fin de juin de l'année N + 1) en périodes plus courtes, commençant toutes à la même date à chaque année. Supposons une division en fonction des mois. Chaque saison hivernale est alors divisée en 10 totaux mensuels. Une saison hivernale est alors

"synthétisée" en recherchant d'abord pour toutes les années documentées le mois de septembre qui a fourni la plus forte chute de neige et ainsi de suite pour les neuf (9) autres mois. La somme de ces valeurs mensuelles, quelle que soit leur année d'occurrence, détermine une première saison synthétique basée sur des totaux mensuels. Le même procédé est répété pour des périodes concourantes de plus en plus courtes allant, par exemple, jusqu'à deux (2) jours. Ces différents totaux sont alors portés sur un graphique sous forme de pourcentage de la plus forte chute de neige annuelle observée (figure 2).

D'autre part, l'étude de la fréquence des chutes de neige pour les années où les chutes de neige observées ont été les plus abondantes, permet de déterminer le temps moyen entre deux chutes de neige consécutives. Le pourcentage correspondant à ce temps moyen est retenu comme étant celui par lequel il faut multiplier les chutes de neige maximales observées pour obtenir la chute de neige maximisée par la méthode des saisons synthétiques.

Dans le cas de la rivière Sainte-Anne-du-Nord, les chutes de neige journalières ont été observées depuis 1915 à la station climatologique Saint-Féréol (7047250), station située au sud de la partie du bassin étudiée et à une altitude inférieure. Sa situation géographique et surtout la longue série de données disponibles en font un choix intéressant. Une cassure ayant été observée dans les précipitations liquides en 1969 (Jacques, 1978) et aucun renseignement supplémentaire n'étant disponible sur les précipitations solides, l'analyse initiale a donc porté sur la période 1915-1969.

Le cumul des chutes de neige pour chaque saison hivernale a permis de découvrir l'hiver où la chute de neige a été la plus abondante, soit celui de 1927-1928 avec 238.9 pouces.

D'autre part, l'étude des trois saisons hivernales les plus neigeuses a permis de constater que le nombre de jours moyen entre

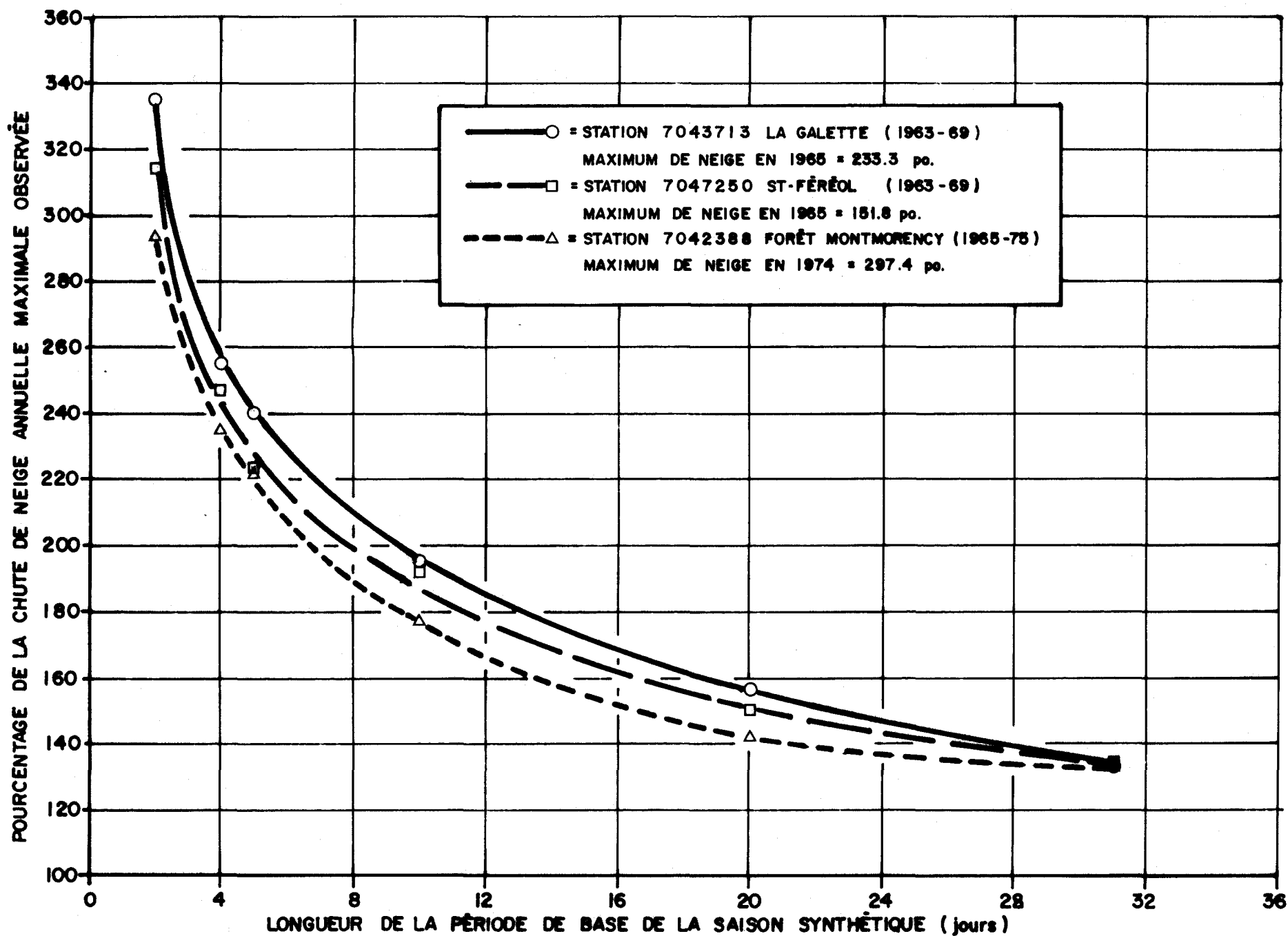


Figure 2 . Hauteur relative de la chute de neige maximisée par la méthode de la saison synthétique .

chaque tempête au cours de ces hivers, était respectivement de 4.5, 4.4 et 5.5 (tableau 2). Un nombre moyen de quatre (4) jours entre chaque tempête a donc été retenu, pour fins d'estimation du pourcentage de maximisation utilisé plus loin. Cet intervalle entre chaque chute de neige est le même que celui retenu par Bruce (1969) pour les complexes Manicouagan et Outardes. Gagnon **et al.**, (1970) obtiennent sept (7) jours sur les bassins de la Chaudière et de la Saint-François. Une intervalle de quatre (4) jours peut donc être considérée comme sécuritaire.

Sur la base de cette même série de données, des saisons synthétiques correspondant à divers intervalles de cumuls ont été calculées et exprimées en pourcentage de la plus forte chute de neige observée, soit celle de 1927-1928. Les pourcentages obtenus sont beaucoup plus grands que ceux présentés par Bruce (1969) et Gagnon **et al.**, (1970). Ainsi, la saison synthétique correspondant à un intervalle moyen de quatre (4) jours entre chaque tempête donne 325% de la chute maximale observée de 238.9 pouces, soit une épaisseur de 776.4 pouces de neige. Pour un même intervalle de temps, Bruce (1969) trouve 200% et Gagnon **et al.**, (1970) 250%. Notons immédiatement que, compte tenu du mode de calcul retenu ici, seul le pourcentage obtenu avec un intervalle de temps de quatre (4) jours est important.

Suite à ces constatations, la reprise de l'étude pour des séries plus courtes aux stations Saint-Féréol (7047250), la Galette (7043713) et Forêt Montmorency (7042388) a fourni les courbes présentées à la figure 2. Il est facile de constater que ces trois courbes sont voisines. Pour un intervalle de temps de quatre jours, les pourcentages varient entre 234% à la Forêt Montmorency et 255% à la Galette, alors qu'à Saint-Féréol, ce pourcentage est de 247%.

Tableau 2 Nombre de jours moyen entre chaque chute de neige

	SAISON HIVERNALE		
	1927-1928	1938-1939	1942-1943
Début de la saison	11 nov. 1927	17 nov. 1938	9 nov. 1942
Fin de la saison	30 avril 1928	14 avril 1939	3 mai 1943
Nombre total de jours	172	149	176
Nombre de dépressions	38	34	32
Nombre de jours moyen entre chaque dépression	4.5	4.4	5.5
Chute de neige totale (po)	238.9	192.6	206.0

Un pourcentage de 250% a été retenu pour les calculs ultérieurs.

Notons que ce pourcentage, par rapport à la plus forte chute de neige observée aux stations, correspond à 380 pouces (série 1963-1969) ou 597 pouces (série 1915-1969) à Saint-Féréol, 583 pouces à la Galette et 743 pouces à la Forêt Montmorency. A titre de comparaison, on peut déduire 547 pouces pour la Côte Nord, des données fournies par Bruce (1969). La chute de neige moyenne annuelle dans chacune de ces régions, d'après l'Atlas hydrologique du Canada (Pêches et Environnement Canada, 1978) et l'atlas climatologique du Québec (Houde, 1978) varie de 160 à 200 pouces.

5.1.2 Variation saisonnière de l'épaisseur maximisée de neige au sol

La mesure des chutes de neige au sol ne permet pas de connaître de façon précise l'équivalent en eau du stock de neige au sol. En pratique, on estime que, statistiquement, l'équivalent en eau d'une chute de neige représente en moyenne, dans l'est du Canada, 10% de l'épaisseur mesurée. Ainsi, les 597 pouces de neige estimés à Saint-Féréol ou les 743 pouces de la Forêt Montmorency correspondent respectivement à 59.7 et 74.3 pouces d'équivalent en eau de la neige au sol. Il existe toutefois un réseau de relevés nivométriques fournissant non seulement l'épaisseur de neige au sol (variable qui n'est pas le simple cumul des chutes de neige) mais aussi la densité et l'équivalent en eau du stock de neige.

Les stations Forêt Montmorency No-1 (510010) et Stoneham (508010), situées à l'ouest du bassin à des altitudes respectives de 800 et 640 m., semblent assez représentatives de ce qui se passe sur le bassin de la rivière Sainte-Anne-du-Nord, en amont du réservoir inférieur. Elles ont donc été retenues pour étude. Tel qu'indiqué au tableau 1, la station Stoneham compte des relevés depuis 1956, tandis

que ceux-ci ont commencé en 1965 à la Forêt Montmorency.

Pour chacune de ces stations, les épaisseurs de neige observées à diverses dates ont d'abord été pointées sur un même graphique, pour toutes les années où des observations avaient été réalisées. Les courbes présentées à la figure 3 sont les enveloppes tracées par rapport à ces points, de sorte qu'à une date déterminée, il n'existe pas de valeur observée plus élevée que la valeur indiquée par la courbe.

L'observation des courbes de la figure 3 indique que le stock de neige augmente régulièrement jusqu'au début d'avril, puis la décroissance se fait de plus en plus rapide pour se terminer à la fin de mai. L'épaisseur maximale atteinte à Stoneham est de 71.2 pouces le 95ième jour de l'année, tandis qu'à la Forêt Montmorency le maximum est de 86.4 pouces le 92ième jour. A la Forêt Montmorency, la fonte se termine quelques jours après Stoneham.

La multiplication de ces courbes par 2.5, facteur correspondant au pourcentage de 250% déterminé en 5.1.1, permet d'obtenir la variation saisonnière de l'épaisseur maximisée de neige au sol aux stations Forêt Montmorency et Stoneham (figure 4). L'épaisseur maximale estimée au sol atteint alors 216 pouces à la Forêt Montmorency et 178 pouces à Stoneham.

5.1.3 Variation saisonnière de la densité du stock de neige au sol

Les densités observées aux mêmes stations qu'en 5.1.2, Forêt Montmorency No-1 (510010) et Stoneham (508010), ont d'abord été portées sur un même graphique (un par station) en fonction de la date d'observation, quelle que soit l'année. Comme précédemment, les courbes présentées à la figure 5 sont les enveloppes respectives des densités observées aux deux stations et représentent donc les densités maximales observées à une date donnée. Il est facile de constater que

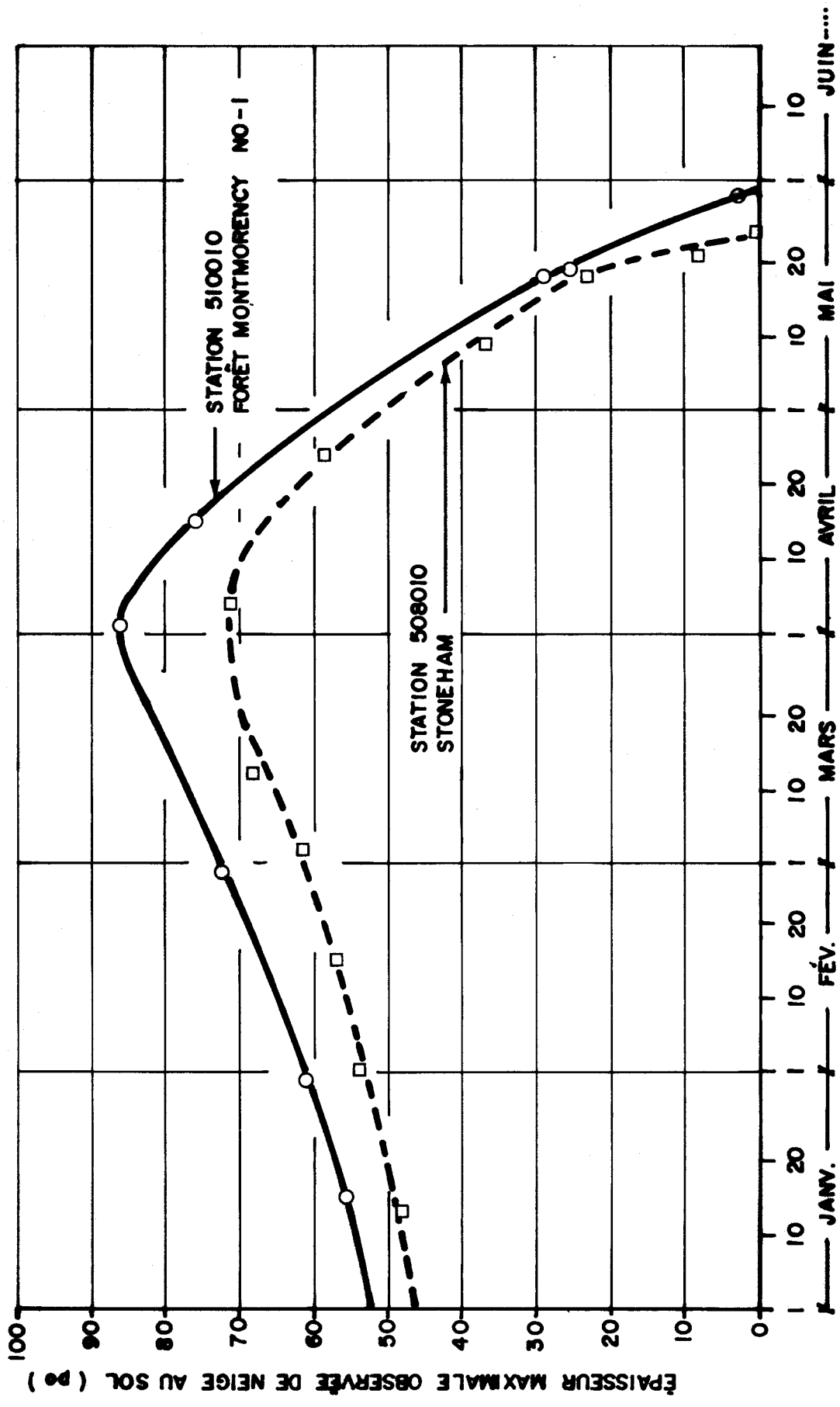


Figure 3 . Variation saisonnière de l'épaisseur maximale observée de neige au sol (courbe enveloppe) .

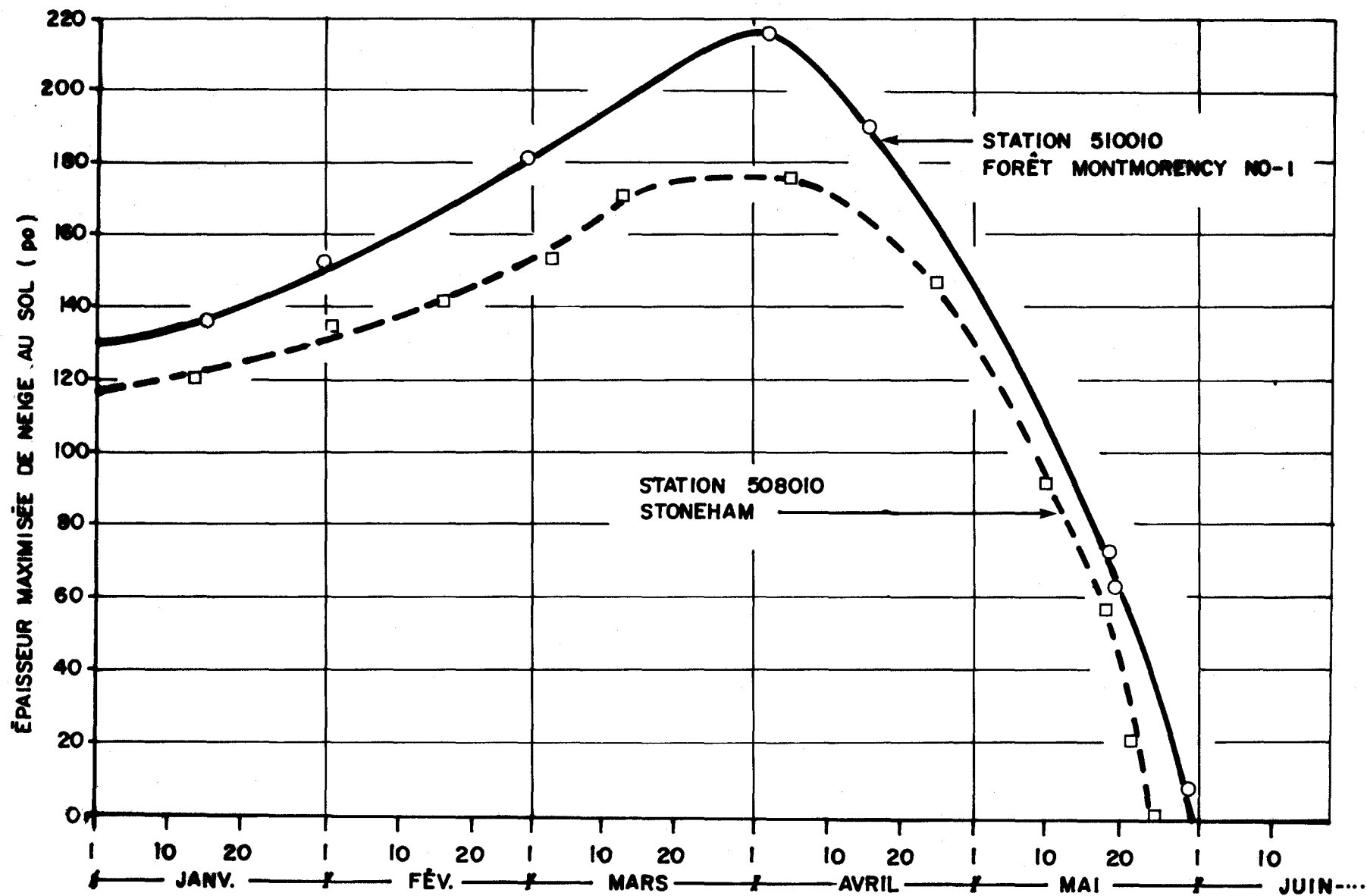


Figure 4 . Variation saisonnière de l'épaisseur maximisée de neige au sol .

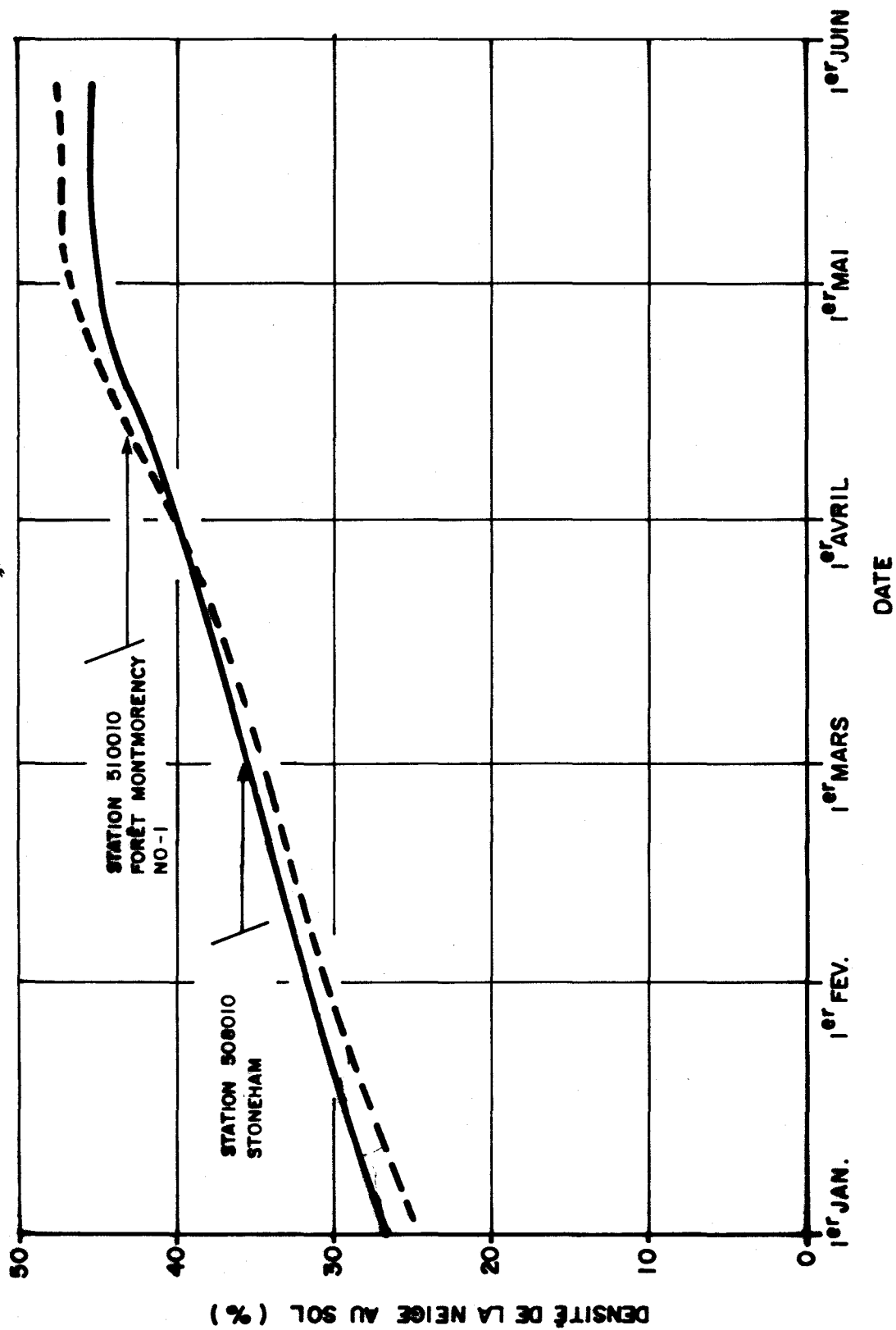


Figure 5 . Variation saisonnière de la densité de la neige au sol (courbe enveloppe) .

ces courbes sont pratiquement identiques, démarrant à une densité d'environ 25% au début de janvier pour augmenter de façon pratiquement linéaire jusqu'au début d'avril. A partir de cette date la densité augmente un peu plus rapidement et atteint un palier d'environ 45% au début de mai.

5.1.4 Variation saisonnière de l'équivalent en eau de l'épaisseur maximisée de neige au sol

La variation saisonnière de l'équivalent en eau de l'épaisseur maximisée de neige au sol est obtenue simplement en multipliant les épaisseurs maximisées (figure 4) à une date déterminée par les densités correspondantes (figure 5). Les courbes ont même allure que celles des figures 3 et 4. L'équivalent en eau maximal atteint à la Forêt Montmorency est de 88.1 pouces alors qu'une valeur de 71.3 pouces est estimée à Stoneham (figure 6). Bruce (1969) estime des valeurs de l'ordre de 60 pouces pour la Côte Nord. Notons que si le pourcentage de 325% estimé initialement avait été conservé, l'équivalent en eau serait passé à 92 pouces à Stoneham et 114.5 pouces à la Forêt Montmorency, des valeurs pour le moins élevées.

L'équivalent en eau estimé à Stoneham apparaît donc comme amplement élevé pour les calculs de la crue maximale probable de printemps et la courbe représentant la variation saisonnière de l'équivalent en eau de l'épaisseur maximisée de neige au sol à la station Stoneham (508010) est retenue comme représentative des conditions prévalant sur le bassin étudié.

5.2 Pluies maximales probables

La préparation de familles de courbes hauteur-surface-durée pour une région donnée demande de procéder initialement à l'analyse des orages majeurs ayant affecté cette région au cours des années documentées. Les courbes hauteur-surface-durée observées correspondant à chacun de ces

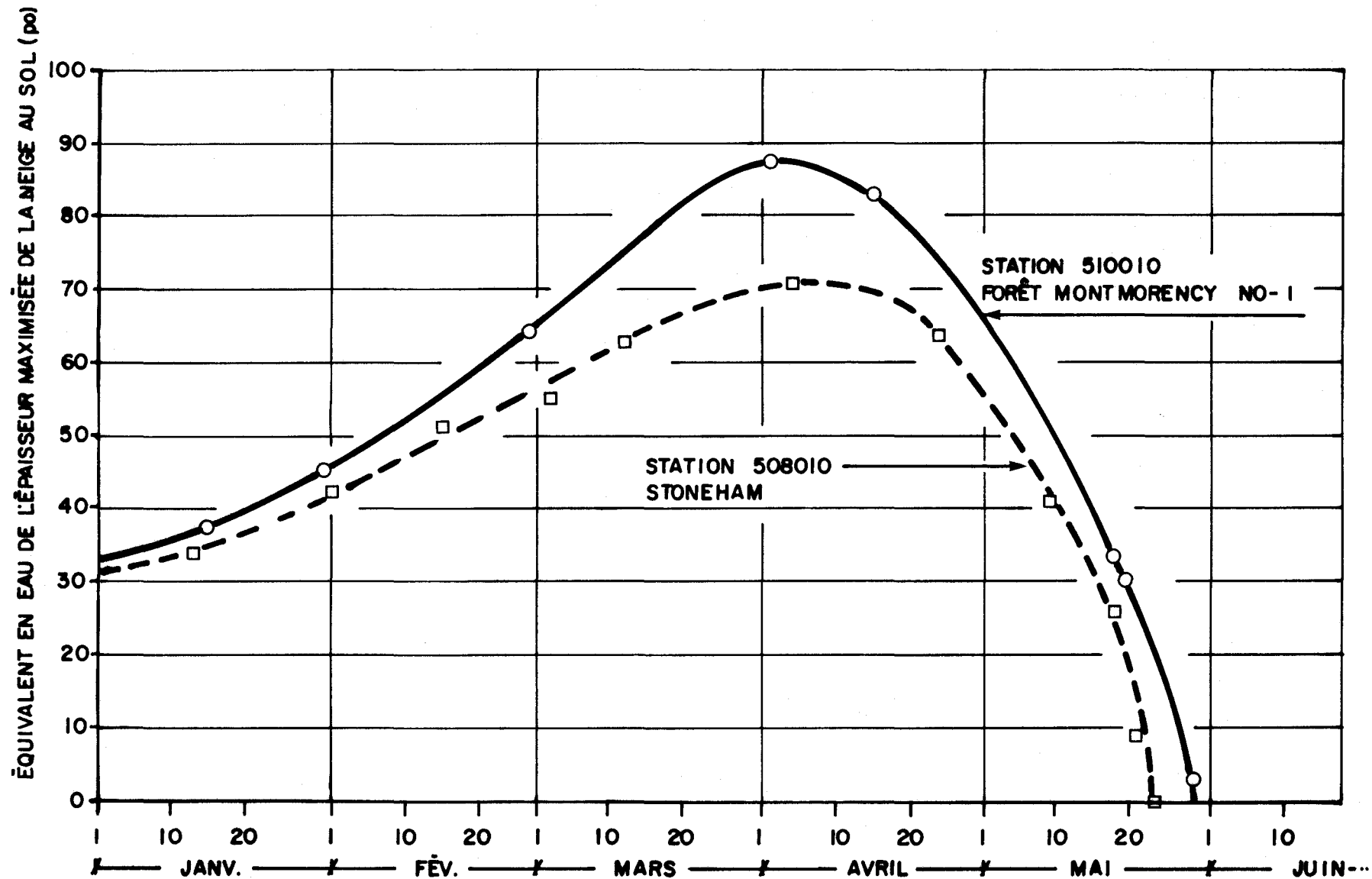


Figure 6 .Variation saisonnière de l'équivalent en eau de l'épaisseur maximisée de la neige au sol .

orages peuvent alors être intégrées de manière à produire une synthèse pour une région donnée, d'étendue assez importante (superficie supérieure à 5000 milles carrés).

Dans le cadre d'une étude visant à estimer la crue maximale probable, il devient nécessaire de maximiser les orages, c'est-à-dire de déterminer les hauteurs de pluie maximales qu'auraient pu laisser les orages si leur contenu en eau et leur efficacité avaient été plus grands. En pratique, d'après Gagnon **et al.**, (1970), on multiplie les hauteurs de chutes de pluie mesurées lors de chaque averse par un facteur maximisant dont le calcul repose uniquement sur le contenu en humidité de la masse d'air. Ce facteur est l'inverse du rapport du contenu en humidité de la masse d'air où se produit l'averse au contenu maximal physiquement possible pour le même endroit et pour l'époque de l'année à laquelle se produit l'averse". Gagnon **et al.**, (1970) expliquent plus en détail comment ces calculs sont faits. D'autre part, une description encore plus complète du mode de calcul est présentée dans le rapport No 237 de l'OMM.

Les orages ayant servi à Gagnon **et al.**, (1970) pour construire les courbes hauteur-surface-durée des pluies maximales possibles pour les bassins des rivières Chaudière et Saint-François, couvrant également le bassin de la rivière Sainte-Anne-du-Nord, les courbes construites par Gagnon **et al.**, (1970) ont été acceptées telles quelles (figure 7). Ces courbes ont été estimées pour des durées allant de 6 à 108 heures depuis le début de l'averse. Le tableau 3 présente les hauteurs de pluie cumulée après un nombre d'heure donné, pour un bassin de 523 km² (ou 202 mi.car.). On verra plus loin comment ces valeurs ont été réparties par périodes de 1, 6, 12 et 24 heures et intégrées à des séquences de conditions météorologiques observées.

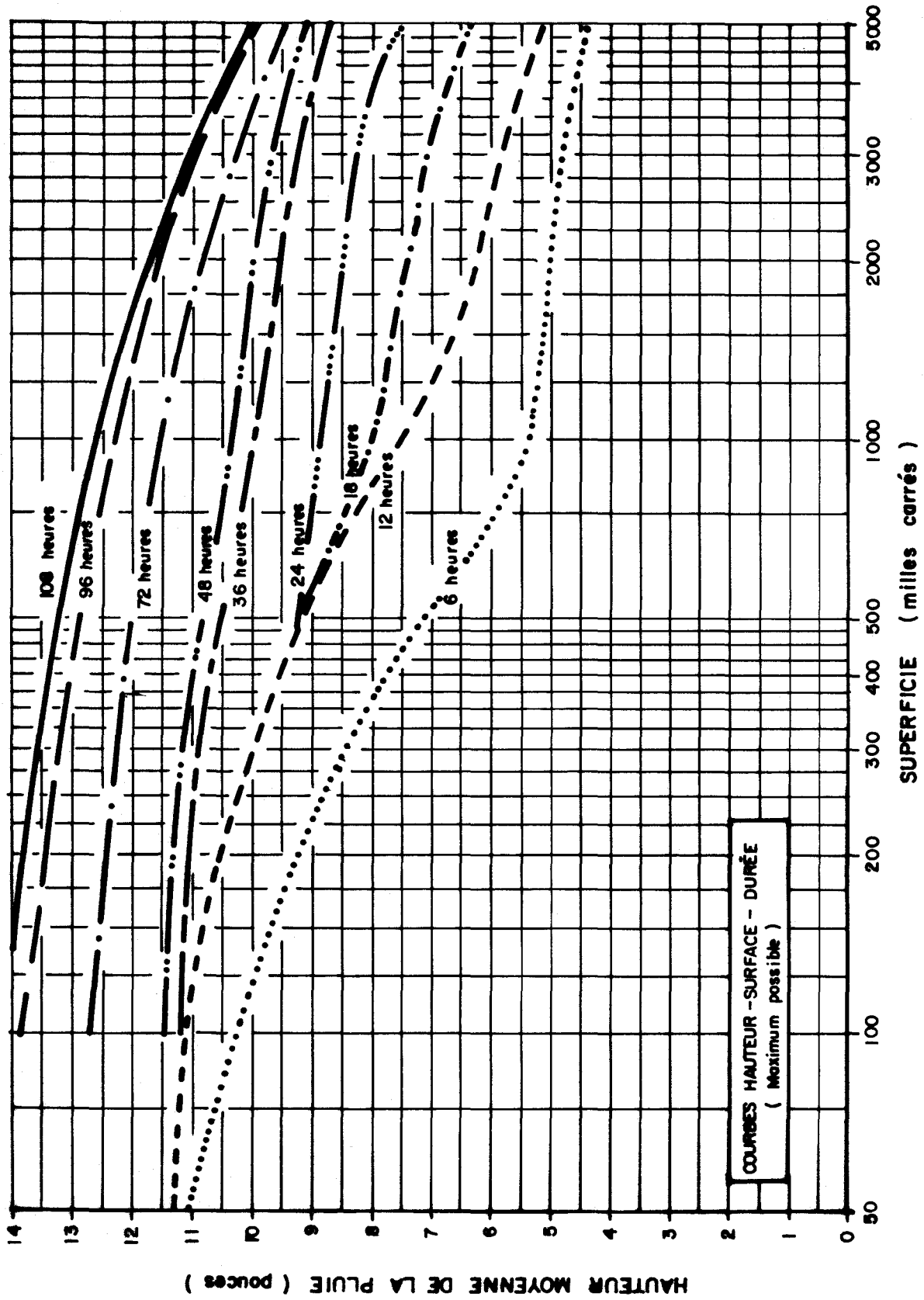


Figure 7 . Courbes hauteur - surface - durée (tirées de Gagnon , 1970) .

Tableau 3 Pluie cumulée en fonction du temps

DUREE (heures)	HAUTEUR (pouces)
6	9.20
12	10.50
18	10.50
24	10.50
36	11.08
48	11.30
72	12.40
96	13.45
108	13.80

5.3 Variation saisonnière de la valeur modale des pluies de 24 heures

Compte tenu de la saison, les systèmes météorologiques dont les trajectoires survolent le Québec n'ont pas tous la même force et la même humidité. Il s'en suit que les pluies maximales possibles varient tout au cours de l'année, atteignant un maximum en été et en minimum en hiver. Il importe donc de pondérer les pluies maximales possibles obtenues à partir de familles de courbes intensité - surface - durée, si les orages utilisés pour bâtir ces courbes n'ont pas eu lieu à la saison étudiée. Pour ce faire, le facteur de pondération peut être exprimé en fonction de la variation saisonnière de la valeur modale de la pluie maximale de 24 heures ou plus précisément être égal au rapport entre la valeur modale à la date désirée et la valeur modale maximale du cycle annuel. Les pluies journalières observées aux stations Forêt Montmorency (7042388) et la Galette (7043713) ont été utilisées pour effectuer ces calculs.

Suivant en cela la suggestion de Gagnon (1970), "pour chacun des mois d'une année, la valeur de la pluie maximale observée a été comparée à celles du mois précédent et du mois suivant et (...) c'est la valeur maximale de trois mois qu'à été retenue comme valeur du mois pour les calculs". La figure 8 présente donc la variation annuelle relative de la valeur modale des pluies maximales de 24 heures aux stations indiquées plus haut. Les courbes obtenues ont sensiblement la même allure que la courbe moyenne présentée par Gagnon **et al.**, (1970) mais leur amplitude est plus grande. Les valeurs minimales sont de l'ordre de 10 à 20% alors que Gagnon **et al.**, (1970) estimaient environ 35% pour les bassins de la Chaudière et de la Saint-François.

Sur la base de ces courbes, un facteur de correction de 0.97 est retenu pour les pluies maximales d'été et du début de l'automne. Le facteur de correction est égal à 0.7 pour les pluies se produisant à la fin du mois de mai.

5.4 TEMPERATURES MAXIMALES EXCEPTIONNELLES POUR DIFFERENTES DONNEES

La fonte rapide de la neige au printemps, à laquelle est liée la crue maximale probable, dépend de la quantité d'énergie disponible à un instant donné. Cette énergie peut être estimée à l'aide d'équations plus ou moins complexes utilisant différentes variables météorologiques. Dans le cas présent, uniquement les températures maximales exceptionnelles pendant la période de fonte intensive sont requises.

L'estimation de la séquence de températures critiques demande que l'on calcule les températures maximales exceptionnelles valables pour différentes durées. En d'autres termes, il s'agit de déterminer quelle est la température maximale possible pour n jours consécutifs, n variant de 1 à 30 jours par exemple, pendant la période cruciale pour la fonte de neige intensive. Ces valeurs peuvent être obtenues en traçant les courbes enveloppes respectives des températures maximales observées pour des durées de

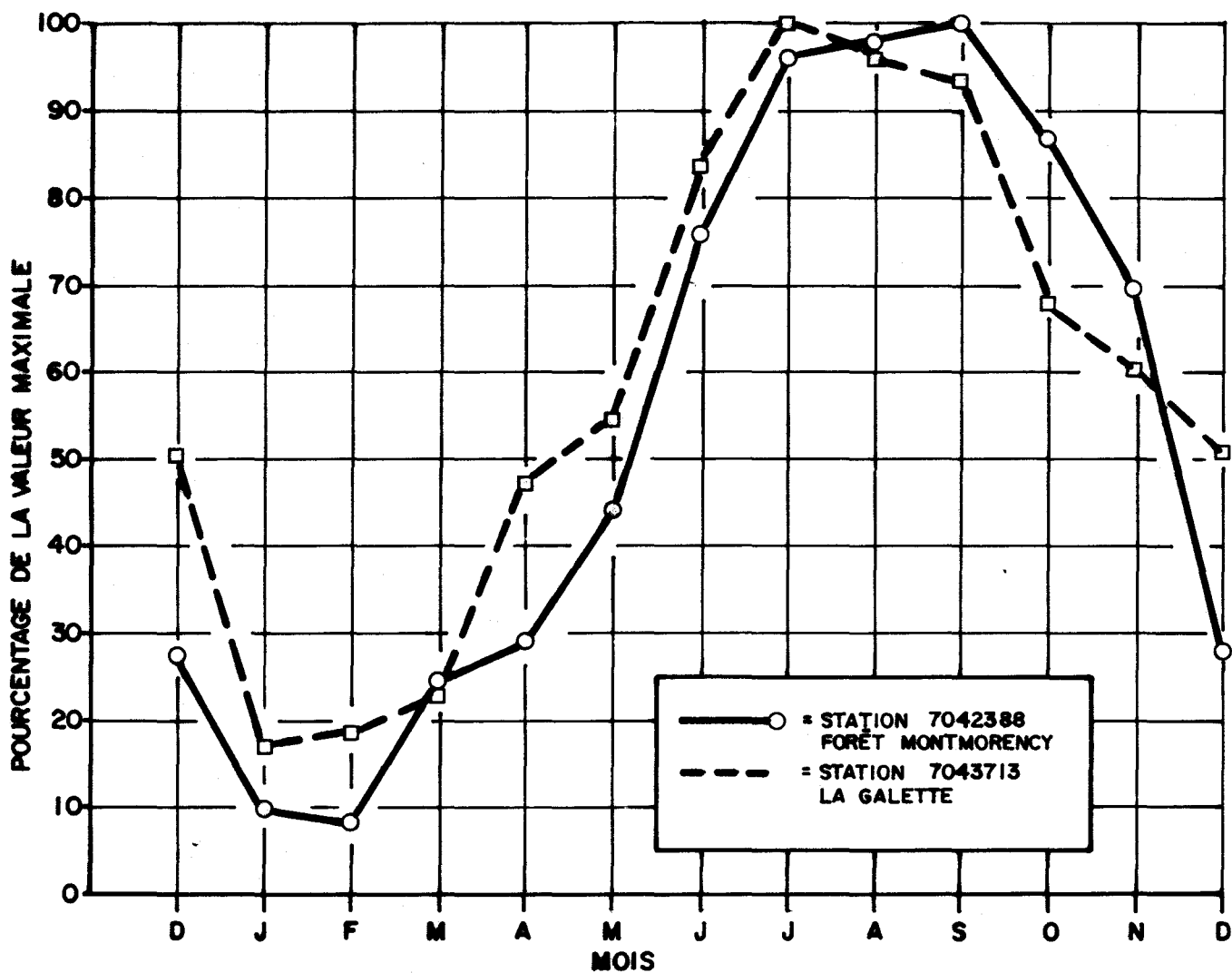


Figure 8 .Variation annuelle relative de la valeur modale des pluies maximales de 24 heures .

n jours consécutifs. On peut douter que ces valeurs représentent vraiment des maxima possibles, mais Bruce (1969) et Gagnon *et al.*, (1970) font remarquer que l'expérience passée suggère au contraire que cette méthode permet d'approcher les valeurs désirées de façon asymptotique. Ceci est possible, selon Bruce (1969), parce que les caractéristiques de la région d'où provient la masse d'air la plus chaude qui puisse affecter une région donnée à une époque particulière de l'année, imposent une limite supérieure physique aux températures atteintes dans cette masse d'air. Il apparaît donc qu'une série d'observations comptant de 30 à 50 ans de données soit suffisamment longue pour fournir la limite supérieure des températures qui peuvent se produire au cours de la période de fonte. C'est la méthode adoptée ici.

Tel qu'indiqué au tableau 1, 54 années de température enregistrée à la station Saint-Féréol 7047250, soit de 1916 à 1969, ont été utilisées pour déterminer les courbes enveloppes de températures maximales moyennes exceptionnelles pour différentes durées allant de 1 à 30 jours consécutifs. La figure 9 présente ces résultats. Notons que la température correspondant à une date donnée doit être interprétée comme étant la température maximale moyenne pour une durée de n jours consécutifs finissant à cette date.

A quelques degrés près, la courbe des températures maximales pour une durée d'une seule journée s'accorde avec celle présentée par Gagnon *et al.*, (1970) pour les bassins de la Chaudière et de la Saint-François. Ces deux courbes indiquent, par exemple, des températures maximales exceptionnelles de l'ordre de 90°F pour la fin du mois de mai.

Si l'on note de plus que le niveau moyen du bassin se situe à quelques (1968 pi.) plus haut que celui de la station de référence et que Rolland (1978) évalue à 6.5°C le gradient de température par 1000 mètres de dénivellation (soit 3.57°F/1000 pi.), on constate que les températures observées à Saint-Féréol sont en moyenne de l'ordre de 7°F plus élevées que les températures maximales qui pourraient être observées sur le bassin.

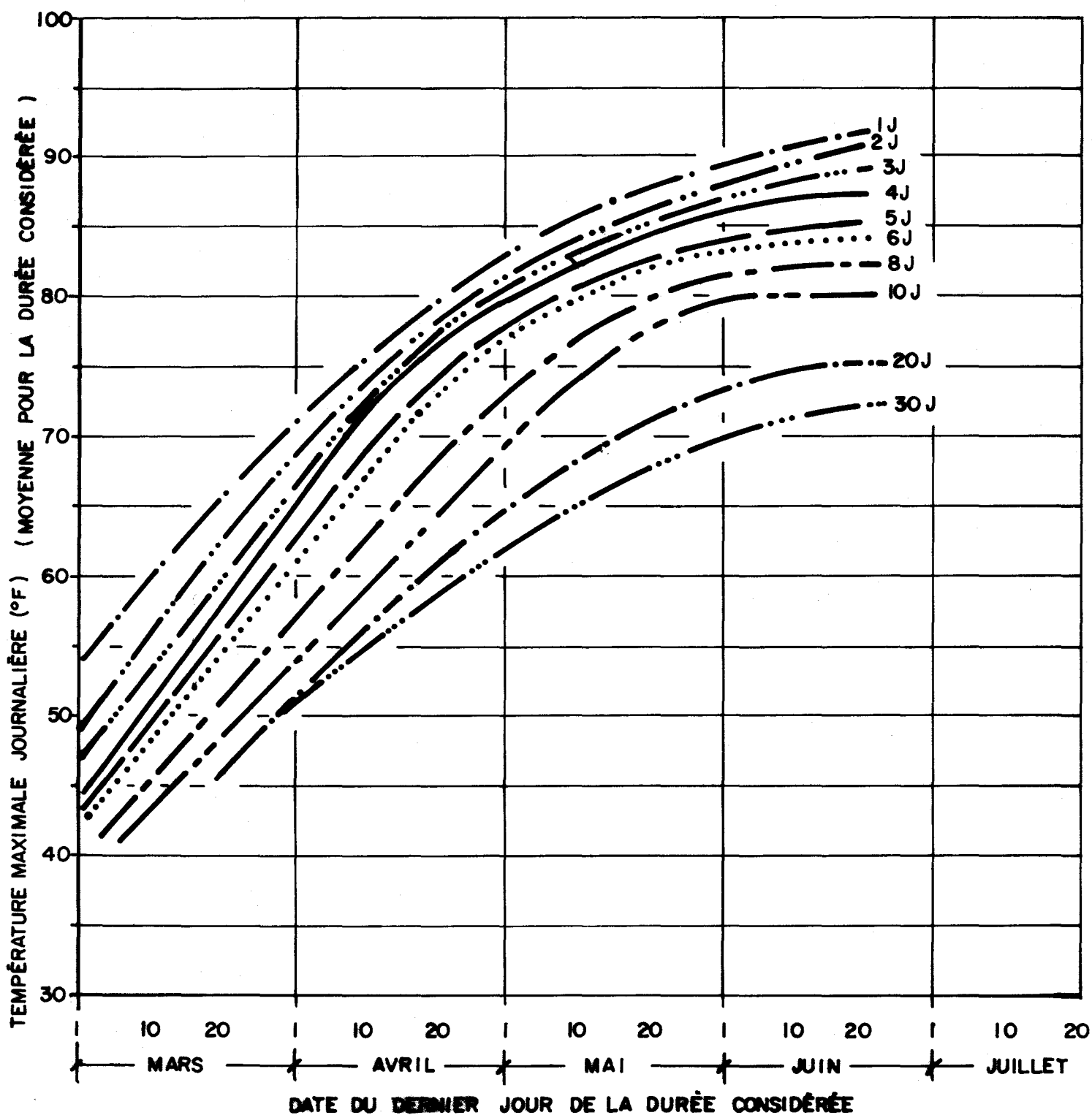


Figure 9. Variation saisonnière des températures maximales journalières.
 (Courbe enveloppe des températures maximales moyennes observées pour différentes durées .

De manière à jouir du facteur de sécurité supplémentaire provenant du gradient de température avec l'altitude, les températures maximales exceptionnelles utilisées pour la fonte intensive sont tirées de la figure 9, sans apporter de correction en fonction de la dénivellation moyenne entre le bassin et la station. Il est toutefois possible, lors de la simulation, de tenir compte du gradient de température, en précisant que les températures fournies correspondent à celles qui seraient observées aux stations utilisées lors du calage du modèle SSARR.

6. CONDITIONS METEOROLOGIQUES EXCEPTIONNELLES POUR LA CRUE MAXIMALE PROBABLE DE PRINTEMPS

La crue maximale probable de printemps se produit lorsque la saison hivernale a laissé au sol un manteau nival record au début de la fonte de printemps, fonte se produisant relativement tard, après un mois d'avril relativement froid. La fonte intensive résultant de températures exceptionnellement élevées est accompagnée de pluies importantes.

Dans le cas de la rivière Sainte-Anne-du-Nord, on doit donc considérer que les diverses tempêtes de neige ont accumulé au cours de l'hiver 1975, 71.3 pouces d'équivalent en eau de neige au sol, le 95e jour de l'année, tel que calculé en 5.1.4. L'année 1975 est prise comme année de base, le stock de neige étant demeuré particulièrement tard au sol au cours du printemps 1975.

A partir du 95e jour de l'année 1975, le stock de neige au sol murit et fond, selon la méthode des degrés-jours employée dans le modèle SSARR, en utilisant les températures maximales journalières observées en avril et mai 1975, et ce jusqu'à la séquence météorologique critique.

Quant à la séquence météorologique critique, elle est d'abord composée de températures maximales respectant les valeurs limites possibles pour n jours consécutifs, présentées à la figure 9. Les précipitations maximales

possibles sont introduites dans la séquence, de manière à tenir compte du fait qu'un jour pluvieux est moins chaud qu'un jour ensoleillé et à reproduire le mieux possible le passage d'une perturbation atmosphérique.

En principe, la séquence météorologique doit être choisie de manière à produire la fonte potentielle la plus élevée possible avec le sol recouvert de neige à 100%. On détermine donc la courbe de fonte potentielle basée sur les températures maximales possibles d'un jour (figure 9). La date à laquelle la fonte potentielle est égale à la hauteur de l'équivalent en eau de la neige au sol (figure 6) vers la fin de la fonte est celle à partir de laquelle la séquence critique doit être construite.

Dans le cas présent, compte tenu du mode de simulation du modèle SSARR, après une première estimation de cette date et quelques simulations préliminaires de la crue maximale probable, par Hydro-Québec, il a été décidé de choisir la crue maximale probable à la suite de quatre simulations utilisant des séquences critiques décalées de trois jours chacune, du 20 au 29 mai. Cette décision repose sur le fait qu'il est de toutes façons préférable de passer à l'ajustement final de la crue maximale probable en réalisant des simulations espacées de quelques jours de manière à déterminer dans quel cas la crue est la plus élevée.

Les séquences météorologiques retenues sont présentées au tableau 4. Compte tenu des faibles différences de températures, qui en résulteraient, les séquences 1 et 2 sont identiques et il en est de même des séquences 3 et 4. Ces séquences s'intègrent aux séquences de l'année 1975 pendant les dates indiquées. Les pluies sont les mêmes dans les quatre cas. Elles proviennent du tableau 3 et ont été distribuées, en respectant les valeurs du tableau 3, de manière à former une courbe de masse réaliste. Elles sont affectées d'un facteur 0.7, tel que précisé en 5.3.

Dans le but de permettre des simulations à un pas de temps plus court que la journée, la pluie journalière la plus importante, soit 7.35 pouces, peut être divisée en périodes de 6 heures de la manière suivante, toujours

Tableau 4 Séquences météorologiques exceptionnelles de printemps

SEQUENCES 1 et 2				SEQUENCES 3 et 4			
Dates de la séquence 1 mai	Dates de la séquence 2 mai	Température maximale °F	Pluie po.	Dates de la séquence 3 mai	Dates de la séquence 4 mai - juin	Température maximale °F	Pluie po.
17	20	71.0	1.23	23	26	73	1.23
18	21	84.0		24	27	85	
19	22	86.0		25	28	87	
20	23	88.0	0.56	26	29	89	0.56
21	24	82.0	7.35	27	30	83	7.35
22	25	77.5	0.77	28	31	76	0.77
23	26	80.5	0.74	29	01	81	0.74
24	27	76.0	0.25	30	02	80	0.25
25	28	78.0		31	03	79	

en respectant le tableau 3.

0-6 h.	=	0 po.
6-12 h.	=	0 po.
12-18 h.	=	0.91 po.
18-24 h.	=	6.44 po.

Un pas de temps plus court, soit 3 heures, étant aussi demandé, les deux dernières périodes ont été réparties subjectivement de manière réaliste en considérant les pluies observées dans la région. Les pluies obtenues sont:

12-15 h.	:	0.45 po.
15-18 h.	:	0.46 po.
18-21 h.	:	5.00 po.
21-24 h.	:	1.44 po.

Les pluies déterminées pour les autres périodes de 24 heures ont une importance secondaire et peuvent être distribuées uniformément pour chaque portion de journée, si un pas de temps plus court est choisi.

7. CONDITIONS METEOROLOGIQUES EXCEPTIONNELLES POUR LA CRUE MAXIMALE PROBABLE D'AUTOMNE

Rolland (1978) considère que les "précipitations moyennes mensuelles à la station de Forêt-Montmorency (période 1965-1972)" semblent représentatives "des conditions pluviométriques de la région". Il ajoute que cette station "ne peut représenter qu'une tendance, car il semble bien que la variabilité dans la distribution spatiale est assez importante". Tel qu'indiqué par Rolland (1978) et par l'étude des données mensuelles dans cette région et particulièrement à la Forêt-Montmorency, l'été est très pluvieux sur le bassin de la rivière Sainte-Anne-du-Nord. Compte tenu que la valeur modale des pluies mensuelles (figure 8) indique un maximum en été et que Rolland (1978) rappelle que "c'est en été toujours que les maximums sont

enregistrés avec un total de 236 mm pour le mois d'août et 64 mm pour une seule journée dans le même mois", la séquence météorologique exceptionnelle conduisant à la crue maximale probable d'automne a été située à la fin du mois d'août.

Cette séquence météorologique doit se produire après une période particulièrement pluvieuse de manière à ce que le sol soit saturé d'eau au moment de l'impulsion pluviométrique.

L'été 1966 a été choisi comme base à la simulation de la crue maximale probable. La série a été légèrement modifiée pour assurer une saturation encore plus grande. Ainsi, les 23, 27 et 29 juillet 1966, une hauteur de pluie égale à 1 pouce a été ajoutée à la pluie journalière observée pour donner une précipitation totale respectivement de 1.24 po., 1.62 po. et 1.04 po. De plus, les cinq (5) jours précédant l'impulsion pluviométrique sont tirés des valeurs observées à partir du 27 août 1967 à la Forêt Montmorency. La séquence pluviométrique exceptionnelle et les pluies antécédentes sont présentées au tableau 5.

La gestion du futur barrage devant se faire à un pas de temps inférieur à la journée, les pluies journalières de la séquence pluviométrique exceptionnelle ont d'abord été distribuées, en collaboration avec Hydro-Québec, selon des pas de temps de 6 et 12 heures (tableau 6), en respectant les valeurs indiquées au tableau 3. Une seconde subdivision en valeurs horaires de la période de 6 heures ayant apporté la pluie la plus intense, soit 8.92 po. a été demandée par Hydro-Québec. Cette subdivision a été réalisée en considérant les pluies de la région et est présentée au tableau 7.

Tableau 5 Séquence pluviométrique exceptionnelle d'été
et pluies antécédentes

Jour août	Pluie po.	Remarque
1	0.28	* Pluies d'août 1966 du 1er au 19 août
2	1.15	
3	0.21	
4	0.10	
5		
6	0.60	
7	0.13	
8		
9	0.93	
10	1.11	
11	0.32	
12		
13		
14	0.05	
15	2.10	* Addition de 1 po. de pluie
16	1.12	
17		* Addition de 1 po. de pluie
18		
19	1.00	* Du 20 au 24: pluies d'août 1966 remplacées par celles d'août 1967 à partir du 27
20	0.03	
21	1.95	
22		
23	2.01	* Séquence pluviométrique exceptionnelle affectée du facteur 0.77
24		
25		
26	0.77	
27	10.19	
28	1.07	
29	1.02	
30	0.34	
31		

Tableau 6 Distribution de la séquence pluviométrique exceptionnelle à des pas de temps de 6,12 et 24 heures.

Jour	Heure		Pluie au pas de temps de		
	depuis le début	pour chaque jour	6 h.	12 h.	24 h.
26	0	0			
	6	6	0.10		
	12	12	0.11	0.21	
27	18	18	0.24		
	24	0	0.32	0.56	0.77
	30	6			
28	36	12			
	42	18	1.27		
	48	0	8.92	10.19	10.19
	54	6	0.44		
	60	12	0.24	0.68	
29	66	18	0.21		
	72	0	0.18	0.39	1.07
	78	6	0.17		
	84	12	0.22	0.39	
30	90	18	0.28		
	96	0	0.35	0.63	1.02
	102	6	0.21		
	108	12	0.13	0.34	
31	114	18			
	120	0			

Tableau 7 Distribution de la hauteur de pluie cumulée pour les 6 heures se terminant le 28 août à 0 heure, selon un pas de temps de 1 heure.

Date en août	heure	pluie po.
27	19	0.50
	20	0.50
	21	1.00
	22	4.00
	23	2.00
28	0	0.92

Comme au printemps, les pluies des autres périodes sont d'importance secondaire à de courts pas de temps et peuvent être subdivisées en valeurs égales.

CONCLUSION

Suite aux divers calculs effectués au cours de cette étude, il apparaît que les résultats obtenus concordent avec ceux de Bruce (1969) et Gagnon **et al.**, (1970), surtout lorsque ces résultats sont analysés en fonction des différences climatologiques existant entre les sites d'étude. Il semble donc que les résultats fournis constituent une base réaliste pour des simulations en vue de calculer la crue maximale probable de printemps ou d'automne. Rappelons en terminant que, selon Gagnon **et al.**, (1970), il est fort possible que la crue d'automne soit plus élevée que la crue de printemps, compte tenu des faibles dimensions du bassin.

BIBLIOGRAPHIE

- ROLLAND, R. (1978).
Sainte-Anne-du-Nord. Le climat dans la région du lac Louis. Direction
projets de centrales, Service hydraulique, Division hydrologie, Hydro-
Québec, 43 p.
- BRUCE, J.P. (1969).
Estimation of Maximum Floods. WMO - Report, No. 233, TP. 126, 288 p.
- GAGNON, R.M., D.M. POLLOCK et D.M. SPARROW. (1970).
Conditions météorologiques critiques et crues exceptionnelles des rivières
Chaudière et Saint-François. Ministère des Richesses naturelles du Québec,
Publ., M.P. 29, 121 p.
- JACQUES, G. (1978).
Etude de l'homogénéité de la précipitation sous forme de pluie. Service de
la météorologie, Ministère des Richesses naturelles du Québec. Rapport
interne, 1 annexe, 16 p.
- PECHES ET ENVIRONNEMENT CANADA. (1978).
Atlas hydrologique du Canada, 34 cartes.
- HOUDE, A. (1978).
Atlas climatologique du Québec. Service de la météorologie, Ministère des
Richesses naturelles du Québec. Rapport M-36, 42 planches.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION. (1969).
Manual for depth-area-duration analysis of storm precipitation. WMO,
report No. 237, TP. 129, 114 p.