

Record Number: 400
Author, Monographic: Villeneuve, J. P.//Bobée, B.//Charbonneau, R.//Fortin, J. P.//Leclerc, M.//Vabre, P.
Author Role:
Title, Monographic: Simulation des hydrogrammes de crues de la Grande Rivière
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1975
Original Publication Date:
Volume Identification:
Extent of Work: 134
Packaging Method: pages, 5 annexes
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche
Series Volume ID: 40
Location/URL:
ISBN: 2-89146-045-6
Notes: Rapport annuel 1975-1976
Abstract: Rapport rédigé pour la Société d'énergie de la Baie-James
25.00\$
Call Number: R000040
Keywords: rapport/ ok/ dl

Simulation des hydrogrammes de
crues de la Grande Rivière

INRS-Eau
UNIVERSITE DU QUEBEC
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 40
1975

Rapport rédigé pour
la Société d'énergie de la baie James

par

J.P. Villeneuve, B. Bobée, R. Charbonneau, J.P. Fortin,
M. Leclerc, P. Vabre

ISBN 2-89146-045-6

DEPOT LEGAL 1975

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés

© 1975 - Institut national de la recherche scientifique

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
INTRODUCTION	1
1. DESCRIPTION DU BASSIN DE LA RIVIERE LA GRANDE	4
2. ETUDE STATISTIQUE DES DEBITS DE CRUE	6
2.1 Introduction	6
2.2 Calculs préliminaires	6
2.3 Ajustement de la distribution Gamma	7
2.4 Ajustement de la distribution Pearson type III	8
2.5 Ajustement de la distribution Log-Pearson type III	9
2.6 Ajustement de la loi de Gumbel	10
2.7 Comparaison des résultats	11
2.8 Conclusion	13
3. LE MODELE DETERMINISTE HCØ 2000	25
3.1 Utilisation des modèles déterministes en hydrologie	25
3.2 Principes généraux du modèle HCØ 2000	26
3.3 Fonction de production	26
3.3.1 Précipitations	29
3.3.2 Température de l'air	29
3.3.3 Fonte des neiges	30
3.3.4 Ruissellement superficiel	32
3.3.5 Evapotranspiration	33

TABLE DES MATIERES (SUITE)

	<u>PAGE</u>
3.3.6 Vidange et recharge de la nappe profonde	34
3.3.7 Production à partir des lacs	35
3.3.8 Zones et parcelles	35
3.4 Fonction de transfert	37
3.4.1 Transfert de zone en amont à zone en aval	38
3.4.2 Etalement de la production sur la zone	39
3.4.3 Restructuration des lacs	41
4. DONNEES	46
4.1 Données disponibles	46
4.1.1 Données physiographiques	46
4.1.2 Données de débits	46
4.1.3 Données météorologiques	47
4.2 Données utilisées pour le calage du modèle	47
4.2.1 Données physiographiques	47
4.2.2 Données de débits	48
4.2.3 Données météorologiques	49
4.2.4 Critique des données utilisées	49
4.3 Calage du modèle	50
4.3.1 Paramètres intervenant dans le modèle CEQUEAU	52
4.3.2 Initialisation des stocks	54
5. ANALYSE DES HYDROGRAMMES DE CALAGE	59
5.1 Calage du modèle	59

TABLE DES MATIERES (SUITE)

	<u>PAGE</u>
5.2 Vérification du calage	61
6. SIMULATION DES CRUES MAXIMALES	89
6.1 Données d'entrée	89
6.1.1 Le printemps	90
6.1.1.1 Choix préliminaire	90
6.1.1.2 Choix définitif	91
6.1.2 L'automne	95
6.2 Simulation de printemps	96
6.2.1 Simulation avec blocage de l'infiltration	97
6.2.2 Simulations avec des stocks de neige plus faibles et blocage de l'infiltration	98
6.3 Simulation d'automne	99
CONCLUSION	131
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	132
ANNEXE A1 Banque générale de données physiographiques et filières d'accès	135
ANNEXE A2 Banques de données physiographiques, hydrométriques et météorologiques utilisées par le modèle	139

TABLE DES MATIERES (SUITE)

		<u>PAGE</u>
ANNEXE A3	Simulations préliminaires	145
ANNEXE A4	Simulations sans blocage de l'infiltration	150
ANNEXE A5	Méthode d'analyse des séquences pluvieuses	154

LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
1.1 Renseignements physiographiques généraux sur les sous-bassins étudiés	5
2.1 Débits de crues (m^3/sec) à la station 092704 (site LG1)	14
2.2 Calculs préliminaires	15
2.3 Ajustement de la loi Gamma	16
2.4 Intervalles de confiance à 95%, Loi Gamma	17
2.5 Ajustement de la distribution Pearson type III	18
2.6 Ajustement de la loi log-Pearson III	19
2.7 Ajustement de la distribution de Gumbel	20
2.8 Intervalles de confiance des débits estimés par la loi Gumbel	21
4.1 Stations hydrométriques sur le bassin versant de la rivière La Grande	55
4.2 Stations météorologiques dans la région du Nouveau-Québec	56
5.1 a) Calage du modèle, année 1963 et 1964, station 092704	64
5.1 b) Vérification du calage, année 1966 et 1967, station 092704	66
5.1 c) Calage du modèle, année 1963 et 1964, station 092702	68
5.1 d) Vérification du calage, année 1966 et 1967, station 092702	70
5.1 e) Calage du modèle, année 1963 et 1964, station 092703	72
5.1 f) Vérification du calage, année 1966 et 1967, station 092703	74
5.1 g) Calage du modèle, année 1963 et 1964, station 092708	76
5.1 h) Vérification du calage, année 1966 et 1967, station 092704	78

LISTE DES TABLEAUX (SUITE)

	<u>PAGE</u>
5.1 i) Vérification du calage, année 1966 et 1967, station 092717	80
5.2 Comparaison des dates et des pointes des crues maximales du printemps	82
5.3 Comparaison des lames d'eau mensuelles et annuelles calculées et observées	83
6.1 Données de température journalière utilisées pour les simulations du printemps	101
6.2 Données de précipitations du printemps	102
6.3 Impulsions de précipitations spécifiques aux surfaces concernées par la simulation du printemps	103
6.4 Impulsions de précipitations spécifiques aux surfaces par la simulation d'automne	104
6.5 Données de précipitations d'automne	105
6.6 Données de température journalière utilisées pour les simulations d'automne	106
6.7 Sous-bassins et parties de bassin de la rivière La Grande évalués selon la banque de drainage	107
6.8 Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande	108
6.9 Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur le sous-bassin limité à l'aval par LG3	109
6.10 Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur les parties de bassin comprises entre les sites de barrage	110

LISTE DES TABLEAUX (SUITE)

	<u>PAGE</u>
6.11 Résumé des maxima de crues et des lames d'eau printannières pour les simulations avec blocage de l'infiltration	111
6.11 a) Précipitation estimée pour l'ensemble du bassin	
6.11 b) Précipitation estimée pour le sous-bassin limité à l'aval par LG3	
6.11 c) Précipitation estimée pour les parties de bassin comprises entre les sites de barrage	
6.12 Etat des réserves dans le modèle, précipitation et évaporation mensuelles pour la simulation sur l'ensemble du bassin (en pouces)	112
6.13 Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec un stock de neige réduit (32" équivalent-eau) et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande	113
6.14 Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec un stock de neige réduit (22" équivalent-eau) et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande	114
6.15 Résumé des maxima de crues et des lames d'eau mensuelles pour les simulations avec blocage de l'infiltration et un stock de neige initial variable	115
6.15 a) Précipitation estimée pour l'ensemble du bassin à LG1 et un stock de neige initial de 32"	
6.15 b) Stock de neige initial 22"	
6.16 Etat des réserves dans le modèle (cas 32" de neige), précipitation et évaporation mensuelles pour la simulation sur l'ensemble du bassin (cas 32" et 22" de neige)	116

LISTE DES TABLEAUX (SUITE)

	<u>PAGE</u>
6.17 Hydrogrammes de crue maximale probable d'automne simulés avec une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande	117
6.18 Hydrogrammes de crue maximale probable d'automne simulés avec une précipitation estimée pour le sous-bassin limité à l'aval par le site LG3	118
6.19 Hydrogrammes de crue maximale probable simulés avec une précipitation estimée sur les parties de bassin comprises entre les sites de barrage	119
6.20 Résumé des maxima de crues, des lames d'eau, précipitations et évaporation pour la simulation d'automne	120
6.20 a) Précipitation estimée pour l'ensemble du bassin	
6.20 b) Précipitation estimée pour le sous-bassin à LG3	
6.20 c) Précipitation estimée pour les parties de bassin comprises entre les sites de barrage	
6.20 d) Précipitation et évaporations mensuelles	

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
2.1 Crue de printemps (A)	22
2.2 Crue d'automne (B)	23
2.3 Mois d'octobre (C)	24
3.1 Schéma général de la "fonction production"	42
3.2 Schéma de production - Modèle HCØ 2,000	43
3.3 Principe de la formation des bandes et zones isochrones et des parcelles	44
3.4 Schéma de transfert-modèle HCØ 2,000	45
4.1 Bassins versants au droit des stations de jaugeage ayant servi au calage du modèle	57
4.2 Découpage du bassin, bandes, zones et parcelles	58
5.1 Calage du modèle (années 1963-64) et vérification du calage (années 1966-67)	84
6.1 Bassins versants au droit des sites de barrage	121
6.2 Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande	122
6.3 Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur le sous-bassin limité à l'aval par LG3	124

LISTE DES FIGURES (SUITE)

	<u>PAGE</u>
6.4 Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur les parties de bassin comprises entre les sites de barrage	125
6.5 Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec un stock de neige réduit (32" équivalent-eau) et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande	126
6.6 Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec un stock de neige réduit (22" équivalent-eau) et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande	127
6.7 Hydrogrammes de crue maximale probable d'automne simulés avec une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande	128
6.8 Hydrogrammes de crue maximale probable d'automne simulés avec une précipitation estimée pour le sous-bassin limité à l'aval par le site LG3	129
6.9 Hydrogrammes de crue maximale probable d'automne simulés avec une précipitation estimée sur les parties de bassin comprises entre les sites de barrage	130

INTRODUCTION

Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques nécessite la connaissance des événements qui peuvent causer leur destruction. Cette connaissance permet d'évaluer les coûts du surdimensionnement pour la protection contre les catastrophes et d'en faire ainsi un risque calculé.

La gestion des aménagements pendant et après la construction des ouvrages nécessite, elle aussi, la connaissance de ces événements extrêmes car leur occurrence impose, pour une saine gestion, des règles et des modes d'opération préalables.

Deux approches permettent de déterminer ces événements extrêmes:

- l'approche statistique
- l'approche déterministe

Ces deux approches sont toujours envisageables mais la validité des méthodes auxquelles elles conduisent repose sur la quantité et la qualité de l'information disponible.

En général, l'approche statistique convient particulièrement bien quand on dispose de beaucoup de données sur les événements extrêmes eux-mêmes et n'implique pas la connaissance physique du phénomène. Cependant, lorsque l'on dispose de peu d'observations de ces événements, il devient hasardeux de se fier uniquement à l'analyse statistique. Comme première analyse, elle n'en demeure pas moins une bonne indication surtout quand on dispose des intervalles de confiance et qu'on en tient compte.

Par contre, lorsque l'on dispose de bonnes séries d'observations sur les événements météorologiques, il est possible de simuler des événements hydrologiques extrêmes à condition de connaître assez bien les

processus physiques influençant la formation de l'écoulement. On fait alors appel à l'approche déterministe. Cette approche consiste d'abord à conceptualiser mathématiquement les phénomènes physiques en cause ce qui nous conduit à l'élaboration d'un modèle. Ce modèle doit faire usage au maximum des diverses données disponibles ayant une relation avec les événements à simuler. Ensuite, on calibre ce modèle à partir de réalité physique observée. On dispose alors d'un outil extrêmement puissant puisqu'il nous permet de connaître rapidement la réponse d'un bassin versant à toute une série d'éventualités météorologiques extrêmes pouvant survenir au cours d'une longue période. Cette approche nécessite donc une bonne connaissance statistique des événements météorologiques.

Dans le cadre de l'aménagement du bassin de la rivière la Grande, la Société d'énergie de la Baie James (S.E.B.J.) confie à INRS-Eau l'établissement des hydrogrammes des crues maximales probables aux usines LG4, LG3, LG2 et LG1.

Ces hydrogrammes seront définis uniquement pour le bassin versant de la rivière la Grande, les crues des bassins détournés étant restituées dans leur lit naturel.

L'insuffisance des données de débits extrêmes conduit à délaissier l'approche statistique; cependant, à titre indicatif, nous faisons précéder l'étude par une brève analyse statistique.

La nécessité d'utiliser l'approche déterministe, à laquelle s'ajoute la disponibilité d'un modèle déterministe fiable en plus d'une connaissance adéquate des événements météorologiques extrêmes, nous amène à utiliser le modèle HCO 2000.

L'étude comporte deux étapes:

- Dans un premier temps, on développe le modèle mathématique de transfert pluie-débits, en l'adaptant au bassin étudié de manière à reconstituer le mieux possible les hydrogrammes observés en plusieurs points du bassin.

- Dans un deuxième temps, on établit les hydrogrammes de crues de printemps en fonction de conditions météorologiques critiques fixées conjointement avec la S.E.B.J. et le Service de météorologie du Ministère des Richesses Naturelles. Ces conditions sont déterminées à partir de l'étude statistique des données météorologiques disponibles.

Enfin, nous fournissons aussi une série d'hydrogrammes correspondant aux conditions critiques conduisant à la crue d'automne.

1. DESCRIPTION DU BASSIN DE LA RIVIERE LA GRANDE

D'une superficie de près de 38,000 mi. car., le bassin de la rivière La Grande est situé à environ 650 milles au nord de Montréal. Cette rivière, longue de 535 milles, coule d'est en ouest, en général parallèle à la latitude 53°40' nord pour se jeter dans la Baie James.

L'ensemble de cette région est concentrée dans la partie centrale du Bouclier canadien et est caractérisée par de basses collines rocheuses et un nombre imposant de lacs. S'écoulant dans la Baie James au niveau de la mer, le bassin s'élève jusqu'à une altitude de 2,500 pi. à son extrémité est.

Le tableau 1.1, tiré du tableau 4-99 du rapport sur la Rationalisation du réseau hydrométrique du Québec (Villeneuve et al., 1971), présente quelques renseignements physiographiques sur les sous-bassins utilisés pour le calage et la vérification du calage du modèle. Ayant une valeur moyenne de 0.4%, les pentes moyennes des sous-bassins sont faibles. Territoires encore vierges, les surfaces de ces sous-bassins sont constituées de 75 à 81% de forêts et de 16 à 23% de lacs bien souvent reliés entre eux par un réseau hydrographique complexe. Les marais constituent de 1 à 2% de la surface totale.

Constitué en majeure partie de roches granitiques, le socle rocheux date de l'époque précambrienne et il affleure dans l'ensemble de la région. Il faut aussi noter l'existence de dépôts importants de minerais de fer.

Arbres ou arbustes, plantes herbacées, lichens et mousses caractéristiques de la Taïga se répartissent sur le bassin. La forêt est clairsemée et composée principalement de petits conifères à croissance lente (Grenier, 1971).

Bassin de la Station hydrométrique	Superficie	Altitude moyenne	Pente moyenne	Azimuth de la pente	Superficie relative		
					Lacs	Forêts	Marais
	mi. car.	pieds	%	degré	%	%	%
092704	37545.9	1300	0.4	291	19	79	2
092702	28576.4	1400	0.4	303	20	78	2
092703	14508.5	1650	0.4	294	23	75	1
092708	7085.7	1410	0.5	323	16	81	2
092717	3950.6	1520	0.4	269	21	78	1

TABLEAU 1.1 Renseignements physiographiques généraux sur les sous-bassins étudiés.

2. ETUDE STATISTIQUE DES DEBITS DE CRUE

2.1 Introduction

Cette étude est faite à titre indicatif puisque la taille des séries n'est pas suffisante pour permettre une détermination suffisamment précise des débits de crues de période de retour élevée. On a considéré pour la station 092704 (Site LG1), trois séries (tableau 2.1):

- A. Débit maximal annuel de printemps de 1960 à 1973 (N = 14);
- B. Débit maximal annuel d'automne de 1960 à 1972 (N = 13);
- C. Débit maximal annuel du mois d'octobre de 1960 à 1972 (N = 13).

Sur ces séries, on a étudié l'ajustement de:

- la loi Gumbel;
- la loi Gamma;
- la loi Pearson III;
- la loi Log Pearson III.

Dans chaque cas, on a déterminé les débits de période de retour :

T = 100; 1,000; 10,000 ans correspondant aux probabilités du dépassement
 P = .01; .001; .0001. Pour la loi Gumbel et la loi Gamma, les intervalles de confiance à un niveau donné ont été déterminés à titre indicatif pour les périodes de retour élevées.

2.2 Calculs préliminaires

Pour chaque série, on effectue le calcul des moments centrés et non centrés, des divers coefficients utilisés dans les méthodes d'ajustement; ces valeurs sont résumées dans le tableau 2.2.

2.3 Ajustement de la distribution Gamma

La fonction densité de probabilité de la loi Gamma est:

$$f(x) = \frac{\alpha^\lambda}{\Gamma(\lambda)} e^{-\alpha x} x^{\lambda-1} \quad (2-1)$$

$$\alpha > 0; \lambda > 0; 0 \leq x < +\infty$$

L'ajustement de cette distribution aux crues observées, par la méthode de maximum de vraisemblance, conduit à la meilleure estimation des paramètres α et λ . La méthode utilisée pour la détermination de α et λ est décrite dans Roche (1963).

Connaissant α et λ , on peut déterminer la moyenne (M), l'écart-type (s), et le coefficient de variation (C_v) de la population, dont la série observée est tirée:

$$M = \frac{\lambda}{\alpha} \quad (2-2)$$

$$S = \frac{\sqrt{\lambda}}{\alpha} \quad (2-3)$$

$$C_v = \frac{S}{M} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \quad (2-4)$$

Un débit X_T de période de retour T est alors déterminé par:

$$X_T = M + K S \quad (2-5)$$

K , le "facteur de fréquence", dépend de T (ou de la probabilité au dépassement) et du coefficient d'asymétrie de la population $C_s = \frac{2 S^3}{M^3} = \frac{2}{\sqrt{\lambda}}$; ce facteur est donné par les tables de Harter (1969).

Il est possible de déterminer l'écart-type σ_{X_T} d'un débit X_T (Bobée, 1973) par:

$$\sigma_{X_T} = \frac{S}{\sqrt{N}} \sqrt{(1 + K C_V)^2 + \frac{1}{2} \left(K + 2C_V \frac{\partial K}{\partial C_S} \right)^2 (1 + C_V^2)} \quad (2-6)$$

Le débit X_T de période de retour T considéré comme une variable aléatoire est distribué approximativement suivant une loi normale de moyenne X_T et d'écart-type σ_{X_T} ; il est donc possible d'en déduire des intervalles de confiance pour un niveau de probabilité donné. La validité de l'approximation suivant une loi normale est d'autant meilleure que la taille de l'échantillon est élevée. Le tableau 2.3 résume les valeurs obtenues pour les 3 séries.

Connaissant σ_{X_T} (et sous l'hypothèse de normalité), il est possible de déterminer les intervalles de confiance correspondant à n'importe quel niveau de confiance. Par exemple à 95%, les limites de l'intervalle de confiance sont données par $X_T \pm 2\sigma_{X_T}$ (Tableau 2.4).

2.4 Ajustement de la distribution Pearson type III

L'ajustement est effectué par la méthode des moments, puisque dans le cas de cette loi, la méthode de maximum de vraisemblance ne peut être employée lorsque le paramètre d'origine n'est pas connu a priori.

La densité de probabilité de cette distribution est:

$$f(x) = \frac{|\alpha|}{\Gamma(\lambda)} e^{-\alpha(x-m)} [\alpha(x-m)]^{\lambda-1}$$

λ est positif:

Si $\alpha > 0$, $m \leq x < +\infty$ (distribution à asymétrie positive)

Si $\alpha < 0$, $-\infty \leq x < m$ (distribution à asymétrie négative)

\bar{x} , \hat{s} , \hat{C}_s étant les valeurs de la moyenne, de l'écart-type non biaisé et du coefficient d'asymétrie non biaisé de la série, les paramètres sont déterminés par:

$$\lambda = \frac{4}{\hat{C}_s^2}$$

$$|\alpha| = \frac{\sqrt{\lambda}}{\hat{s}}$$

$$m = \bar{x} - \frac{\lambda}{\alpha}$$

Un débit de période de retour T est déterminé par:

$$X_T = \bar{x} + K \hat{s}$$

K est fonction de T et de \hat{C}_s et est donné par les tables de Harter (1969). La détermination des intervalles de confiance peut se faire de la même manière que précédemment (Bobée, 1973). Elle n'est pas effectuée ici et conduirait à des résultats du même ordre de grandeur que pour la loi Gamma. Le tableau 2.5 donne les valeurs obtenues par l'ajustement de la loi Pearson type III, aux séries A, B et C.

Dans le cas des séries B et C, le coefficient d'asymétrie de l'échantillon des valeurs observées est négatif, ce qui conduit à des valeurs négatives de α , et dans ce cas, m est la limite supérieure que les débits peuvent atteindre.

2.5 Ajustement de la distribution Log-Pearson type III

Dans ce cas, les logarithmes décimaux de la population suivent une distribution Pearson type III. La méthode utilisée pour cet ajustement (Bobée, 1974) est différente de celle proposée par le Water Resources Council des Etats-Unis (Benson, 1968). Elle consiste à déterminer les

les paramètres α , λ , m à partir de la série observée, plutôt qu'à partir de la série des logarithmes des valeurs observées. Connaissant m , λ , α , on détermine:

$$\bar{y} = m + \frac{\lambda}{\alpha}$$

$$S_y = \frac{\sqrt{\lambda}}{|\alpha|}$$

$$(C_s)_y = \frac{\alpha}{|\alpha|} \frac{2}{\sqrt{\lambda}}$$

X_T débit de période de retour T est alors donné par:

$$X_T = 10^{\bar{y}} - K S_y$$

K est fonction de T et de $(C_s)_y$

Le tableau 2.6 donne les résultats de l'ajustement de cette distribution aux séries A, B et C.

Lorsque $(C_s)_y$ est négatif, c'est-à-dire lorsque α est négatif, il existe une limite supérieure pour les débits $y_{\max} = 10^m$, qui n'a aucune justification physique.

2.6 Ajustement de la loi de Gumbel

La fonction de distribution de la loi Gumbel est:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}} = \text{Pr} [X \leq x]$$

L'ajustement de cette loi par la méthode des moments conduit à:

$$x_0 = \bar{x} - \frac{y}{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{s \sqrt{6}}$$

\bar{x} et s étant la moyenne et l'écart-type non biaisé de l'échantillon et γ la constante d'Euler.

La méthode de maximum de vraisemblance, applicable dans ce cas est meilleure mais conduit à des calculs assez longs et elle n'est pas utilisée ici.

Le débit X_T de période de retour T est tel que:

$$X_T = \bar{x} + Ks$$

avec

$$K = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left(\gamma + \text{LnLn} \frac{T}{T-1} \right)$$

Il est possible d'utiliser un facteur K tenant compte de la taille de l'échantillon (Gumbel, 1957); on obtiendrait pour les périodes de retour élevées ($T > 100$) des valeurs supérieures d'environ 10% à 15% à celles obtenues sans correction de taille, ce qui accroît la tendance à la surévaluation de la distribution de Gumbel. (cf. tableau 2.7)

Le tableau 2.7 donne les résultats de l'ajustement de cette distribution. Bernier et Veron (1963) ont établi des courbes permettant la détermination des intervalles de la loi Gumbel pour les niveaux de confiance 70% et 95% et pour des périodes de retour $T \leq 1000$. Malgré la faible taille des échantillons, on donne au tableau 2.8 les intervalles de confiance à 70% et 95% pour les débits de périodes de retour $T = 100$ et $T = 1000$. On considère les débits X_T estimés sans correction de taille.

2.7 Comparaison des résultats

Les ajustements effectués des différentes lois pour les séries

A, B et C sont comparés sur les figures 2.1, 2.2 et 2.3.

La formule de probabilité empirique utilisée pour les valeurs expérimentales est:

$$P_k = \frac{k - .3}{N + .4} \quad (\text{Formule de Chegodayev})$$

Ces résultats ne peuvent être utilisés qu'à titre indicatif. En effet, la taille des échantillons est trop faible pour conduire à des estimations précises, ce qui se traduit par de larges intervalles de confiance; par exemple, pour la série A, l'intervalle de confiance à 95% de débit millénaire a pour limites 253000 pi³/sec et 491000 pi³/sec dans le cas de la distribution Gumbel, 217000 pi³/sec et 457000 pi³/sec pour la loi Gamma. Autrement dit, sur les échantillons, on peut espérer que 95% d'entre eux se trouveront entre les limites de l'intervalle de confiance. De manière générale, les différentes lois donnent des résultats du même ordre de grandeur; cependant, la loi Gumbel a tendance à surévaluer les débits extrêmes et les résultats obtenus par cette distribution sont toujours supérieurs aux ajustements que donnent les trois autres distributions.

Les lois Gumbel et Gamma nécessitent la connaissance des 2 premiers moments de l'échantillon seulement, l'asymétrie de la population étant supposée connue; c'est pourquoi l'emploi de ces distributions est valable si l'asymétrie observée n'est pas significativement différente de l'asymétrie de la population. En ce qui concerne la série A, on a $(\hat{C}_s)_{\text{observé}} \approx 2 (\hat{C}_V)_{\text{observé}}$, ce qui correspond à la relation théorique de la loi Gamma; pour les séries B et C, le coefficient d'asymétrie observé est négatif et la relation précédente n'est pas vérifiée mais compte tenu des erreurs d'échantillonnage, il ne faut pas en conclure que la loi Gumbel ou la loi Gamma doivent être rejetées.

L'ajustement des distributions à 3 paramètres (Pearson III, log-Pearson III) nécessitent la connaissance des coefficients d'asymétrie

de la série qui est soumise à de grandes erreurs d'échantillonnage, ce qui, pour des échantillons de faible taille, peut inciter à ne pas utiliser ces lois.

En ce qui concerne la série A, il est probable que la crue de printemps de 1973 à laquelle on a attribué une probabilité expérimentale de .95, donc une période de retour de 20 ans, ait en réalité une période de retour beaucoup plus élevée. La prise en compte de cette crue conduit à une surévaluation des débits extrêmes (allant dans le sens de la sécurité).

Les résultats obtenus par les différents ajustements, malgré la faible taille des échantillons, donnent cependant une bonne idée de l'ordre de grandeur des événements extrêmes et de l'erreur possible sur les estimations obtenues.

2.8 Conclusion

Plusieurs lois ayant été essayées pour rendre compte des données, il est évidemment impossible de déterminer celle qui rend le mieux compte du phénomène en raison de la taille très faible des échantillons, qui introduit des erreurs d'échantillonnage très grandes pour les paramètres estimés; l'estimation est plus douteuse pour les distributions à 3 paramètres puisque l'on doit utiliser des moments de 3^{ième} ordre soumis à de très grandes erreurs. Pour les lois à 2 paramètres (Gumbel, Gamma), l'asymétrie est fixée, et l'ajustement est meilleur si l'asymétrie que l'on attribue au phénomène a un sens.

Les résultats obtenus sont du même ordre de grandeur et donnent une bonne idée de la valeur des événements extrêmes et de l'imprécision sur les estimations effectuées.

<u>ANNEE</u>	<u>PRINTEMPS (A)</u>	<u>AUTOMNE (B)</u>	<u>OCTOBRE (C)</u>
1960	154 000	110 000	102 000
1961	93 000	64 000	64 000
1962	127 000	74 000	74 000
1963	146 000	72 000	49 000
1964	155 000	114 000	114 000
1965	182 000	127 000	119 000
1966	187 000	133 000	114 000
1967	153 000	78 000	56 000
1968	140 000	114 000	104 000
1969	150 000	147 000	147 000
1970	134 000	94 000	87 000
1971	74 000	119 000	119 000
1972	126 000	97 000	96 000
1973	241 000	-	-

TABLEAU 2.1 Débits de crues (pi^3/sec) à la station 092704 (site LG1)
(tiré des annuaires du M.R.N.)

Série	A	B	C
Taille N	14	13	13
Moyenne $\bar{x} = m'_1$	147286	103308	95769
* Ecart-type non biaisé \hat{s}	40309	25857	28584
* Coefficient de variation \hat{C}_v	.274	.250	.298
$\frac{1}{N} \sum x_c^2 = m'_2$	$2.32019 * 10^4$	$1.12896 * 10^4$	$9.9259 * 10^3$
$\frac{1}{N} \sum x_c^3 = m'_3$	$3.887042 * 10^6$	$1.293478 * 10^6$	$1.092298 * 10^6$
* Coefficient d'asymétrie \hat{C}_s	.485	-.0259	-.151

* valeurs non biaisées

TABEAU 2.2 Calculs préliminaires

Série	A	B	C
λ	13.85	16.45	10.91
$1/\alpha$	10634.7	6276.6	8778,1
M	147286	103308	95769
S	39578	25457	28994
C_v	.269	.246	.303
C_s	.538	.492	.606
X_{100}	255000	172000	176000
$\sigma_{X_{100}}$	30000	19000	24000
X_{1000}	301000	200000	210000
$\sigma_{X_{1000}}$	42000	27000	34000
X_{10000}	343000	226000	242000
$\sigma_{X_{10000}}$	57000	34000	43000

TABLEAU 2.3 Ajustement de la loi Gamma

Série A	Série B	Série C
$195000 < X_{100} < 315000$	$134000 < X_{100} < 210000$	$128000 < X_{100} < 224000$
$217000 < X_{1000} < 385000$	$146000 < X_{1000} < 254000$	$142000 < X_{1000} < 278000$
$229000 < X_{10000} < 457000$	$158000 < X_{10000} < 294000$	$156000 < X_{10000} < 328000$

TABLEAU 2.4 Intervalles de confiance à 95%, Loi Gamma

Série	A	B	C
λ	17.00	6451.5	175.4
α	.0001	-.0031	-.0005
m	-18889	2180140	474360
X_{100}	255000	163000	160000
X_{1000}	300000	182000	178000
X_{10000}	340000	198000	193000

TABLEAU 2.5 Ajustement de la distribution Pearson type III

Série	A	B	C
α	-48.8	-23.3	-13.4
λ	33.1	6.9	3.6
m	5.831	5.297	5.231
$y_{\max} = 10^m$	677000	198000	170000
\bar{y}	5.153	5.000	4.960
S_y	.1179	.1129	.1423
$(C_s)_y$	-.348	-.761	-1.049
X_{100}	249000	158000	152000
X_{1000}	288000	171000	161000
X_{10000}	321000	180000	166000

TABLEAU 2.6 Ajustement de la loi log-Pearson III

Série	A	B	C
α	$3.18 * 10^{-5}$	$4.96 * 10^{-5}$	$4.49 * 10^{-5}$
x_0	129151	91675	82909
x_{100}	274000	184000	185000
x_{100}^*	307000	206000	209000
x_{1000}	346000	231000	237000
x_{1000}^*	398000	264000	273000
x_{10000}	419000	277000	288000
x_{10000}^*	470000	310000	324000

* (les valeurs x^* correspondent à l'utilisation du coefficient K corrigé en fonction de la taille de l'échantillon).

TABLEAU 2.7 Ajustement de la distribution de Gumbel

Niveau	A	B	C
70%	$238000 < X_{100} < 322000$	$161000 < X_{100} < 215000$	$159000 < X_{100} < 220000$
	$294000 < X_{1000} < 415000$	$197000 < X_{1000} < 275000$	$199000 < X_{1000} < 286000$
95%	$210000 < X_{100} < 383000$	$142000 < X_{100} < 254000$	$139000 < X_{100} < 263000$
	$253000 < X_{1000} < 491000$	$171000 < X_{1000} < 325000$	$171000 < X_{1000} < 340000$

TABEAU 2.8 Intervalles de confiance des débits estimés par la loi Gumbel.

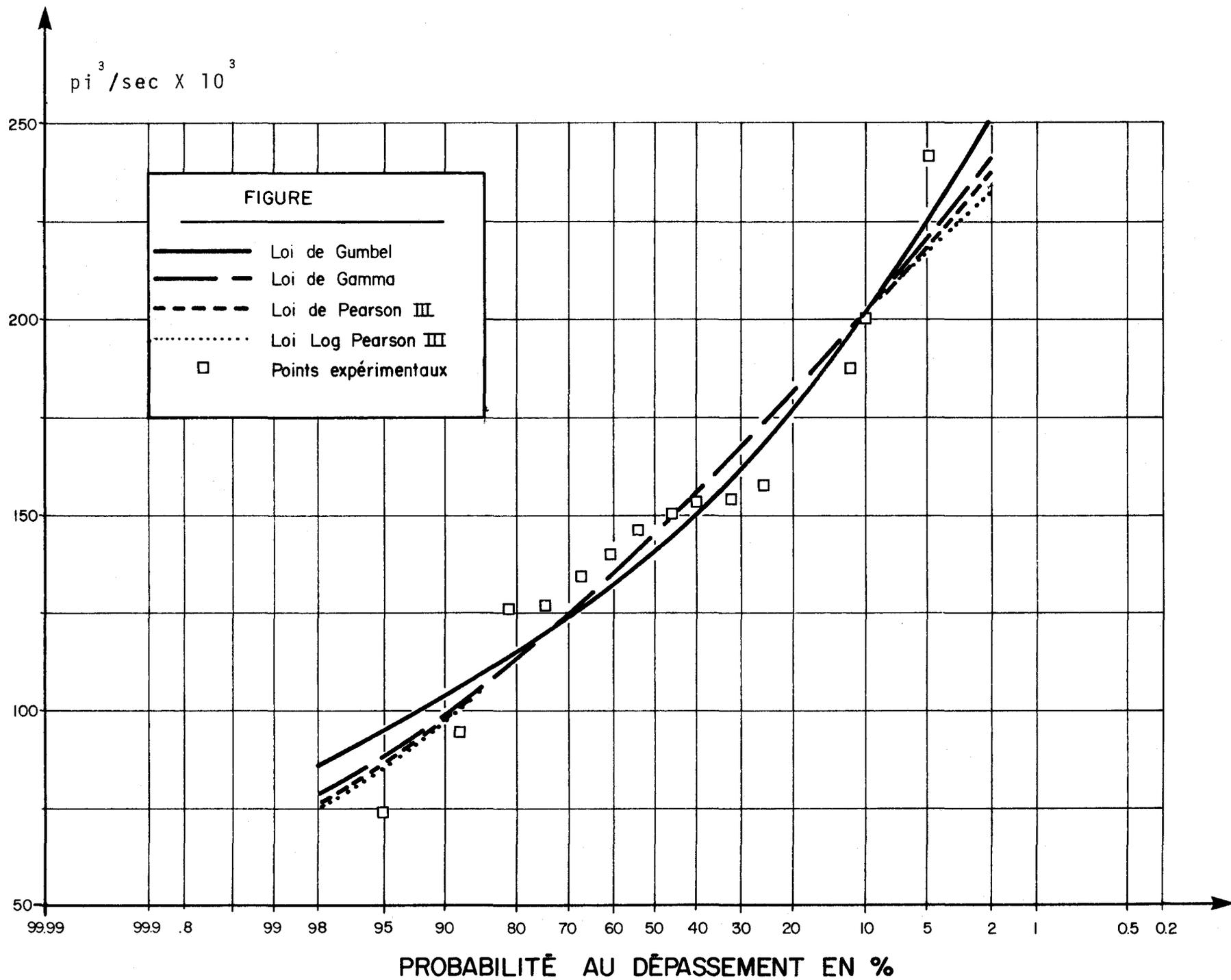


FIG 2-1 . Crue de printemps (A)

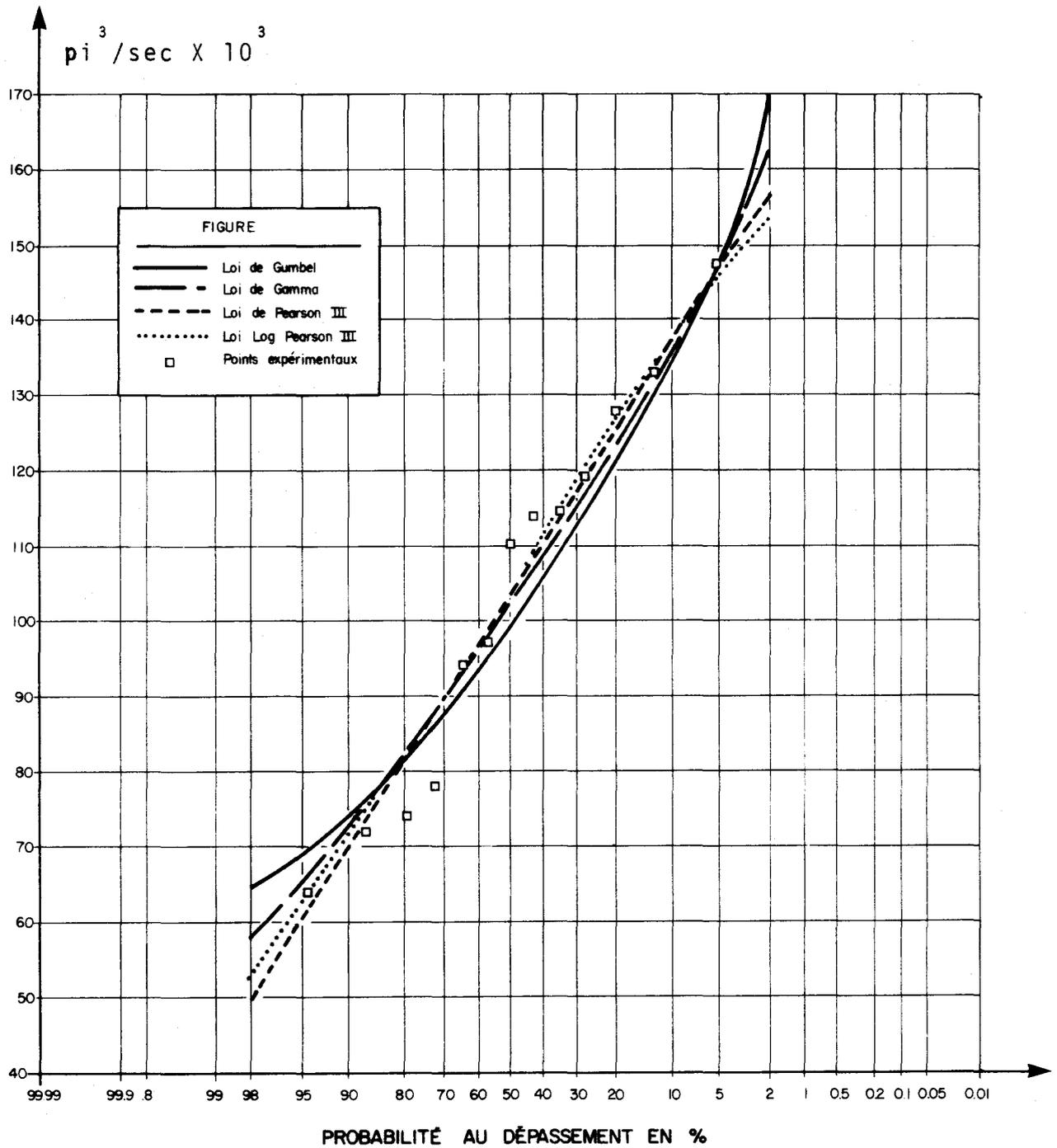


FIG 2-2 . Crue d'automne (B)

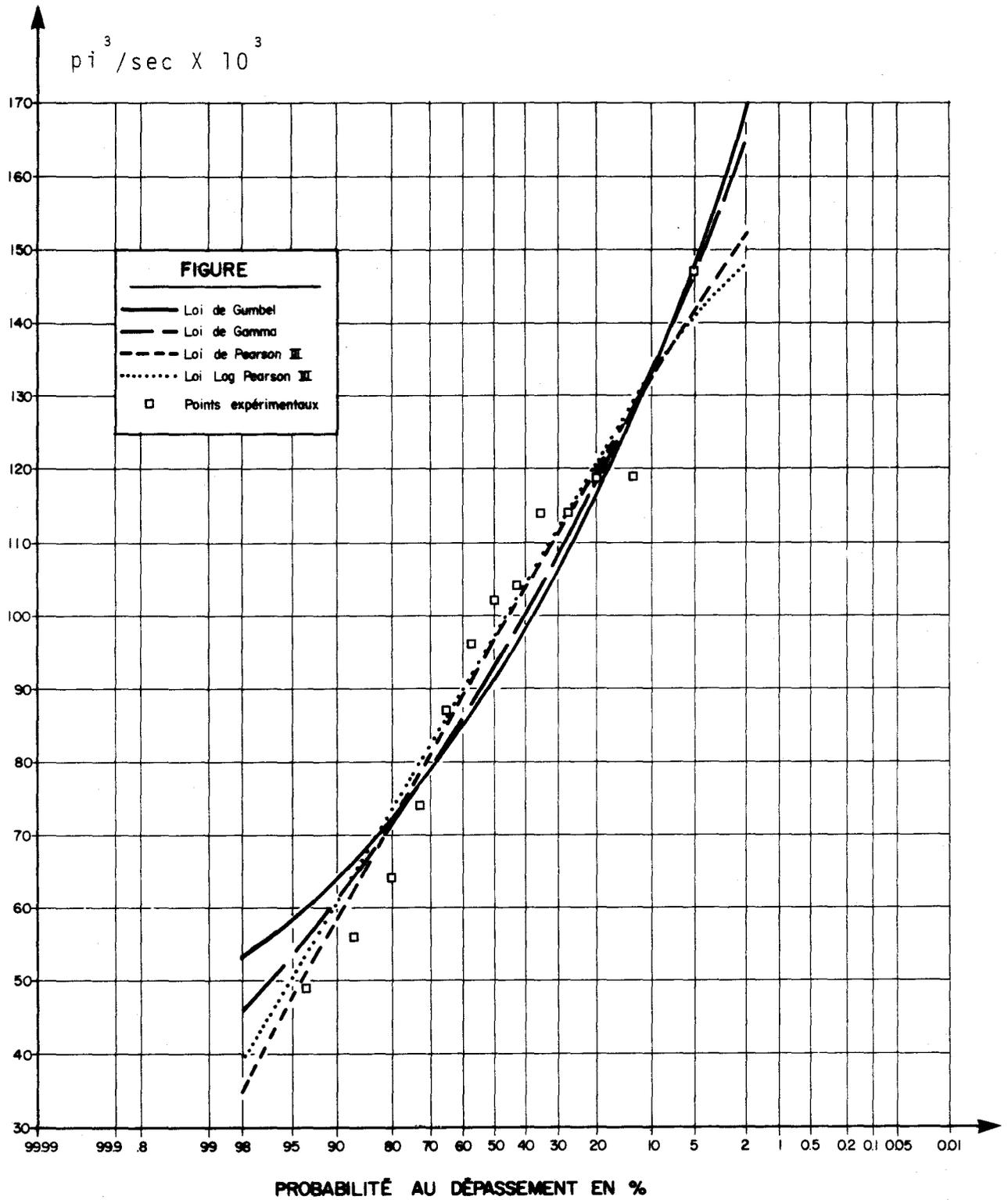


FIG. 2-3 . MOIS D'OCTOBRE (C).

3. LE MODELE DETERMINISTE HCO 2000

L'étude statistique des débits de crue nous a montré l'impossibilité de l'utilisation d'un modèle statistique pour établir les hydrogrammes de crues maximales. Cette difficulté, due à l'insuffisance de l'échantillon, nous conduit à l'utilisation d'un modèle déterministe.

3.1 Utilisation des modèles déterministes en hydrologie

L'approche déterministe a été souvent considérée pour dimensionner des ouvrages et elle a conduit à l'élaboration de nombreux modèles mathématiques permettant de simuler les phénomènes hydrologiques. La validité d'une telle technique a été démontrée par des hydrologues de nationalités diverses lorsqu'ils ont présenté le fruit de leurs recherches aux récents symposiums consacrés aux modèles mathématiques en hydrologie (Varsovie, juillet 1971; Ottawa, mai 1972; ...).

Qu'ils soient globaux (Lumped models) ou matriciels (distributed parameters models), les modèles ne sont d'un usage récent que par suite du développement tardif d'ordinateurs digitaux ou analogiques de grande puissance (Fortin et Girard, 1970; Girard, 1970; Burnash et Ferral, 1971; Crawford et Linsley, 1962; Girard, Fortin et Charbonneau, 1971; Girard, Morin et Charbonneau, 1972 a et b, 1973; Ramaseshan et Rawi Shanker Anant, 1971; Chander, 1971; ...).

Généralement plus complexes que les modèles globaux, les modèles matriciels permettent une utilisation plus rationnelle de l'information physiographique, géologique et météorologique disponible. De plus, certains modèles étant susceptibles d'être employés dans les régions où il se forme un manteau nival important, sont dotés d'un module supplémentaire simulant la fonte de la neige (Crawford et Linsley, 1962; Girard, Morin

et Charbonneau, 1973; Borovikova et Denisov, 1971; Charbonneau, Fortin et Girard, 1971; Charbonneau, 1969; ...).

3.2 Principes généraux du modèle HCO 2000

L'équipe d'INRS-Eau (anciennement CEQUEAU) a développé un modèle matriciel faisant appel au maximum à l'information physiographique disponible au Québec : le modèle HCO 2000.

Ce modèle comporte deux parties principales visant à décrire le mieux possible le cheminement de l'eau vers l'exutoire d'un bassin. La première partie concerne le cheminement vertical de l'eau en incluant les principaux phénomènes dont la précipitation, l'évaporation, l'infiltration et le jeu des réserves superficielles et souterraines y compris la fonte de la neige. On désigne cette schématisation par le terme "fonction de production". La deuxième partie concerne le transfert de l'écoulement dans le réseau superficiel (cours d'eau principal). Les processus hydrologiques compris dans cette étape incluent l'influence des lacs, des marécages et de la morphologie du réseau d'écoulement. On désigne cette schématisation par le terme "fonction de transfert".

De façon générale, on a tenté autant que possible de relier le comportement hydrologique aux caractéristiques physiographiques locales des bassins étudiés. Ces caractéristiques sont contenues dans une banque de données décrite au chapitre 4. En plus de la physiographie, cette banque contient également toutes les informations concernant le drainage superficiel.

3.3 Fonction de production

Les principales sources d'alimentation en eau atmosphérique du bassin sont les pluies et la neige. L'eau provenant des pluies est en principe directement disponible pour les opérations de transformation

conduisant aux débits. Pour la neige, il est nécessaire de définir en outre un modèle de fonte.

Quelle que soit l'origine de l'eau atmosphérique entrant ainsi dans un carreau, avant sa mise à disposition pour l'écoulement et en fonction des conditions antécédentes de réserve, elle sera soumise à divers processus physiques qui auront une influence directe sur la formation de l'onde d'écoulement. La figure 3.1 schématise un tel ensemble de transformations pouvant être considéré comme la fonction de production.

Les paramètres de cette fonction sont déduits des caractéristiques physiographiques par des lois simples, représentatives du phénomène physique. L'expérience acquise dans l'étude des bassins versants représentatifs et expérimentaux a facilité grandement, pour une telle fonction, une schématisation répondant à tous les cas possibles et permettant une évaluation expérimentale de ces lois (Girard, Morin, Charbonneau, 1972). Avant de procéder à la description de la fonction production, il importe de définir la portion de surface sur laquelle est applicable cette fonction. La première version du modèle (modèle CEQUEAU) l'appliquait à chacun des carreaux (10km - 10km) constitutifs d'un bassin. Par suite des difficultés de programmation engendrées dans l'étude d'un bassin comprenant 800 carreaux ou plus, les auteurs ont été amenés à simplifier le problème et à travailler sur des agglomérations de carreaux (modèle HCØ 2000). Le mode de regroupement des carreaux, (zones, parcelles) décrit à la section 3.3.8, tient compte de la morphologie du réseau de transfert, de la répartition géographique des stations météorologiques et de la finesse de l'information hydrologique désirée. Notons que la fonction production est applicable aux parcelles et la fonction transfert aux zones.

Pour décrire la fonction production, on utilise donc comme unité de surface une parcelle constituée d'un certain nombre de carreaux. Chaque parcelle, dont on connaît la physiographie moyenne, est considérée comme homogène en première approximation. Nous prenons cette parcelle comme un tout, et nous l'assimilons à un réservoir unique possé-

dant des orifices tels que sous l'action des précipitations, de la température et de l'évaporation, l'écoulement issu de cette parcelle soit comparable à l'écoulement issu d'un bassin isolé de mêmes caractéristiques.

Pour un intervalle de temps donné $t_0 \rightarrow t_1$ et pour chaque parcelle, nous devons vérifier le bilan hydrologique schématisé à la figure 3.2 et formulé de la façon suivante:

$$\sum_{t_0}^{t_1} P = \sum_{t_0}^{t_1} ET + \sum_{t_0}^{t_1} Q + (HS_{t_1} - HS_{t_0}) + (HN_{t_1} - HN_{t_0}) \quad (3-1)$$

où

P = précipitation (po)

ET= évapotranspiration (po)

Q = débit issu des zones superficielles ou profondes (po)

HS= lame d'eau stockée dans le sol et soumise aux échanges avec l'atmosphère (po)

HN= lame d'eau stockée dans la nappe profonde (po)

Cette équation de bilan ne tient pas compte explicitement de l'infiltration vers la nappe profonde; cependant, la figure 3.2 illustre cet aspect du problème.

3.3.1 Précipitations

Etant donné le caractère aléatoire des précipitations, il est quasiment impossible de déterminer de façon très précise la hauteur des précipitations aux parcelles. Pour tenir compte de l'accroissement annuel moyen des précipitations avec l'altitude (9 pouces par 1000 pieds d'altitude), nous appliquons des corrections systématiques aux valeurs des précipitations journalières des stations auxquelles sont affectées nos parcelles. Cette correction est liée à la différence d'altitude entre la parcelle concernée et la station à laquelle elle est affectée.

3.3.2 Température de l'air

Cette caractéristique est utilisée à plusieurs endroits dans le processus de formation de l'écoulement, pour déterminer en particulier:

- i) la nature solide ou liquide de la précipitation;
- ii) l'évaporation;
- iii) la fonte.

Pour déterminer la valeur de la température sur chacune des parcelles où on calcule la production, on procède d'abord au calcul d'un gradient vertical linéaire de température pour chaque jour de simulation. Ce gradient est établi par la méthode des moindres carrés appliquée aux données d'altitudes et de températures journalières des stations météorologiques utilisées. Notons que sur une base annuelle, la température moyenne diminue de 4.5°F pour chaque 1000 pieds d'altitude. Cependant, ce gradient peut varier considérablement sur une base de temps plus courte (journée). De plus, pour tenir compte d'une zonalité nord-sud de la température, nous introduisons un facteur de correction établi à l'aide des cartes de température saisonnière du Québec septentrional (Service

météorologique du Canada, 1970). Cette zonalité nord-sud est particulièrement évidente pour le printemps, saison où la crue maximale probable doit être calculée. Cette correction n'était pas comprise dans le modèle original.

3.3.3 Fonte des neiges

Le sous-modèle de fonte représenté par la figure 3.2 repose sur une méthode de degrés-jours tenant compte de l'influence :

- i) de la présence ou de l'absence de forêt;
- ii) de la répartition géographique à grande échelle de la neige en fonction de l'altitude des parcelles et de la localisation des stations météorologiques;
- iii) du déficit calorifique du stock de neige;
- iv) du murissement du stock;
- v) du pourcentage d'heures d'ensoleillement;
- vi) des précipitations liquides;
- vii) de la variabilité spatiale de la température.

Nous traitons parallèlement les deux cas possibles de présence ou d'absence de forêt et ce, en utilisant des valeurs différentes pour le seuil de température de fonte et le taux de fonte potentiel.

Au début de la période de fonte, nous tenons compte de deux phénomènes principaux qui retardent la disponibilité immédiate de l'eau de fonte: d'abord, le réchauffement du stock de neige jusqu'à une température voisine d'un seuil de transformation (environ 25°F); ensuite, le murissement du stock, c'est-à-dire une saturation graduelle du stock de neige par de l'eau en phase liquide.

Le déficit thermique s'évalue selon la température du stock de neige qu'on détermine à partir de la température moyenne

de l'air et de la température du stock le jour précédent.

$$T^{\circ}_{\text{stock } j} = (T^{\circ}_{\text{stock } j-1}) \times \text{coef} + T^{\circ}_{\text{air}} \times (1-\text{coef}) \quad (3-2)$$

Cette fonction a donc pour effet, d'une part, de traduire le retard entre l'évolution de la température de l'air et la température du stock et, d'autre part, de diminuer notablement l'amplitude des variations de température du manteau nival.

A chaque pas de temps, nous évaluons d'abord la fonte potentielle, c'est-à-dire la lame d'eau de fonte qui serait effectivement libérée par un stock de neige complètement mûr. La fonte potentielle sous couvert ou à découvert est linéairement dépendante de l'écart entre la température moyenne journalière de l'air ambiant et le seuil de température de fonte de la neige. Notons que cet écart est lui-même modulé par la durée d'ensoleillement définie à la section 3.3.5 sur l'évapotranspiration. Cette eau de fonte, ajoutée à la pluie, s'il y a lieu, introduit une quantité de chaleur donnée à l'intérieur du stock. Si cet apport calorifique est suffisant pour combler le déficit du stock, alors le processus de libération de l'eau pourra être amorcé. Si non, l'eau gèlera dans le stock et celui-ci sera augmenté d'autant en équivalent-eau.

Lorsque le déficit thermique est comblé, jusqu'au seuil de transformation du stock ($\approx 25^{\circ}\text{F}$), le stock de neige commence à accumuler de l'eau liquide. C'est ce que nous appelons le mûrissement. Ce phénomène détermine la proportion de l'eau fondue dans les couches superficielles de neige qui pourra être effectivement libérée et introduite dans le modèle vertical de production.

eau fondue libérée = eau fondue x coefficient de mûrissement.
 coefficient de mûrissement = le minimum de

$$1.0 \text{ ou } \frac{T^0_{\text{cumulée}} \times TF}{SN} \quad (3-3)$$

où

$$T^0_{\text{cumulée}} = \sum_{n=1}^{n=j} (\bar{T}_n - T_S) \quad (3-4)$$

T_S est le seuil de température de transformation du stock ($\approx 25^{\circ}\text{F}$).

TF est le taux de fonte sous-couvert forestier ou à découvert, selon le cas ($\text{po}/^{\circ}\text{F}/\text{jour}$).

SN est le stock de neige sous-couvert ou à découvert selon le cas (po).

Lorsque la température du stock de neige atteint le seuil de température de fonte, la quantité d'eau libérée par le stock de neige est prise égale au taux de fonte potentiel. Il s'agit alors de faire un bilan quotidien du stock de neige sous couvert ou à découvert, à partir de la connaissance de la lame d'eau de fonte.

Notons que l'eau libérée au jour j par la fonte est introduite dans le modèle vertical de production au même titre que la précipitation liquide en été. L'eau libérée au cours du processus pourra donc servir à combler le déficit en eau des zones superficielles du sol et de la nappe souterraine.

3.3.4 Ruissellement superficiel

Lorsqu'un apport d'eau suffisant provenant de la pluie ou de la fonte de neige permet au niveau du réservoir supérieur (sol) de dépasser le seuil de rétention maximale, alors l'excédent d'eau

est immédiatement disponible pour le ruissellement superficiel (figure 3.2).

donc

$$R = (P \text{ ou } F) + HS - E - (HM) \quad (3-5)$$

où

P = précipitation liquide (po)

F = lame d'eau fondue (po)

HS = niveau du réservoir supérieur (po)

E = évaporation (po)

HM = rétention maximale (po)

Notons que certaines versions du modèle comprennent des orifices permettant de tenir compte du ruissellement retardé (vidange rapide) et de l'écoulement hypodermique. L'insuffisance de données ne nous permet pas pour la rivière La Grande de tenir compte de ces phénomènes.

3.3.5 Evapotranspiration

Cette composante de la fonction production est essentiellement basée sur la méthode de Thornthwaite modifiée pour tenir compte:

- i) de la durée moyenne d'ensoleillement (longueur du jour) en fonction de la latitude et du jour de l'année;
- ii) de l'eau disponible dans la couche superficielle de sol;
- iii) de la température moyenne pour chaque jour de simulation.

Brièvement, la méthode consiste à évaluer l'évapotranspiration potentielle selon la formule suivante:

$$ETP = .0213 \times (\text{HEURE}) \times \frac{(5.55 \times (T - 32))^A}{I} \quad (3-6)$$

- où ETP = évapotranspiration potentielle selon Thomthwaite (po);
 T = température moyenne de la journée considérée (°F);
 A = un exposant calculé à l'aide de l'indice thermique annuel I;
 HEURE = un facteur pour tenir compte de la durée moyenne d'ensoleillement selon le jour et la latitude du point considéré.

$$\text{HEURE} = \text{arc cos} (-\tan (\text{arc sin} (.41 \times \text{sin} (.0172 \times (J-80)))))) \times \frac{\text{TAPHI}}{1.57}$$
 (3-7)

- où J = 1, 2, 3, ..., 365; et
 TAPHI = tan (latitude).

Une fois l'ETP déterminée, on entre dans le schéma de production où l'évapotranspiration réelle est déterminée en tenant compte du stock d'eau disponible dans le réservoir-sol. Cette détermination est faite selon la méthode exposée dans la figure 3.2.

3.3.6 Vidange et recharge de la nappe profonde

La vidange de la nappe profonde dépend linéairement de la hauteur du stock d'eau disponible dans le réservoir inférieur. Le coefficient de vidange est évalué à partir de l'observation du tarissement d'hiver.

$$QN = XKN \times HN \text{ pour une journée} \quad (3-8)$$

- où XKN = coefficient de vidange;
 HN = lame d'eau de la nappe profonde.

Cette vidange est immédiatement disponible pour le transfert vers l'aval.

La recharge de la nappe s'effectue par l'infiltration calculée de la façon suivante:

$$I = XINF \times (HS - HINF) \quad (3-9)$$

- où XINF = coefficient d'infiltration;
 HINF = seuil d'infiltration.

Le coefficient d'infiltration XINF est connu de façon approximative et ajusté selon le comportement du modèle.

3.3.7 Production à partir des lacs

Nous avons tenu compte précédemment dans le schéma de formation de l'écoulement des termes du bilan de l'eau sur la partie terrestre. Le bilan en eau sur la partie eau libre (lacs, réseau hydrographique) s'évalue simplement par la formule:

$$\Delta H = P - E \quad (3-10)$$

où

H = est la hauteur de la retenue

P = est la pluie

E = est l'évaporation

La production d'eau de ruissellement provenant des lacs est intimement liée à la dimension des lacs, donc du volume de stockage. Pour les petits lacs où l'influence n'est bien souvent qu'horaire ou semi-journalière, la simple application du bilan précédent suffit à évaluer correctement la production. Cependant, pour des lacs plus grands et situés sur le réseau de transfert, l'influence peut devenir journalière, hebdomadaire, ou plus. Dans ce cas, nous devons restructurer ces lacs et introduire cette influence dans la modulation du transfert de l'écoulement vers l'aval. Nous y reviendrons plus loin dans la section 3.4 (fonction de transfert).

3.3.8 Zones et parcelles

Cette notion de zone est fondée sur l'isochronisme des eaux de ruissellement du bassin. Une "ligne isochrone" est consti-

tuée d'un ensemble de carreaux du bassin dont les eaux parcourent la distance vers l'exutoire dans un temps égal. Ce temps de parcours est évalué par le nombre de carreaux à parcourir en aval. En réalité, le temps de parcours ne dépend pas linéairement du nombre de carreaux transités; cependant, cette notion est valide en première approximation. Mentionnons que lors du calcul du transfert de l'écoulement vers l'aval, nous introduisons une notion de coefficient de transfert liée à la physiographie et qui permet de tenir compte de la non-linéarité du processus de transfert.

Une fois établie chacune des "lignes isochrones" du bassin avec un pas de un carreau, on regroupe les lignes en "bandes isochrones" dont le pas de temps correspond approximativement à une journée. Une "zone isochrone" est constituée par un ensemble de carreaux appartenant à la même bande et dont les eaux convergent vers le même carreau en aval de la bande (cf. figure 3.3).

Pour chaque zone, on calcule un certain nombre de caractéristiques physiographiques moyennes qui nous serviront dans la modulation du transfert, en particulier:

- i) superficie de la zone;
- ii) superficie de la forêt;
- iii) superficie des lacs et marécages;
- iv) superficie totale du bassin versant en amont;
- v) coefficient de transfert de la zone.

Les "parcelles" sont constituées d'un ensemble de carreaux appartenant à la même "zone" et affectés à la même station météorologique par la méthode de Thiessen.

Pour chaque "parcelle" du bassin, on calcule la moyenne d'un certain nombre de caractéristiques qui nous serviront lors du cal-

Il s'agit donc de définir mathématiquement deux phénomènes illustrés à la figure 3.4.

- i) le processus de transfert de l'écoulement de l'amont à l'aval de chaque zone;
- ii) l'étalement de la production sur la zone.

3.4.1 Transfert de zone en amont à zone en aval

Ce processus affecte le transfert des eaux à travers le réseau hydrographique principal de la zone. La modulation de l'écoulement n'est donc influencée que par les caractéristiques des carreaux partiels chevauchant le lit du cours d'eau principal. Ce cheminement étant connu à l'aide de la banque de drainage, il ne nous reste qu'à représenter mathématiquement cette influence.

Soit $S A_j$ le volume de ruissellement disponible au jour j à partir de l'apport en amont et du stock initial avant le transfert et $XKTJ$ la fraction du volume $S A_j$ qui sort d'un carreau partiel après une journée. Ce paramètre désigné sous le nom de coefficient de transfert journalier représente donc l'effet d'étalement dans le temps d'un carreau. Le volume qui sort du carreau après une journée sera:

$$S A_j \times XKTJ \quad (3-13)$$

et le volume qui reste:

$$S A_j (1 - XKTJ) \quad (3-14)$$

Si on considère l'ensemble des carreaux qui chevauchent le réseau hydrographique principal traversant une zone, le coefficient de transfert journalier de la zone sera:

$$XKT = \prod_{k=i-NCPJ\emptyset}^i XKTJ_k \quad (3-15)$$

\prod étant la fonction produit;
 $NCPJ\emptyset$ étant le nombre de carreaux transités à travers une zone ou une bande isochrone.

Le problème consiste donc à évaluer le coefficient de transfert $XKTJ$ de chaque carreau du réseau principal de telle sorte que la modulation de l'écoulement soit bien prise en compte. Le modèle HCO2000 évalue ce coefficient de la façon suivante:

$$XKTJ = 1 - \text{EXP}(-\text{EXXKT}) \left(\frac{BV}{SL} \right) \quad (3-16)$$

où

$$\text{EXXKT} = .004$$

BV = superficie du bassin versant amont au carreau

SL = superficie des lacs restructurés

En effet, les lacs ont pour effet de laminer l'écoulement et cette relation en tient compte. En pratique, certains lacs de grande superficie doivent être restructurés pour tenir compte de façon plus précise de leur influence. Nous exposons plus loin cette technique.

3.4.2 Étalement de la production sur la zone

Pour une zone donnée, la production provenant des carreaux propres à cette zone subit une modulation avant d'aboutir à l'aval de la zone et entreprendre son cheminement sur le réseau principal des zones en aval. Il s'agit donc d'étaler dans le temps les apports propres à la zone.

Dans le cas particulier d'une lame homogène produite sur chacun des carreaux constitutifs de la zone, l'étalement décrivant les apports modulés de la zone peut être assimilé à une fraction B du volume total produit au premier pas de temps et à une fraction B(1-B) pour le jour suivant et ainsi de suite. Pour une zone sans lac, B reste très voisin de 1, tandis que pour une zone comprenant de nombreux lacs cette fraction peut être très petite avec une valeur pouvant atteindre 0.2 à .05 selon le pourcentage de lacs. En pratique on évalue ce coefficient sur chaque parcelle où se calcule la production (figure 3.4). Le "coefficient d'étalement" est donc défini comme étant la fraction de l'eau produite sur une parcelle qui se libère de tous les carreaux de celle-ci compte tenu des caractéristiques physiographiques de chaque carreau (stockage dans le réseau et les lacs) et se rend disponible pour le transfert vers l'aval de la zone (Girard 1972, modèle matriciel HCØ 2000, rapport-interne).

Ce coefficient est établi à l'aide du coefficient de transfert journalier XKTJ des carreaux partiels de chaque parcelle et d'une pondération arithmétique à partir de la superficie des carreaux.

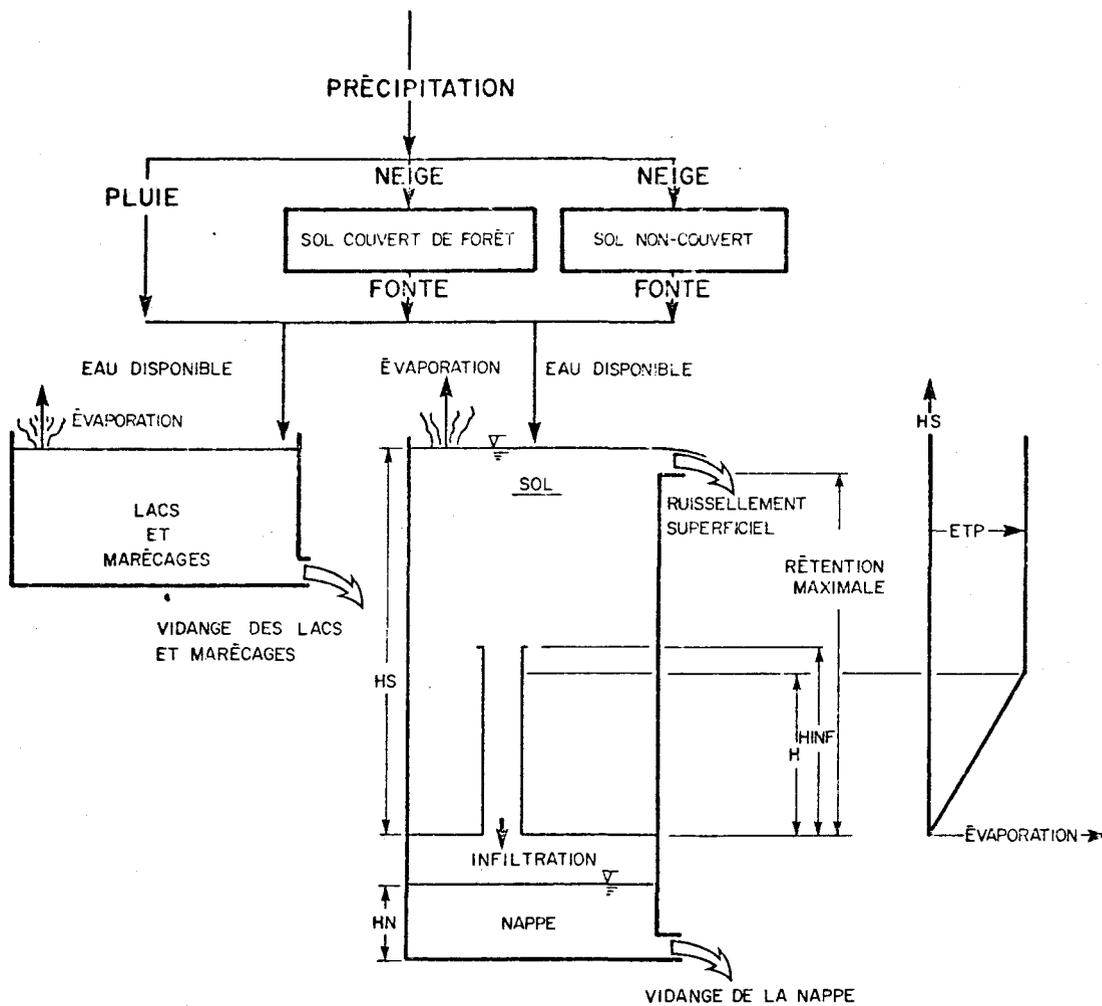
$$B = \sum_{k=1}^N XKTJ_k \times \frac{SCP_k}{SP} \quad (3-17)$$

où

- N = nombre de carreaux partiels sur la parcelle considérée
- SCP_k = superficie du carreau partiel k
- SP = superficie de la parcelle considérée

3.4.3 Restructuration des lacs

Cette technique consiste à concentrer la superficie d'un grand lac sur le carreau partiel le plus en aval de ce lac. Souvent, les lacs ayant 100 km² ou plus chevauchent deux ou plusieurs carreaux partiels de telle sorte que la banque de données physiographiques ne permet pas de tenir compte globalement et à priori de l'influence de ces lacs. Il est donc nécessaire de les restructurer dans la banque en concentrant toute la superficie sur un seul carreau et en transférant les apports directs sur ce même carreau. Le cas du lac Sakami est particulièrement évident pour la rivière La Grande.



HINF = Niveau de prélèvement pour l'infiltration
vers la nappe
H = Niveau de E.T.P.

FIG 3-2 . Schéma de production - MODÈLE HC Ø 2,000 .

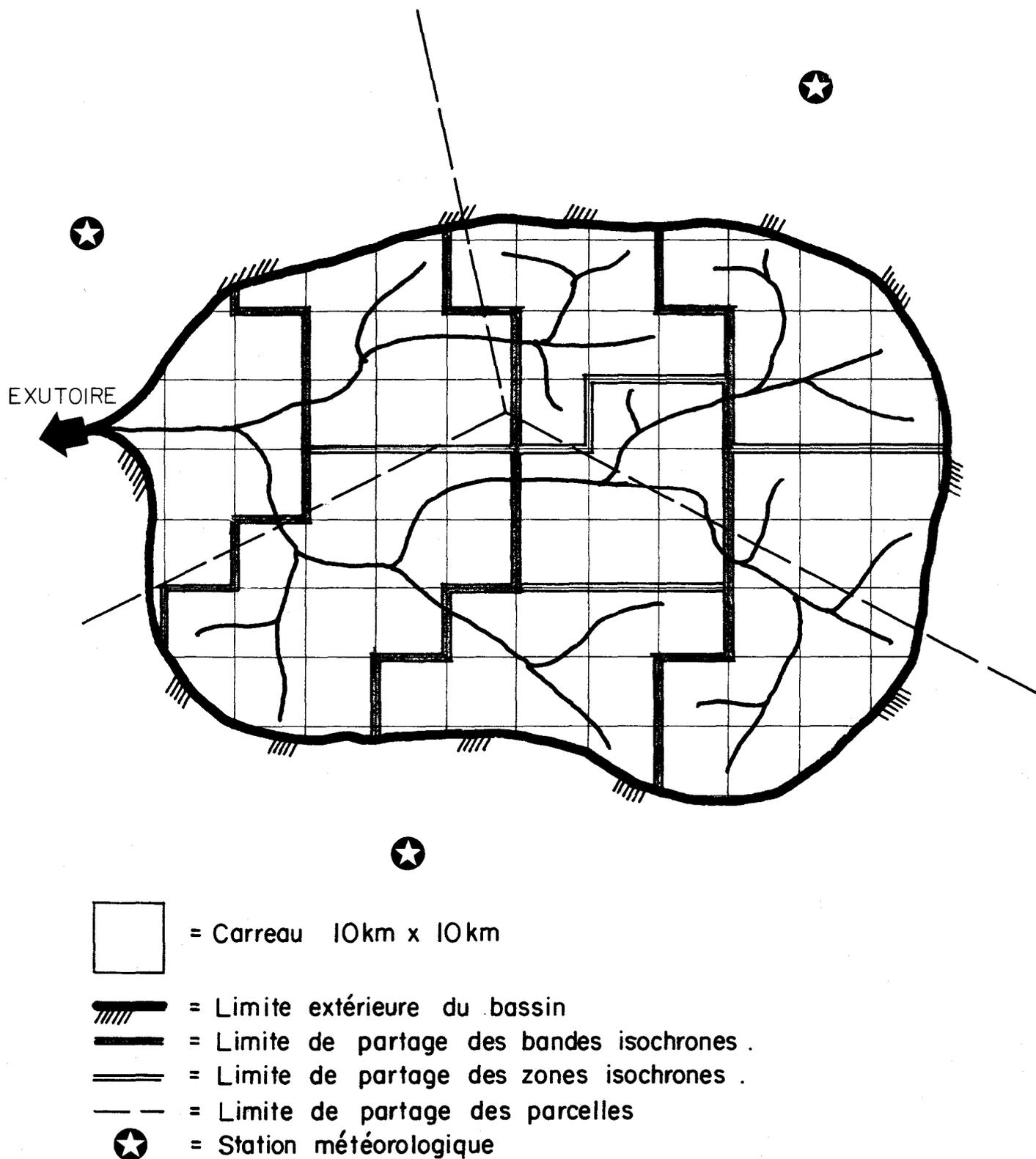
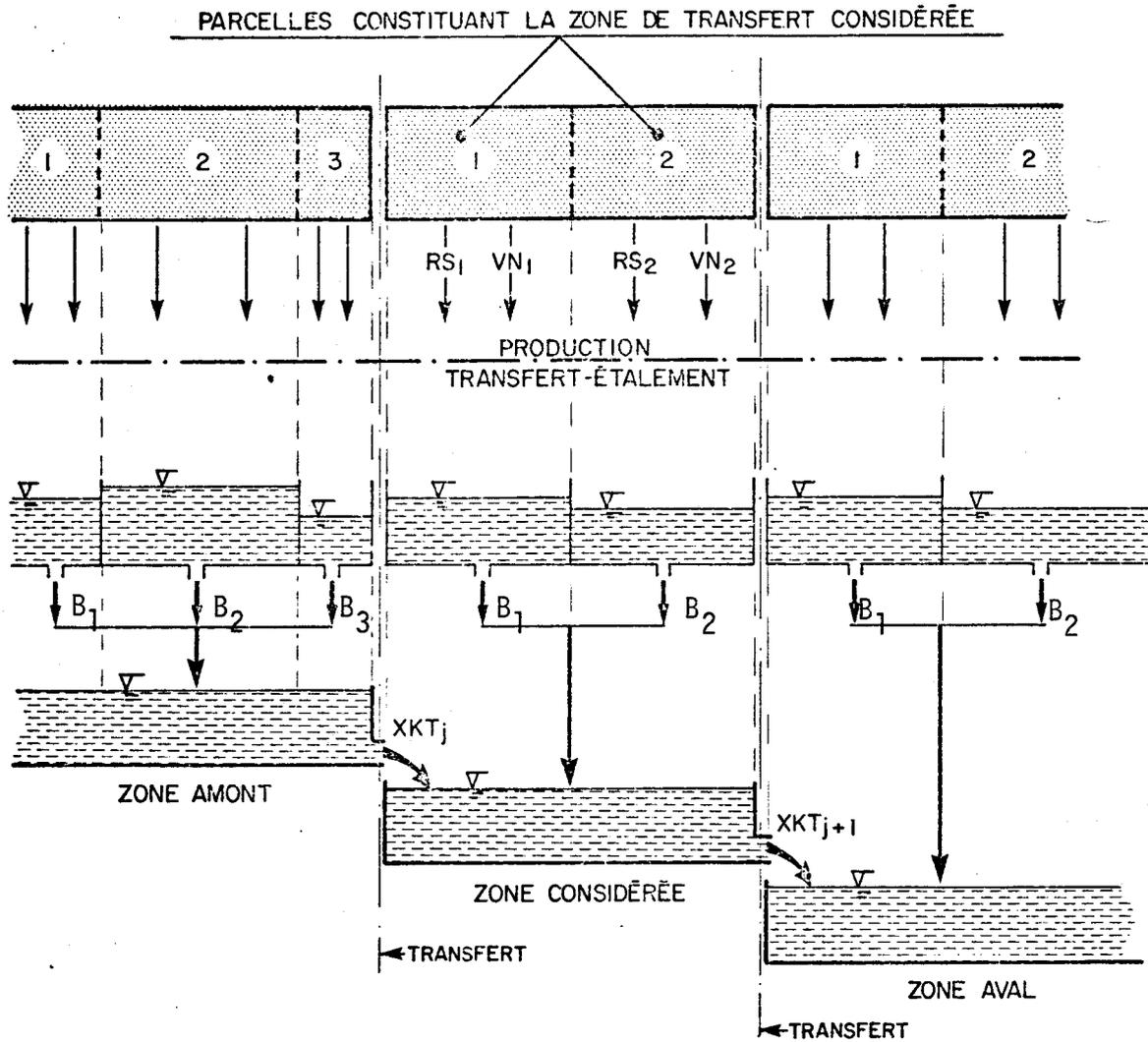


FIG 3-3 . Principe de la formation des bandes et zones isochrones et des parcelles .



B_i : coefficient d'étalement de la parcelle i

RS_i : ruissellement superficiel provenant de la i ème parcelle de la zone de transfert considérée

VN_i : vidange de la nappe de la même parcelle

XKT_j : coefficient de transfert de la zone j

FIG. 3-4 . Schéma de transfert-modèle HCØ 2,000.

4. DONNEES

4.1 Données disponibles

4.1.1 Données physiographiques

En 1970 et 1971, dans le cadre de l'étude "Rationalisation du Réseau Hydrométrique du Québec" (Villeneuve et al., 1971), une banque de données physiographiques a été constituée. Cette banque fournit les caractéristiques physiques (superficie des lacs, superficie de la forêt, superficie des marécages, population, élévation moyenne, pente, azimuth de la pente, distance à la mer, effet bouclier, etc...) et la structuration du drainage pour toutes les surfaces élémentaires de 10 km par 10 km du territoire québécois, (direction de l'écoulement, superficie contribuant à l'écoulement dans la direction donnée, etc...).

Cette banque est composée de quatre (4) filières dont la description est donnée en annexe A-1.

- 1) Données physiographiques sur des carreaux entiers (10x10km);
- 2) Données de drainage;
- 3) Données de structuration (index);
- 4) Inventaire des carreaux partiels appartenant aux bassins de drainage.

4.1.2 Données de débits

Le Service de l'Hydrométrie du Ministère des Richesses Naturelles effectue des mesures de débits sur le bassin de la Grande depuis 1960. Le tableau 4.1 présente la liste des stations hydrométriques situées sur le bassin ainsi que les années pour lesquelles les données

étaient disponibles sous forme mécanographique au début de juillet 1973.

4.1.3 Données météorologiques

Les données météorologiques disponibles dans la "région" du bassin de La Grande proviennent de stations synoptiques ou climatologiques et sont fournies par le Service de l'Environnement Atmosphérique (Environnement Canada) ou par le Service de Météorologie du Ministère des Richesses Naturelles. La liste des stations de cette région et leur durée d'opération sont données au tableau 4.2.

Les variates météorologiques journalières disponibles à ces stations sont les températures maximales et minimales ainsi que les précipitations liquides et solides.

4.2 Données utilisées pour le calage du modèle

4.2.1 Données physiographiques

Le bassin de la rivière La Grande est divisé en 1,113 carreaux entiers de 10 km x 10 km constitués à partir de 1,729 carreaux partiels. C'est la juxtaposition ordonnée de ces carreaux qui permet de reconstituer le bassin.

Les caractéristiques physiques suivantes sont utilisées dans le modèle HCØ 2000: superficie des lacs, superficie boisée, superficie des marais et élévation moyenne. Ces caractéristiques sont fournies pour chaque carreau; on retrouve en annexe A-2 la définition complète de la matrice dans laquelle on retrouve ces caractéristiques.

On retrouve de plus dans cette matrice toutes les indications

concernant la structuration du drainage. Ceci permet d'établir le cheminement de l'eau d'un carreau à l'autre vers l'exutoire. Cette aptitude de la banque physiographique est pleinement utilisée dans le modèle HCØ 2000 et elle est la base même du transfert de l'eau.

4.2.2 Données de débits

Le calage du modèle nécessite en moyenne l'utilisation de trois (3) années d'observation. Le but de l'étude étant la simulation des hydrogrammes de crue, nous avons voulu mettre un accent plus particulier sur les pointes de débit. A cette fin, dans les séries chronologiques, nous avons choisi pour le calage les années 1963, 1964 et 1965, car elles présentent des débits de crue consécutifs dont l'amplitude est importante. Ainsi, à la station 092704, à l'exutoire du bassin, on a observé:

	63	146,000 pi ³ /sec	
printemps	64	155,000 pi ³ /sec	moy. 14 ans : 147,290 pi ³ /sec
	65	182,000 pi ³ /sec	écart-type : 40,309 pi ³ /sec
	63	48,000 pi ³ /sec	
automne	64	112,000 pi ³ /sec	moy. 13 ans : 103,308 pi ³ /sec
	65	124,000 pi ³ /sec	écart-type : 25,857 pi ³ /sec

Les débits utilisés pour le calage sont ceux observés aux stations 092704, 092702, 092703 et 092708. (Figure 4.1). Les stations 02, 03 et 04 étant situées sur le cours d'eau principal, il est donc normal de les utiliser dans le calage.

Quant à la station 08, elle est utilisée pour vérifier l'effet du calage sur un sous-bassin qui se jette dans le cours principal.

Les données de débit des années 1966 et 1967 ont servi à vérifier la validité du calage. Pour cette vérification, nous avons utilisé une station hydrométrique de plus que lors du calage, la station 092717; celle-ci n'avait pu être utilisée auparavant puisque les observations à cette station ne débutent qu'en 1966. Son utilisation dans la vérification est justifiée par le fait qu'elle est la seule station à proximité d'un des sites d'ouvrages.

4.2.3 Données météorologiques

Le modèle utilise les données météorologiques suivantes: les précipitations liquide et solide et les températures minimale et maximale de chaque jour.

Seulement trois stations ont été retenues dans le modèle dont une seule, la station Nitchequon, se situe sur le bassin. Les deux autres stations sont "Poste de la Baleine" et "Eastmain". Ce nombre restreint de stations découle de la faible densité des stations météorologiques dans la région, ajoutée au manque de concomitance des courtes séries de données provenant de stations géographiquement bien situées. Par exemple, on a éliminé la station de Fort-Georges car elle ne comporte qu'une année de données complètes et concomitantes avec les autres stations pendant la période de 1961 à 1971. La zone d'influence propre à chaque station sur le bassin est déterminée en utilisant la méthode de Thiessen.

4.2.4 Critique des données utilisées

Si l'influence de la qualité et la qualité elle-même des données concernant les caractéristiques physiques sont difficiles à évaluer, il n'en est pas de même pour l'organisation du drainage. Le cheminement de l'eau à travers les multiples carreaux du bassin a été vérifié et nous pouvons affirmer que ces données sont d'excellente qualité.

Les données de débit doivent être utilisées avec certaines réserves; elles sont influencées en hiver par l'effet des glaces et les valeurs manquantes sont estimées, soit par extrapolation ou interpolation, soit à partir de corrélation avec d'autres stations.

Deux des stations météorologiques utilisées sont des stations synoptiques, Nitchequon et Poste de la Baleine; on doit considérer que les données provenant de ces stations sont d'excellente qualité. La qualité des données recueillies à la station Eastmain ne peut être mise en doute, mais il existe des vides dans la série chronologique. La remarque la plus importante concernant les données météorologiques se rapporte à l'insuffisance du nombre de stations sur le bassin; il faut être circonspect quant à la représentativité des trois stations pour l'ensemble du bassin. Si cette représentativité peut amener des erreurs pour la simulation des événements normaux, il n'en est pas de même pour la simulation des événements extrêmes. En effet, l'évènement météorologique qui conduit à un débit extrême devra s'étendre à tout le bassin à la fois, alors que l'évènement moyen ne s'étend pas nécessairement à toute la zone d'influence de la station.

Il faut aussi noter que deux stations, Eastmain et Poste de la Baleine, sont situées sur le bord de la mer, donc influencées par celle-ci; ces stations ne sont pas toujours représentatives de ce qui se passe sur le bassin.

4.3 Calage du modèle

Le calage du modèle consiste à faire varier si nécessaire certains paramètres du modèle afin de déterminer les valeurs qui permettent d'obtenir une reproduction optimale des hydrogrammes de la période utilisée pour le calage.

Après évaluation par des méthodes traditionnelles du temps de concentration, et après une inspection des hydrogrammes observés, nous avons établi le temps de concentration à dix (10) jours. Le temps de concentration correspond au temps que prend l'eau pour parvenir du point le plus en amont du bassin à l'exutoire. Dans ce cheminement, l'eau doit franchir 92 carreaux entiers. Cette dernière observation nous permet de définir pour le modèle, dix (10) bandes isochrones (~ 1 jour) larges de neuf (9) carreaux.

Selon la méthode exposée à la section 3.3.8, on construit 51 zones et 78 parcelles à partir des 1,729 carreaux partiels constituant l'ensemble du bassin (Figure 4.2).

Cette dernière opération étant faite, on peut procéder aux essais de reproduction des hydrogrammes de calage.

N'ayant aucune information préalable sur la nécessité de modifier les valeurs des paramètres du modèle, on a procédé à un premier essai en utilisant les valeurs qui avaient été fixées lors de l'exploitation du modèle sur le bassin de la Rivière Bell.

Les résultats de ce premier essai sont très satisfaisants, démontrant du même coup l'excellente transposabilité du modèle, du moins pour le Québec.

Si les résultats sont très satisfaisants, ils présentent quand même certains écarts qui peuvent être corrigés en agissant sur les paramètres appropriés du modèle.

Ces imperfections se traduisent par des décalages de pointes de crues et par une mauvaise forme de la crue à certaines stations. Quelques essais successifs ont permis de modifier les paramètres de telle sorte que ces écarts soient corrigés le mieux possible. Des dix-neuf

(19) paramètres utilisés pour l'exploitation sur le bassin de la Bell, seulement six (6) ont vu leur valeur légèrement modifiée; on a cependant dû ajouter deux (2) autres paramètres pour tenir compte des conditions de l'étude actuelle.

La liste suivante donne les paramètres qui interviennent dans le modèle ainsi que les valeurs fixées pour la Rivière La Grande.

4.3.1 Paramètres intervenant dans le modèle HC02000

1. Paramètres déterminés indépendamment du modèle:
 - Index thermique de Thornthwaite : 32⁰F
 - Augmentation de la pluie en pouce par 10 pieds d'altitude : .009

2. Paramètres intervenant dans le modèle de fonte:
 - Seuil de fonte sous couvert et à découvert : 32 et 27⁰F
 - Taux de fonte sous couvert et à découvert : .05 et .05 po/⁰F/jour
 - Coefficient du déficit calorifique: .70
 - Niveau de transformation du stock: 25⁰F

3. Paramètres intervenant dans le modèle "production":
 - Niveau de prélèvement à ETP potentielle : 2.4 po.
 - Retention maximale : 3 po.
 - Hauteur de prélèvement par infiltration : 2.61 po.
 - Taux d'évaporation de la nappe : 0.0
 - Coefficient de vidange des marais : .02
 - Coefficient de vidange intermédiaire : 0.0
 - Coefficient de vidange de la nappe : .015
 - Coefficient d'infiltration : .3
 - Infiltration maximale : .4 po.

4. Paramètres intervenant dans le modèle de "transfert":

- Temps de concentration : 10 jours
- Paramètre du coefficient de transfert (EXXKT , cf. section, 3.4.1) : .004

Avant de donner les valeurs de l'initialisation des stocks, il est intéressant de regarder les paramètres qui ont été modifiés et les raisons qui ont amené ces modifications, ainsi que les deux (2) paramètres supplémentaires qu'on a dû introduire.

Le seuil de fonte sous couvert forestier est passé de 32°F à 29°F et le taux de fonte sous le même couvert de .04 à .5 po./°F/jour pour tenir compte de la végétation particulière du bassin décrite dans la section 1.

Lors de premier essai, on avait remarqué une trop grande avance des pointes de débit reproduites sur celles observées; le paramètre du coefficient de transfert a été modifié de .005 à .004 pour diminuer cette avance.

La nature du sous-sol, la capacité de stockage et la vidange de la nappe n'étant pas les mêmes que sur la Bell, il a fallu modifier la hauteur de prélèvement par infiltration qui est passée de 2.85 po. à 2.61 po. ainsi que le coefficient de vidange qui est passé de .02 à .015.

Pour ce qui est du temps de concentration, il va de soi qu'on devait le modifier puisqu'il est différent, par sa définition, d'un bassin à l'autre.

En raison des buts poursuivis par cette étude, qui est l'évaluation des événements extrêmes, il a fallu fixer une hauteur maximale pour la nappe profonde; ce qui revient à fixer le volume maximal total qui peut être stocké dans la nappe. Cette hauteur corres-

pond normalement à la saturation du volume correspondant à la porosité efficace du sol, saturation qui n'est pratiquement jamais atteinte lorsque nous travaillons avec des données normales observées.

Pour combler la carence de représentativité des stations météorologiques en rapport avec leurs zones d'influence, on a introduit une correction de température en fonction de la latitude ($2.7^{\circ}\text{F}/100\text{ km}$ en direction nord-sud) en plus de la correction déjà assumée pour l'altitude.

4.3.2 Initialisation des stocks

Avant de commencer la simulation des séries chronologiques de débits, l'état hydrologique initial du bassin doit être connu. Cet état est caractérisé dans le modèle par le niveau des différents réservoirs. Suite à l'expérience acquise lors de l'élaboration du modèle et des essais répétés sur différents bassins (Bell, Kinojévis, ...), les stocks du modèle ont été initialisés aux valeurs suivantes :

- Stock de neige (en équivalent-eau) sous couvert forestier et à découvert dans la zone d'influence de la station météorologique de:

{	Poste de la Baleine: 5.5-5.5 po
	Eastmain 5.5-5.5 po
	Nitchequon: 4.8-4.8 po.
- retention initiale : 2.5 po.
- stock dans la nappe profonde : 2 po.
- stock dans les marais : 10 po.
- débit initial : $25,400\text{ pi}^3/\text{sec}$

No.	NOM	B.V. EN MI.Ca.	LATITUDE	LONGITUDE	DEBUT*	FIN	COMMENTAIRES
92702	La Grande-Rivière à 5.0 mi. en aval de la Sakami	28,900	76 ⁰ 47'	53.41	1960	1969	
92703	La Grande-Rivière à 5.9 mi. en amont de la De Pontois	14,900	74 ⁰ 32'	53.38	1960	1971	
92704	La Grande-Rivière à 2.0 mi. en aval de l'Achazi	37,200	78 ⁰ 34'	53.44	1958	1971	58-59 60
92705	Kanaaupscow à 0.8 mi. en amont du ruisseau Poutre	6,680	76 ⁰ 59'	53.45	1960	1961	
92706	Kanaaupscow à 2,4 mi. en amont du ruisseau Poutre	6,680	76 ⁰ 59'	53.45	1961	1971	
92707	Sakami à 1.4 mi. de la Grande-Rivière	4,200	76 ⁰ 39'	53.39	1960	1971	
92708	De Pontois à 2.8 mi. de la Grande-Rivière	6,750	74 ⁰ 42'	53.37	1960	1971	
92715	De Pontois à 15.1 mi. en amont de la Sakami	4,570	74 ⁰ 28'	53.10	1960	1970	
92717	La Forge à 4.3 mi. de la Grande-Rivière	4,170	73 ⁰ 28'	53.57	1965	1971	

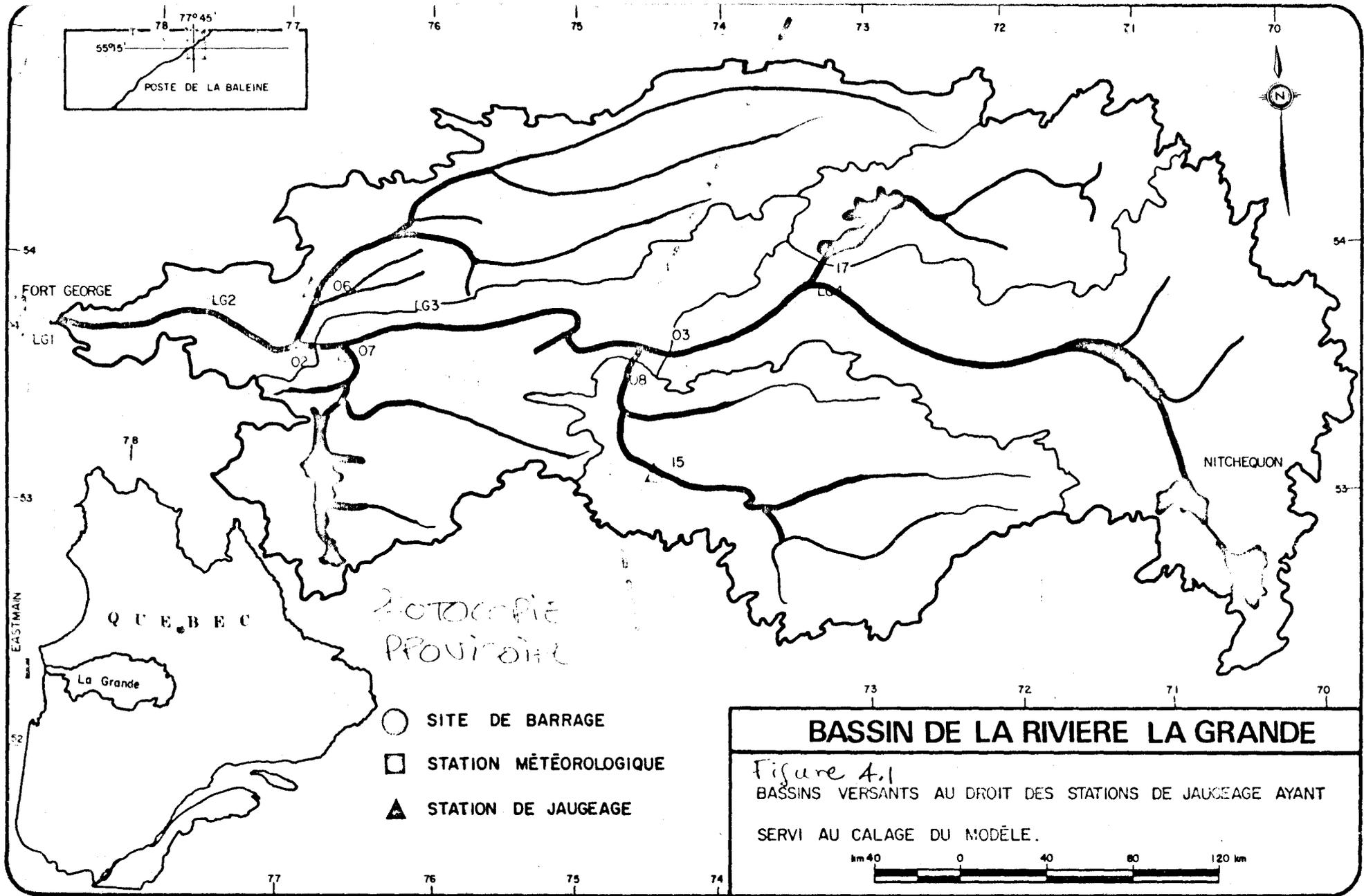
TABLEAU 4.1 Stations hydrométriques sur le bassin versant de la rivière La Grande

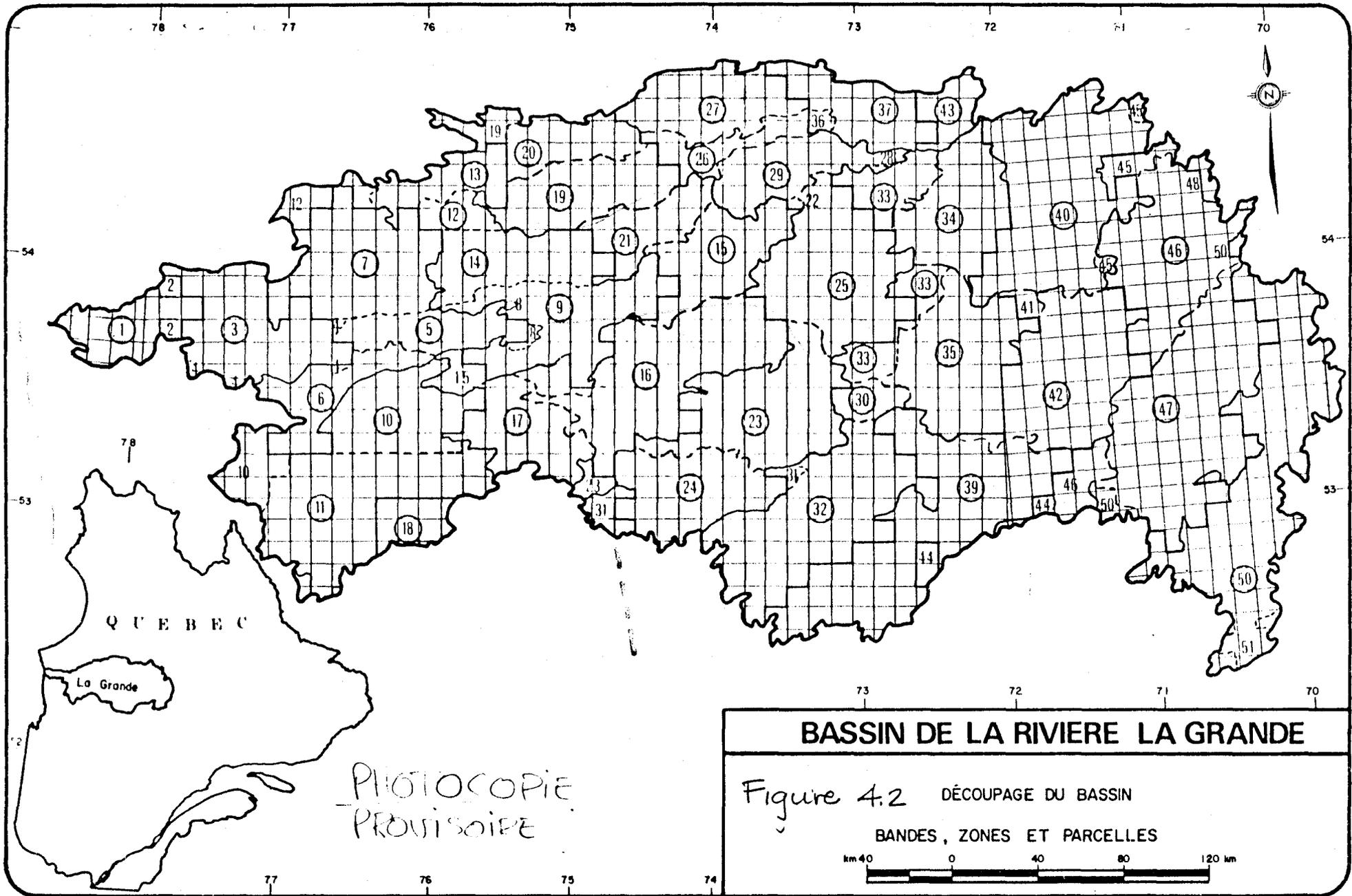
* Données disponibles sous forme mécanographique en juin 1973.

NOM	No. PROVINCIAL	No. FEDERAL	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (pieds)	DEBUT*	FIN	COMMENTAIRES
Fort George	433	7,092,480	53°50'	79°00'	22	1915	1972	
Nitchequon	455	7,095,480	53°12'	70°54'	1,709	1942	1972	
Poste de la Baleine	437	7,106,210	55°17'	77°46'	86	1957	1972	Existe aussi 1925-57
Eastmain	510	7,092,305	53°15'	78°30'	20	1960	1972	
Mistassini-Post	417	7,095,000	50°25'	73°53'	1,246	1914	1972	Existe aussi 1879-1900
Gagnon	677	7,042,590	51°57'	68°08'	1,876	1965	1972	
Fort Chimo	432	7,112,400	58°06'	68°25'	117	1917	1972	
Schefferville	470	7,117,825	54°48'	66°49'	1,681	1948	1972	
Nouveau Comptoir	608	7,095,700	52°57'	78°56'	30	1964	1972	
Bonnard	562	7,060,825	50°44'	71°03'	1,660	1961	1972	
Nemiscau	595	7,095,409	51°19'	76°54'	700	1964	1968	

TABLEAU 4.2 Stations météorologiques dans la région du Nouveau-Québec.

* Données disponibles sous forme mécanographique en juin 1973.





5. ANALYSE DES HYDROGRAMMES DE CALAGE

5.1 Calage du modèle

Trois années ont servi au calage du modèle: les années 1963, 1964 et 1965. Les figures 5.1 a, b, e, f, i, j, m, n; et les tableaux 5.1 a, c, e, g, présentent les résultats obtenus une fois le calage du modèle considéré satisfaisant et les valeurs des paramètres fixées. L'année 1965 ne fournissant pas de résultats substantiellement différents de ceux des deux premières années, seules les années 1963 et 1964 seront retenues à titre d'exemple.

Compte tenu du nombre très insuffisant de stations météorologiques sur le bassin, il était souvent difficile de faire la part des choses et d'évaluer si les différences constatées provenaient de données météorologiques non représentatives ou de valeurs non optimales des paramètres du modèle. On en verra un bel exemple dans la vérification du calage.

Il est utile ici de rappeler que seulement une station météorologique est située sur le bassin, soit Nitchequon représentant, dans le modèle, 64.5% du bassin (24,217 mi. car.). Les deux autres stations, Poste de la Baleine et Eastmain, situées sur la côte, à l'extérieur du bassin, représentent respectivement 19.5% et 16% du bassin.

En tenant compte de cette remarque, les hydrogrammes simulés aux diverses stations peuvent être considérés comme très satisfaisants. La comparaison des dates et des valeurs de pointes des crues maximales de printemps se retrouve dans le tableau 5.2, la comparaison des lames dans le tableau 5.3. L'analyse de ces tableaux et des courbes de simulation permet de faire les constatations suivantes:

- La simulation des débits à la station 092704 (figures 5.1 a, b, c, d) est particulièrement bonne: le débit maximal est simulé à 7% près en

1964 et à 13% près en 1963. Le synchronisme est excellent et le déphasage de 8 jours entre les maxima en 1964 est dû uniquement à des fluctuations secondaires superposées à la courbe moyenne simulée.

- Les lames totales écoulées au cours des mois de mai, juin et juillet donnent un déficit de 7% en 1963 et un excédent de .8% en 1964. La comparaison des lames mensuelles donne des écarts de 2% en juin 1963 et de 4% en juin 1964. Les lames annuelles pour les mêmes années s'accordent à 4% et 2% près.
- La comparaison des débits observés et cumulés à la station 092702 (figures 5.1 e, f, g, h) conduit à des constatations similaires: les débits maximaux sont simulés à 18% près en 1963 et à 17% en 1964, le synchronisme est toujours satisfaisant.
- Les écarts entre les lames pour les mois de juin et de juillet sont respectivement de 9% et 5% en 1963 et de 7% et 0% en 1964. La comparaison des lames annuelles n'a pu être effectuée, cette station étant saisonnière pendant ces années (elle a été abandonnée depuis).
- La simulation des débits à la station 092703 (figures 5.1 i, j, k, l) ne peut être considérée comme satisfaisante: en effet, la comparaison des débits maximaux fournit un excédent de 65% en 1963 et de 51% en 1964. Les crues simulées sont plus fortes, plus concentrées dans le temps, et légèrement en avance sur les crues observées. Le sous-bassin correspondant à cette station semble subir un laminage important des crues que le modèle n'arrive pas à reproduire de façon totalement satisfaisante. Il est possible que cette difficulté observée dans la reproduction des hydrogrammes soit due à une restructuration inadéquate des lacs, processus qui repose sur l'analyse des cartes géographiques. La complexité du réseau de lacs, marais et rivières secondaires dans cette partie du bassin serait à l'origine d'inexactitudes dans la définition du sens de l'écoulement.

- Par contre le volume global est conservé, puisque la lame totale écoulée pour les mois de mai, juin et juillet est évaluée à 5% près en 1963 et à 14% près en 1964. Pour le seul mois de juin, on observe des écarts de 2% et 4% pour ces mêmes années, tandis que les lames annuelles s'écartent de 10% et 2% respectivement.
- La simulation des débits à la station 092708 (figures 5.1 m, n, o, p) est à peu près passable. En 1964, la montée de la crue est trop rapide, mais la recession est plus satisfaisante et le synchronisme se conserve par la suite. Une surévaluation de l'épaisseur du manteau nival liée à des températures plus élevées que les températures réellement enregistrées sur ce sous-bassin peuvent être considérées comme causes de cette constatation. Les débits maximaux simulés sont en avance sur les débits observés et l'écart relatif entre ceux-ci est respectivement de 1% en 1963 et de 23% en 1964.
- La comparaison des lames totales pour les mois de mai, juin et juillet donne 0.5% en 1963 et 21% en 1964, alors que les lames du mois de juin donnent des écarts de 3% et de 5% et les lames annuelles 1% et 11%.

Ces divers résultats conduisent à penser que les valeurs fixées pour les paramètres à la suite du calage du modèle permettent de simuler les débits de manière très satisfaisante. Nous allons le vérifier sur les années 1966 et 1967.

5.2 Vérification du calage

On a vérifié la fiabilité du modèle en simulant les débits pour les années 1966 et 1967, à la suite des années 1963, 1964 et 1965, c'est à dire en conservant les stocks initiaux du 31 décembre 1965. La station 092717, entrée en service à la fin de 1965, nous a permis de vérifier la validité spatiale du modèle. En effet notre but étant de simuler les dé-

bits en n'importe quel point du bassin, il est important de comparer les hydrogrammes en un point n'ayant pas servi au calage du modèle.

Les résultats sont présentés dans les figures 5.1 c, d, g, h, k, l, o, p, q, r; et les tableaux 5.1 b, d, f, h, i, 5.2 et 5.3.

On pourrait faire à peu près les mêmes remarques qualitatives que précédemment. On peut noter toutefois, au vu d'une analyse sur cinq années consécutives, qu'il y a absence de tendance systématique dans les réserves souterraines, les débits simulés à la fin de 1967 étant très semblables aux débits observés et ce, après cinq années de simulation. Pour l'année 1966, on observe systématiquement pour chaque station une insuffisance des débits à partir du 165^e jour et ce, tout en conservant un synchronisme pour les petites pointes de crue. Ce décalage ne saurait vraisemblablement être expliqué que par l'occurrence de pluies sur le bassin, dont on ne tient pas compte sur le bassin servant à la simulation, à cause de l'insuffisance des stations météorologiques.

On peut faire les constatations suivantes:

- A la station 092704, le débit maximal est approximé à 1% près en 1966 et à 8% près en 1967. Le synchronisme est excellent. Pour l'été 1966, on observe le décalage cité précédemment. Les lames totales pour les mois de mai, juin et juillet s'accordent à 15% et 6% près en 1966 et 1967, tandis que les lames annuelles ne diffèrent que de 8% et 0%.
- A la station 092702, les débits maximaux sont parfaitement synchronisés; en 1966, on observe un décalage de 6%, alors qu'en 1967, celui-ci monte à 19%. Cette dernière valeur n'a pourtant aucune signification, car pour l'année 1967, une erreur a été faite dans l'estimation des débits. Les débits ont été corrigés à la station 092704, mais pas à la station 092702. Avec une correction semblable à celle effectuée pour la station 092704, on trouverait un écart infime.

- Comme pour les années de calage, on retrouve des crues trop fortes, trop concentrées dans le temps et légèrement en avance à la station 092703. La comparaison des lames conduit à des écarts moyens de 17% en 1966 pour les lames totales de mai, juin et juillet, tandis que pour les lames annuelles on observe des écarts de 4%.
- La comparaison des débits maximaux de crues à la station 092708 fournit un écart de 12% en 1966. Les lames totales pour les mois de mai, juin et juillet diffèrent de 10% et les lames annuelles de 4% pour cette même année.
- La station 092717, qui correspond à un sous bassin de la station 092703, donne un écart de 15% en 1966 entre les débits maximaux observés et calculés. Le synchronisme est bon, mais les débits calculés ont tendance à être moins laminés que les débits observés. La comparaison des lames totales de mai, juin et juillet donne un écart de 7%, en 1966, et la lame annuelle un écart de 16%.

Les statistiques décrites plus haut, compte tenu des données disponibles lors du calage et de leur qualité, confirment l'aptitude du modèle HCØ 2000 à simuler le régime de la rivière La Grande de façon tout à fait satisfaisante, la validité spatiale et temporelle ayant été démontrée.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAY		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
16572	25400	20858	15000	16802	12900	13195	13500	37204	46800	136066	133000	73298	78600	54338	71900	41108	48000	48147	45500	48069	47200	50375	50000
17282	24900	20708	14800	16669	12900	13096	13900	35899	46500	145003	134000	72153	75600	54942	71900	41335	47500	49077	45100	48461	47400	48956	50600
18439	24200	20558	14700	16537	12900	12999	13500	33931	49300	158672	142000	70650	73100	54552	71900	43553	47600	51364	45100	48361	47600	47863	51800
19245	23700	20408	14500	16406	12900	12902	13400	36860	54100	164721	145000	70309	71300	54617	71800	45147	47500	50426	45200	48196	47800	46970	52400
19804	23300	20258	14400	16276	12900	12807	13100	47922	56400	163710	146000	70801	70800	54038	70100	43505	47600	49815	45100	48123	47900	46195	53000
20513	23100	20108	14300	16147	12900	12712	13100	52927	60200	160983	146000	69281	68800	53506	68300	42505	47500	50528	45500	48090	47900	45491	53600
21815	22800	19958	14100	16019	12900	12619	13100	49143	58000	158401	145000	67921	68400	53140	66100	42155	47700	51487	45800	48403	47900	44829	53900
22520	22200	19808	13900	15893	13000	12526	13100	47900	58700	157271	143000	67278	68100	54705	63900	43008	47700	54142	46300	48609	47900	44195	54000
22877	21800	19658	13800	15767	13000	12435	13100	47380	59000	153562	142000	66370	68400	56754	62700	43448	47700	55519	47200	48298	48000	43582	54000
23058	21300	19509	13700	15643	13100	12349	13100	42992	58000	147923	139000	65811	67500	58170	61900	42673	47300	55636	47300	48335	48000	42988	54000
23143	21000	19360	13600	15520	13100	12272	13200	39775	59200	142508	138000	65077	66800	56695	61800	41883	46700	55125	47500	48239	47800	42410	53800
23169	20700	19211	13500	15398	13200	12272	13200	37611	59300	137337	134000	64006	66400	55676	60500	41383	46400	54658	48100	48185	47200	41848	53200
23156	20100	19063	13400	15277	13300	12311	13600	36328	58900	132409	131000	62937	65200	54980	59200	41774	46400	54185	48100	48206	46800	41303	52400
23115	19400	18916	13300	15157	13400	12233	13900	38034	63200	127749	128000	62787	64800	54364	58100	42198	45800	53670	48100	48171	46200	40775	51900
23052	19500	18769	13200	15038	13500	12090	14000	43778	60500	123407	125000	62745	65300	53611	57400	41807	45200	53137	47400	48002	46000	40264	50200
22973	19200	18623	13100	14921	13800	11989	14100	49247	61100	119073	122000	62725	66400	52861	56400	41418	44800	52592	47500	47703	46000	39769	49900
22880	18800	18478	13100	14805	14000	12091	14900	52490	62900	114855	119000	62008	65500	51872	55500	41352	44400	52021	46900	47691	45800	39290	48000
22777	18500	18333	13100	14690	14000	12464	15700	59112	67100	111057	114000	59983	65000	50731	55000	41094	43900	51465	46600	47677	45800	38826	46200
22665	18200	18189	13000	14576	14100	13514	17700	68644	71200	108007	112000	58336	64300	49787	55000	41153	43200	50834	46600	47424	45800	38376	44400
22545	17900	18046	13000	14463	14200	13880	19100	69802	76800	104745	109000	57545	65600	48934	55000	41319	43200	50107	46600	47437	45800	37940	43600
22420	17600	17904	12900	14351	14300	14100	20600	71490	82700	100827	106000	56460	66000	49311	54200	40528	43000	49364	44600	48447	45800	37516	42000
22290	17300	17763	12900	14240	14400	14941	22200	75268	88600	97127	103000	55587	66800	48852	54100	40522	42900	48803	46600	51055	45900	37104	41600
22157	16900	17623	12900	14131	14400	16860	24300	79087	94300	93660	100000	54180	66800	47670	53400	40793	42900	48258	46600	53981	46000	36704	39600
22020	16700	17483	12900	14022	14400	19952	26600	84749	99600	90413	97400	53288	66800	46560	52900	42587	43600	48353	46600	54886	46000	36313	38500
21880	16600	17345	12800	13915	14400	23785	29000	91486	111000	87356	94600	52803	65600	45558	52400	43247	44100	48373	46600	63766	46200	35932	37500
21738	16300	17208	12900	13809	14100	27026	31400	97559	120000	84787	91500	55003	64700	44817	51500	43321	43700	47462	46600	70377	46400	35560	37000
21594	16000	17071	12900	13704	13900	29181	34000	191854	128000	82114	88600	55816	64700	44042	50900	44264	44700	46904	46600	63638	47000	35195	36000
21449	15800	16936	12900	13600	13900	30064	37100	104955	132000	80292	86000	58237	64900	43235	49700	47089	45200	46917	46600	58603	47500	34839	35000
21303	15600			13497	13900	31205	43000	107541	132000	78507	83400	56343	65600	42488	49700	48933	45300	46990	46600	54975	48000	34489	34500
21155	15300			13395	13900	35265	46800	112062	132000	76215	81200	55296	67700	42111	49000	47692	45200	46952	46500	52306	49000	34146	34000
21007	15200			13294	13700			120828	132000			54472	69600	41798	48300			46993	45800			33809	33400

TABLEAU 5.1 a - Calage du modèle, année 1963, station 092704.

Dans tous les tableaux suivants : c : débit calculé (pi³/sec)
 O : débit observé (pi³/sec)

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE			
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
33478	33500	25102	22700	19576	17100	15410	16000	63292	29000	163705	151000	87115	100000	54047	42800	59346	64800	60319	102000	77682	93300	62345	50100		
33152	33000	24879	22300	19417	17000	15299	15900	69847	32500	166084	150000	85233	98100	54634	42200	58325	65000	61023	106000	76675	91800	61615	49600		
32831	32800	24658	22000	19529	16900	15190	15900	70475	38000	164432	148000	83537	96000	55615	41500	57442	65100	66709	108000	76085	90300	60906	49000		
32515	32300	24441	21900	19104	16900	15081	15900	69361	45000	159748	148000	81935	93100	59539	41300	56570	65100	70411	111000	76307	88700	60215	48100		
32204	32000	24225	21600	18950	16800	14974	15900	72923	53000	154964	148000	80271	88600	62993	40700	55609	64800	69619	112000	75838	87500	59541	47600		
31897	31400	24013	21300	18798	16800	14869	15900	80866	65000	150467	147000	78593	86900	64168	40100	54955	64700	68892	112000	76598	87000	58882	46800		
31594	31100	23802	21100	18648	16700	14764	15900	91395	75800	148237	147000	76956	84600	63656	39300	54733	64600	67922	112000	75868	86800	58239	46000		
31295	30800	23594	20900	18499	16700	14661	15900	101960	89600	146675	144000	75320	82800	63368	38300	54742	64000	67231	111000	75118	86700	57608	45700		
31000	30200	23388	20600	18352	16600	14559	15800	111959	104000	142416	141000	73571	81000	62935	37900	55041	64400	66806	111000	74494	86800	56991	44800		
30709	30000	23185	20500	18207	16600	14458	15800	122078	112000	138217	141000	72121	76100	62812	37700	55119	64000	66461	111000	74118	86800	56386	44000		
30422	29700	22984	20200	18064	16500	14358	15800	130351	118000	134884	139000	70628	74800	63103	37600	54412	63900	66600	109000	74144	86600	55792	43600		
30138	29000	22785	20100	17922	16500	14259	15800	135879	122000	131595	137000	69223	72900	63565	37400	55972	62500	66847	107000	74441	85400	55210	42400		
29857	28800	22589	19900	17782	16500	14166	15800	142965	127000	127894	134000	67840	69800	65359	38600	57705	63000	71184	107000	74462	81700	54639	42000		
29580	28400	22395	19800	17644	16500	14098	15900	147502	130000	124524	131000	66451	67800	65373	40200	56720	64000	74385	105000	74452	76100	54087	41000		
29306	28000	22203	19600	17507	16500	14125	15900	148456	134000	122920	127000	65101	65800	66259	43600	55936	66000	72037	104000	73902	71100	53538	40200		
29035	27800	22013	19400	17371	16500	14499	16000	149840	138000	119856	125000	63749	63500	67210	46800	55760	69000	69986	102000	73251	67100	52987	39900		
28768	27500	21826	19200	17238	16500	14830	16200	152747	141000	116644	125000	62797	62700	67779	49000	55567	71000	68505	102000	72617	66500	52447	38800		
28503	27000	21640	19000	17106	16500	14783	16400	153256	146000	113470	124000	61797	61000	66601	50200	55368	72400	67931	101000	71969	65900	51915	38100		
28242	26800	21457	18900	16975	16500	15619	16700	152774	148000	110240	122000	61349	59500	65600	50400	54865	73900	68293	101000	71313	65900	51392	37300		
27983	26300	21276	18800	16846	16500	16483	17000	150617	151000	107507	122000	60955	58100	64566	50400	54668	75000	68973	101000	70633	64900	50877	36700		
27728	26000	21097	18700	16718	16500	16054	17300	150291	152000	105279	121000	59893	56600	63620	50700	54506	75100	69857	101000	69923	62300	50369	36200		
27475	25700	20920	18400	16592	16400	16285	17800	150927	153000	103200	120000	59582	55300	62803	51200	55010	75200	71172	102000	69185	60000	49867	35500		
27225	25300	20745	18300	16468	16400	17242	18200	151951	154000	101031	119000	58970	54100	62218	52000	55265	75200	73327	102000	68424	58500	49377	34800		
26979	25000	20572	18100	16345	16300	19734	18800	150058	155000	99051	118000	58604	52900	62130	52300	55880	75400	75814	102000	67648	57500	48883	34100		
26734	24800	20401	17900	16223	16200	24181	19200	147701	155000	97297	115000	57559	51200	61951	53200	56729	76800	78408	102000	66863	56000	48400	33800		
26493	24500	20233	17500	16103	16200	27723	19800	145226	154000	95828	112000	56614	50400	61842	55700	56579	78400	79983	102000	66082	54500	47924	33000		
26255	24200	20066	17400	15984	16100	31130	20800	143075	154000	94112	111000	56275	49900	61575	59900	57045	81500	80037	101000	65310	53500	47453	32400		
26019	23900	19901	17300	15866	16000	34384	22000	144340	153000	92345	109000	55644	48600	61176	61600	56905	88600	79675	100000	64576	52500	46987	31800		
25785	23700	19737	17200	15750	16000	39577	23500	147228	152000	90637	107000	55456	46800	60829	62500	56888	95800	79205	98500	63881	51800	46527	31000		
25555	23200			15635	16000	49551	26000	154431	152000	88915	102000	54716	45300	60468	63000	59464	100000	78997	97700	63100	50200	46072	30500		
25327	23000			15522	16000			159535	151000			54135	43800	60081	63600			78596	95600			45623	30000		

TABLEAU 5.1 a (SUITE) - Année 1964, station 092704.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAY		JUIN		JUILLET		AOÛT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
45587	33000	34071	20600	26894	15200	21709	16100	42210	30100	180072	182000	98644	133000	70962	114000	83980	123000	99705	103000	84859	91300	71525	66400
45143	32200	33767	20300	26678	16200	21595	16400	41873	30900	184819	186000	97961	133000	72128	114000	83205	123000	98202	106000	83557	89200	71089	65500
44705	31900	33467	20100	26464	15100	21512	16600	40921	31100	188263	187000	95953	131000	72653	113000	82039	122000	97970	108000	83049	86900	71648	64500
44273	31200	33170	19800	26252	15000	21590	16800	39941	31400	189486	186000	93981	128000	72483	111000	82582	120000	97069	110000	83295	85000	70536	64000
13845	30800	32878	19600	26044	15000	22041	16900	39128	31900	186052	184000	91760	126000	71635	109000	81633	119000	97182	110000	85634	82800	69633	63800
43423	30200	32588	19400	25837	14900	22644	17000	38699	32100	183617	183000	89775	124000	70631	109000	80506	116000	97787	112000	86881	82600	68845	63500
43006	29800	32302	19100	25634	14800	23830	17000	39039	32300	183830	180000	88684	125000	70422	112000	78844	113000	94795	113000	88036	81900	68198	62700
42594	29200	32020	18900	25432	14800	25749	17000	39168	32800	186199	177000	88682	126000	70163	116000	77251	111000	92812	112000	85974	80900	67673	62200
42187	28900	31741	18600	25233	14700	28782	17100	38003	33000	179844	175000	88798	126000	69997	125000	76339	108000	91908	112000	86176	80700	67209	61000
41784	28300	31470	18300	25036	14600	30508	17200	37054	33200	171627	172000	86146	124000	71342	130000	75472	106000	92226	113000	85816	80700	66749	60000
41387	27900	31207	18200	24842	14600	30716	17200	36458	33500	164265	169000	83871	122000	73094	132000	75238	103000	92697	113000	85007	80800	66263	58500
4099	27300	30979	18000	24650	14500	31292	17200	36120	34000	157438	165000	81778	119000	74916	131000	73905	101000	92372	113000	84320	80400	65734	57500
40607	27000	30754	17800	24461	14500	30425	17200	35610	35000	151385	162000	79785	118000	74676	131000	72973	98900	90891	113000	84748	80200	65163	56200
40224	26600	30472	17500	24273	14400	28526	17200	35128	36000	147465	160000	77907	115000	78283	130000	72347	96400	89869	113000	85240	81000	64553	55000
39845	26200	30200	17200	24088	14400	27056	17200	35168	37200	143796	156000	76093	112000	83854	129000	73140	94700	88263	113000	83845	80900	63912	53500
39472	25700	29939	17000	23905	14400	26086	17200	35508	39000	138140	151000	74416	108000	92939	128000	72604	92700	87661	114000	82765	80100	63251	52000
39102	25300	29685	16900	23724	14300	25743	17200	36679	41000	132375	146000	72841	106000	94903	125000	71586	90700	86965	112000	81849	78600	62618	50700
38737	25000	29436	16800	23546	14300	26311	17400	44202	45000	127393	143000	71541	105000	94083	122000	71619	89000	85905	110000	81078	76700	62011	49500
38377	24500	29191	16500	23390	14300	29330	17500	46880	52000	123662	142000	70006	104000	92900	119000	71789	88400	84845	108000	80374	75600	61416	48200
38021	24100	28950	16400	23255	14300	36619	18000	51954	60000	120080	143000	68893	102000	92492	119000	73320	87100	83907	107000	79668	74200	60823	47300
37669	23800	28712	16300	23389	14200	44347	18600	57404	70000	117141	144000	68093	100000	95184	125000	73242	86300	83665	106000	78917	72000	60225	45800
37322	23400	28476	16200	23517	14200	52668	19300	64731	85000	113618	144000	67516	99200	104614	130000	72609	85200	83253	105000	78132	71000	59620	44400
36979	23000	28243	16000	23289	14200	55121	21000	75609	109000	110510	144000	67757	97300	108362	133000	72164	85000	82505	104000	77313	70800	59010	43100
36639	22900	28012	15900	23171	14200	50763	22100	91836	116000	109495	144000	67263	97000	102414	132000	72371	84800	82245	103000	76952	70500	58397	42000
36305	22500	27783	15700	22975	14200	46168	24400	109131	124000	108433	144000	66801	97100	98145	132000	73441	85800	82472	102000	77054	70500	57785	40800
35974	22200	27557	15500	22734	14300	49035	26000	123863	134000	108589	142000	66666	98400	95129	130000	77448	87700	83494	101000	76382	70400	57174	39800
35647	22000	27333	15400	22528	14700	51673	27300	135475	142000	106727	139000	67307	101000	92686	129000	87902	90200	83176	100000	75041	70000	56569	38800
35324	21700	27112	15300	22344	14900	47406	28200	146613	149000	104362	137000	67937	104000	90385	126000	96569	92700	83386	98700	74073	69500	55971	37800
35005	21400			22174	15100	44489	29000	158131	158000	102094	136000	67594	108000	88364	125000	98999	96100	83495	96700	73351	68600	55381	36800
34630	21100			22011	15400	42852	29700	168868	168000	100408	135000	67694	112000	86586	124000	98868	98600	83660	95100	72444	67400	54800	35700
34378	20800			21853	15800			175618	177000			68367	114000	85160	123000			84845	93300			54228	34800

TABLEAU 5.1 b - Vérification du calage, année 1966, station 092704.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
53667	34500	39939	22800	31321	18500	26403	16900	23005	17000	120845	150000	83755	96000	62708	70100	54708	72700	48178	55300	52870	54600	51636	57600
53116	34000	39580	22700	31062	18400	26450	16900	23325	17600	131421	152000	81698	93000	61822	70600	53743	71900	48717	55100	52856	55000	50919	57200
52574	33500	39226	22500	30806	18300	26568	16900	23762	18500	142868	152000	79814	91000	60922	70400	52625	70700	48802	54500	54120	55500	50268	56500
52042	33000	38875	22300	30554	18200	26095	16900	30143	19600	153978	151000	78667	88000	60112	70000	51510	69600	49060	54600	55199	56000	49670	56200
51520	32500	38529	22000	30304	18100	25669	16900	35229	21100	160758	150000	77157	85500	58836	71200	50354	68100	49357	54300	54352	56200	49108	55900
51006	32000	38187	21900	30057	17900	25346	16900	32550	23500	163588	149000	75748	83800	57916	72400	49343	66800	49001	53700	55017	56500	48570	55500
50502	31600	37849	21700	29813	17800	25084	16900	31488	27000	163821	149000	74375	80800	57477	72800	48454	65700	48460	53000	57243	57000	48049	55000
50005	31000	37514	21600	29572	17800	24860	16900	33548	29600	161993	147000	73588	79000	57817	73300	47663	63900	48118	52400	60885	57400	47540	54500
49517	30500	37184	21400	29333	17700	24659	16900	42986	34000	158045	145000	71925	77000	57487	73500	47367	62200	48000	52900	64379	57700	47040	54100
49036	30000	36857	21100	29098	17700	24470	16800	56532	37100	152333	145000	71768	75000	58049	73900	47264	61300	47605	52700	65101	58000	46550	54000
48563	29800	36534	20900	28865	17600	24290	16800	65182	41000	145912	145000	71587	74000	58642	74100	46775	60200	47360	52600	65260	58100	46067	53400
48097	29400	36215	20800	28635	17600	24115	16800	67435	46800	139834	145000	70247	73000	62709	75200	46162	58800	46859	52600	65037	58200	45601	53000
47637	28900	35899	20700	28407	17500	23943	16800	68063	50800	134405	144000	70408	71000	65389	75700	46294	57900	46435	52600	64551	58200	45179	52200
47184	28500	35587	20500	28183	17400	23774	16800	69083	54800	129167	143000	70234	69800	69761	76100	46325	57300	45985	52700	64364	58200	44963	51600
46737	28100	35279	20300	27960	17400	23609	16800	71619	57500	125147	141000	73048	69800	72104	76100	45332	56100	45697	52800	63952	58200	45271	51000
46296	27800	34975	20100	27741	17300	23471	16800	75328	60000	121470	139000	73815	67800	72138	76100	44455	55500	45545	53300	63104	58200	45338	50000
45860	27500	34673	20000	27524	17300	23534	16700	77664	63000	118318	138000	72533	67000	71587	75800	43749	54400	46057	53500	62234	58200	44589	49900
45431	27000	34376	19900	27309	17200	24167	16700	78096	65000	114376	135000	71399	66500	71588	75500	43123	53600	46075	53400	61429	58300	43962	49500
45007	26700	34082	19800	27097	17200	26455	16700	75769	69000	110812	132000	70439	66500	70698	75300	42266	52700	45742	53400	60540	58900	43430	49000
44588	26200	33791	19700	26888	17100	28947	16700	73711	71800	108641	130000	69437	67000	69357	75600	41780	51700	45530	53200	59615	59700	42959	48200
44174	25900	33503	19500	26681	17100	28925	16600	73044	75000	105957	129000	68349	67800	68438	76700	41326	51100	45373	52600	58682	59600	42554	47800
43766	25700	33219	19400	26476	17100	27182	16600	75288	79000	103019	126000	66927	69500	67490	77600	41689	52800	45755	52500	57756	59500	42156	47200
43362	25200	32938	19200	26274	17100	25966	16600	74360	86000	100601	122000	65685	70200	66765	78300	42438	54600	46963	53000	56846	59500	41737	46400
42963	24900	32661	19000	26074	17100	25152	16600	73559	94000	98507	118000	66032	71000	65087	78700	41885	54300	48094	53300	55958	59400	41335	46000
42570	24700	32387	18900	25876	17100	24580	16600	73310	105000	96867	116000	66193	71000	63420	78500	42175	54400	51104	53700	55105	59300	40945	45500
42180	24400	32115	18800	25685	17100	24163	16600	77696	112000	95374	112000	64634	70800	61936	78200	42555	55100	51929	53900	54306	59200	40564	44500
41796	24100	31847	18700	25529	17000	23847	16700	82643	124000	93402	108000	63303	69000	61109	77500	44253	55300	53015	54200	53820	59100	40190	43700
41415	23800	31583	18600	25481	16900	23596	16700	89127	136000	90653	105000	62631	69000	60414	77000	44684	55600	53685	54300	53488	58800	39821	43200
41040	23700			26738	16900	23380	16800	94081	142000	88409	102000	62514	68800	58636	76200	45368	55500	53957	54600	52992	58100	39458	42700
40668	23400			28107	16900	23187	16900	102144	145000	86043	99000	63208	69000	57188	75100	46177	55500	53384	54600	52407	57900	39099	42000
40301	23100			27090	16900			111356	148000			63478	69000	56044	73700			52904	54600			38745	41200

TABLEAU 5.1 b (SUITE) - Année 1967, station 092704.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
13777	--	16229	--	12982	--	10060	--	20894	--	119058	100000	61835	63800	45855	50000	32208	39100	35322	36500	38953	36700	35099	--
14075	--	16112	--	12874	--	9980	--	18390	--	131925	103000	60483	61900	45776	49800	33220	38500	38129	36500	38914	36700	34707	--
14664	--	15994	--	12767	--	9901	--	19204	--	138478	109000	59629	60700	46130	48800	34588	38500	37596	36500	38788	36700	34412	--
14928	--	15876	--	12661	--	9823	--	25638	--	138923	113000	60148	59100	45794	47600	33002	38500	37371	36800	38766	36700	34150	--
15427	--	15757	--	12556	--	9746	--	30652	--	137278	115000	58776	57900	45292	47000	31975	38500	38475	37400	38753	36700	33887	--
16619	--	15638	--	12451	--	9670	--	27990	--	135631	117000	57571	57300	44836	46700	31635	38500	39627	37700	38915	36700	33607	--
17265	--	15519	--	12348	--	9594	--	26581	--	135402	118000	57111	56500	45789	46300	32081	38500	42479	38300	39129	36400	33306	--
17598	--	15399	--	12245	--	9520	--	27396	--	133084	118000	56378	56500	46878	45400	32495	38500	43871	36600	38855	--	32984	--
17779	--	15280	--	12144	--	9446	--	24475	--	128726	116000	56012	56500	47935	45100	31872	38200	44142	38900	38994	--	32646	--
17879	--	15161	--	12043	--	9374	--	22604	--	124445	115000	55484	55400	46251	44900	31198	37900	43824	39200	39009	--	32297	--
17931	--	15042	--	11943	--	9341	--	21446	--	120301	114000	54549	55000	45091	44300	30743	37800	43554	39500	39050	--	31940	--
17949	--	14923	--	11844	--	9360	--	20871	--	116266	113000	53577	54200	44270	44400	30861	37100	43263	39500	39158	--	31580	--
17943	--	14805	--	11746	--	9300	--	21953	--	112359	111000	53185	53400	43586	44500	31353	36500	42926	39500	39199	--	31219	--
17918	--	14687	--	11649	--	9178	--	25347	--	108673	109000	53039	53300	42779	44700	31052	36100	42570	39500	39085	--	30860	--
17877	--	14569	--	11553	--	9081	--	29100	--	104914	106000	52597	53300	42063	44700	30785	36100	42193	39300	38831	--	30506	--
17823	--	14452	--	11458	--	9037	--	30179	--	101170	103000	51961	52700	41257	44700	30725	36100	41746	38400	38683	--	30157	--
17759	--	14335	--	11363	--	9192	--	32674	--	97620	100000	50015	52600	40351	44700	30469	35700	41305	38400	38679	--	29814	--
17686	--	14218	--	11270	--	9909	--	39588	--	94559	96100	48488	52200	39502	44700	30384	35600	40804	38400	38313	--	29478	--
17605	--	14103	--	11178	--	11102	--	40941	--	91535	93800	47882	52200	38739	44700	30687	35600	40235	38400	38142	--	29149	--
17519	--	13987	--	11086	--	9951	--	43898	--	87938	91000	46794	52500	39080	44700	30051	35600	39611	38400	38315	--	28826	--
17426	--	13873	--	10996	--	10243	--	49173	--	84576	88500	46083	52500	38705	43700	30206	35500	39128	38400	39788	--	23511	--
17330	--	13759	--	10906	--	11133	--	54226	--	81455	85600	44852	52500	37728	43300	30603	36000	38611	38400	40792	--	28202	--
17230	--	13645	--	10817	--	12794	--	59521	--	78508	83500	44022	52500	36826	42700	32545	36100	38482	38400	40895	--	27899	--
17126	--	13533	--	10729	--	15080	--	64921	--	75760	81600	43688	52500	36051	42100	33263	36500	38585	38400	44247	--	27602	--
17020	--	13421	--	10642	--	16958	--	70247	--	73513	78300	44751	51400	35538	42100	33273	36700	37792	38400	50472	--	27311	--
16912	--	13310	--	10557	--	18119	--	74476	--	71083	75900	44519	50900	34970	41500	33756	36700	37225	38400	44514	--	27025	--
16802	--	13200	--	10471	--	18225	--	77741	--	69182	73000	47589	51700	34335	41400	35309	37100	37091	37800	40667	--	26745	--
16690	--	13090	--	10387	--	18282	--	80374	--	67556	70900	46070	51100	33723	40900	36871	37200	37160	37800	38247	--	26469	--
16576	--		--	10304	--	20188	--	85469	--	65502	68000	45575	51500	33256	40200	35675	37200	37214	37800	36673	--	26198	--
16461	--		--	10222	--	21961	--	95677	--	63405	65800	44963	51000	32994	39600	35120	36800	37336	37300	35698	--	25931	--
16346	--		--	10140	--		--	111271	--			44970	50200	32291	39100			38496	36800		--	25669	--

TABLEAU 5.1 c - Calage du modèle, année 1963, station 092702.

	JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAY		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
25410	--	18794	--	14449	--	11123	--	37394	35000	149137	118000	73919	81000	46460	36800	48537	48000	47611	73900	61338	71200	48597	--	
25155	--	18618	--	14324	--	11127	--	38188	40000	147524	117000	72437	79600	47375	36100	47803	48000	51474	76400	60820	70400	48001	--	
24903	--	18444	--	14201	--	11043	--	37863	47600	143131	117000	71028	77900	51237	35800	47124	48000	54797	78100	60306	69500	47422	--	
24655	--	18272	--	14080	--	10960	--	40611	54600	138579	116000	69569	74900	54271	35300	46351	48000	53890	79500	59715	68300	46858	--	
24410	--	18102	--	13959	--	10877	--	46088	60800	134289	115000	68089	72900	55129	34900	45860	48000	53273	79700	60499	67300	46307	--	
24169	--	17934	--	13841	--	10796	--	55547	66600	131248	114000	66660	71100	54553	34500	45463	48000	52491	80000	59964	66600	45769	--	
23930	--	17768	--	13724	--	10716	--	66393	74500	129630	113000	65233	69900	54348	34200	45431	48000	52028	80200	59389	66000	45243	--	
23694	--	17604	--	13608	--	10636	--	74253	81100	125475	112000	63786	68100	53706	33900	45355	48000	51760	80500	58826	66100	44729	--	
23561	--	17442	--	13493	--	10558	--	85503	87500	121556	111000	62405	66200	53616	33400	45308	48000	51626	80500	58570	65900	44225	--	
23231	--	17282	--	13380	--	10480	--	97320	93500	118254	110000	61062	64100	52943	32900	44492	48000	51655	79500	58561	65500	43731	--	
23004	--	17123	--	13269	--	10404	--	105579	98000	115194	110000	59777	61900	52609	32500	44928	48100	51802	78600	58856	--	43247	--	
22779	--	16967	--	13159	--	10328	--	114272	102000	111746	110000	58523	60100	54878	32200	46204	48300	53866	78600	58916	--	42772	--	
22558	--	16812	--	13050	--	10256	--	120435	104000	108441	107000	57279	59000	54545	33300	45149	49000	56932	78100	58999	--	42312	--	
22338	--	16660	--	12942	--	10239	--	122706	108000	106902	104000	56067	57500	55157	35000	44234	50000	54882	77300	58547	--	41859	--	
22121	--	16509	--	12836	--	10424	--	124652	112000	103960	101000	54843	55900	55528	35800	43942	51000	53314	76800	58011	--	41403	--	
21907	--	16359	--	12731	--	10649	--	128238	113000	100847	98500	53967	54200	55983	36600	43638	52000	52214	76200	57513	--	40956	--	
21695	--	16212	--	12627	--	10542	--	130354	116000	97895	100000	52981	53100	54964	37300	43534	53200	51514	75700	57014	--	40518	--	
21486	--	16066	--	12524	--	10943	--	131176	117000	94976	100000	52306	51400	54146	37600	43189	54100	51957	75400	56515	--	40086	--	
21279	--	15922	--	12423	--	11788	--	130281	120000	92559	101000	51844	49400	53297	38200	43075	54800	53202	75600	55995	--	39661	--	
21074	--	15789	--	12323	--	11314	--	131141	122000	10732	99900	50750	48400	52583	38800	43011	56300	54315	76100	55444	--	39242	--	
20872	--	15640	--	12224	--	11130	--	132836	123000	89044	98300	50573	47400	52036	39700	43348	56300	55754	76800	54863	--	38829	--	
20672	--	15501	--	12126	--	11371	--	134846	124000	87228	97400	49764	46400	51704	40400	43581	56300	57998	77600	54254	--	38422	--	
20474	--	15364	--	12030	--	12689	--	133716	125000	85532	97200	49585	45200	51818	41100	43881	56300	60494	78100	53626	--	38020	--	
20279	--	15228	--	11935	--	15138	--	131987	126000	84110	95400	48622	45000	51871	41700	44703	57300	62272	78800	52985	--	37623	--	
20085	--	15094	--	11841	--	17553	--	129815	127000	82943	93100	47729	43600	51795	42400	44097	58600	63772	79000	52337	--	37231	--	
29894	--	14962	--	11748	--	19010	--	127639	127000	81493	91800	47442	42800	51563	44400	44105	60500	63965	78100	51691	--	36844	--	
19706	--	14831	--	11656	--	20377	--	129611	125000	79988	89200	46794	41400	51100	45500	45997	63700	63632	77000	51088	--	36462	--	
19519	--	14702	--	11565	--	22235	--	133030	123000	78506	86900	46735	40200	50740	46400	46023	68800	63280	76100	50511	--	36084	--	
19335	--	14575	--	11475	--	26842	--	140514	121000	77043	86000	46147	39100	50283	46600	46796	71200	63067	74600	49847	--	35711	--	
19152	--		--	11387	--	33131	--	145177	120000	75548	83400	45706	37700	49965	47300	47345	72400	62808	74300	49211	--	35343	--	
18972	--		--	11299	--		--	147861	119000			45729	37200	49436	47900			62118	73000			34979	--	

TABLEAU 5.1 c (SUITE) - Année 1964, station 092702.

JANVIER	FEVRIER		MARS		AVRIL		MAY		JUN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE		
	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	
35877	--	26240	--	20296	--	15893	--	23807	28200	158035	151000	85256	110000	61926	96200	69627	102000	76868	82900	68172	74300	56714	--
35505	--	25988	--	20119	--	15813	--	23705	28900	162299	152000	83437	110000	62117	94700	68986	102000	77457	84600	67367	72900	57212	--
35136	--	25738	--	19943	--	15822	--	23525	29500	165445	152000	81720	108000	61920	93100	69951	102000	75832	85200	67490	71700	56131	--
34772	--	25492	--	19770	--	15974	--	23422	29800	163353	151000	79701	106000	61168	91300	69349	101000	75719	86200	68460	70100	55274	--
34413	--	25249	--	19599	--	16138	--	23452	30000	160407	150000	77766	104000	60251	92200	68634	99300	77747	87300	68688	67600	54540	--
34059	--	25009	--	19430	--	16708	--	23986	30000	158459	149000	76219	103000	59993	95100	67337	96400	75836	87700	68568	67400	53964	--
33708	--	24771	--	19263	--	17883	--	24516	30000	161905	148000	75529	102000	59818	99700	66065	93700	74784	87600	67098	66100	53533	--
33362	--	24537	--	19098	--	19764	--	23803	30500	157553	147000	75994	101000	59679	104000	65163	92600	73993	87600	67799	65300	53179	--
33021	--	24306	--	18935	--	20855	--	23278	30700	150996	144000	73611	100000	59297	107000	64422	90600	73905	88100	67892	66400	52843	--
32683	--	24080	--	18774	--	20646	--	22975	31100	145031	141000	71662	99300	60146	109000	64505	88900	74724	89000	67477	66400	52486	--
32350	--	23880	--	18615	--	20692	--	22922	32000	139282	139000	69913	98200	62964	110000	63391	87000	75234	89400	67153	66100	52090	--
32021	--	23697	--	18458	--	20101	--	22669	33300	134026	137000	68213	97300	53410	110000	62251	85200	74179	89600	67611	66400	51651	--
31696	--	23457	--	18303	--	18633	--	22357	34500	129996	134000	66596	95900	67632	110000	61404	83800	73680	89300	68297	66600	51172	--
31375	--	23229	--	18150	--	17588	--	22389	36200	126505	131000	65007	92800	73638	108000	62117	82400	72490	88500	67180	66500	50660	--
31059	--	23011	--	17999	--	16975	--	22689	38500	121371	127000	63491	90600	83112	107000	61643	80200	72127	88700	66376	66800	50123	--
30746	--	22799	--	17850	--	16700	--	22566	41500	116077	124000	62068	87700	85290	106000	60772	78800	71671	87600	65719	66400	49611	--
30437	--	22591	--	17703	--	16783	--	23681	45000	111525	122000	60983	86900	84610	105000	60838	77500	70904	86300	65196	66400	49122	--
30132	--	22388	--	17557	--	18169	--	24061	50000	107906	120000	59610	85100	83403	103000	61113	76800	70108	85900	64735	65900	48643	--
29830	--	22187	--	17425	--	22017	--	28384	56000	104607	119000	58621	82600	82238	102000	62775	76200	69391	85900	64264	65200	48161	--
29533	--	21989	--	17433	--	26431	--	34203	63800	102096	119000	57886	81400	82817	102000	62799	74600	69260	85900	63739	64600	47672	--
29239	--	21793	--	17553	--	30907	--	42036	71000	98953	119000	57345	80900	88168	107000	62230	74300	68968	84900	63142	64300	47173	--
28949	--	21598	--	17316	--	33618	--	50236	80000	96188	119000	57692	80100	91242	108000	61918	73900	68371	84400	62485	63800	46667	--
28663	--	21406	--	17201	--	29682	--	61028	88300	95247	120000	57306	79400	85471	108000	61583	73100	67667	83300	61945	62500	46155	--
28380	--	21216	--	17034	--	25516	--	75049	97000	94453	119000	56910	79400	81567	109000	61297	71700	67457	83000	61679	61900	45640	--
28100	--	21028	--	16825	--	26000	--	90272	105000	94955	120000	56626	80500	78902	109000	63756	72100	68844	82100	61190	--	45127	--
27824	--	20842	--	16652	--	29092	--	100699	113000	93316	118000	57167	81800	76852	108000	69422	72700	68617	81000	60047	--	44616	--
27552	--	20658	--	16501	--	25808	--	111436	124000	91052	116000	57894	85500	74976	106000	75601	74800	68626	79800	59158	--	44111	--
27283	--	20476	--	16362	--	23964	--	124323	131000	88995	115000	57632	89800	73244	105000	77515	76600	68788	78700	58550	--	43613	--
27017	--		--	16231	--	23343	--	137108	138000	87301	113000	57817	93800	71919	103000	77291	77900	68808	77900	57791	--	43122	--
26755	--		--	16103	--	23335	--	146498	143000	85649	111000	58543	96200	70691	103000	78363	80200	69435	76300	57003	--	42639	--
26496	--		--	15989	--		--	152875	148000			60981	96800	69861	102000			69394	75100			42166	--

TABLEAU 5.1 d - Vérification du calage, année 1966, station 092702.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
41701	--	30437	--	23441	--	18893	--	15543	--	98699	153000	67328	82500	49101	58100	43849	62200	39951	43600	43626	44700	41592	--
41245	--	30144	--	23232	--	19052	--	15646	--	105139	161000	65586	79800	48247	58800	42869	62100	40025	43400	44275	45000	41016	--
40798	--	29856	--	23026	--	18642	--	18748	--	114647	162000	64690	78400	47653	58600	41929	61600	40166	42900	45225	45100	40489	--
40359	--	29571	--	22822	--	18289	--	23602	--	122562	162000	63327	76000	46603	59200	40924	60900	40411	43000	44380	45000	39994	--
39928	--	29285	--	22621	--	18035	--	21051	--	128730	158000	62034	72500	45789	60600	40043	59900	40103	43000	45069	45300	39520	--
39505	--	29009	--	22422	--	17839	--	19571	--	131799	157000	60804	70900	45364	60500	39228	57100	39614	42400	47106	45500	39060	--
39090	--	28734	--	22225	--	17676	--	20376	--	131725	153000	60269	70000	45901	60800	38492	56700	39257	42100	50672	46000	38611	--
38681	--	28462	--	22031	--	17530	--	25605	--	129799	148000	58757	67900	45802	61200	37977	56300	39124	42100	54159	46700	38169	--
38280	--	28193	--	21839	--	17393	--	33910	--	125706	145000	58296	65400	46619	62400	37779	54900	38726	42600	54859	45600	37735	--
37885	--	27927	--	21650	--	17262	--	39709	--	120621	141000	58063	63900	47388	63000	37198	53300	38545	42300	54891	45100	37309	--
37496	--	27665	--	21462	--	17134	--	40646	--	115541	137000	56793	62500	51683	63600	36600	52200	38101	41700	54689	45000	36890	--
37113	--	27405	--	21277	--	17007	--	40942	--	111058	133000	57167	62200	54494	64800	36363	51400	37749	42000	54162	44700	36484	--
36735	--	27149	--	21095	--	16882	--	41924	--	106711	130000	56795	60900	59039	65700	36441	49400	37371	42700	53862	44700	36177	--
36364	--	26896	--	20914	--	16757	--	43187	50000	103662	127000	59126	59600	61544	66800	35565	48100	37167	42900	53519	--	36198	--
35997	--	26646	--	20736	--	16634	--	45792	52800	100229	123000	59855	59700	61602	66000	34829	47400	37092	46200	52791	--	36246	--
35635	--	26398	--	20559	--	16527	--	47254	56000	97712	120000	58754	58800	60970	66500	34172	46200	37654	43500	52052	--	35544	--
35279	--	26154	--	20385	--	16691	--	48193	59500	94543	117000	57864	58500	60911	65300	33645	45800	37735	43900	51375	--	34986	--
34927	--	25913	--	20213	--	17922	--	47344	63500	91697	115000	57175	57600	60074	65500	32904	45200	37464	43800	50605	--	34521	--
34579	--	25674	--	20043	--	19711	--	46633	68000	90213	113000	56323	57400	58794	66400	32480	44100	37290	43800	49789	--	34113	--
34236	--	25439	--	19876	--	19894	--	46045	73000	88122	108000	55500	56800	57932	65700	31966	43600	37162	43200	48958	--	33756	--
33898	--	25206	--	19710	--	18408	--	48175	79000	85732	106000	54266	55600	56879	68100	32037	44400	37598	43400	48127	--	33419	--
33563	--	24976	--	19546	--	17448	--	47502	84000	83724	104000	53180	56600	56282	68400	32902	45800	38882	43800	47305	--	33059	--
33233	--	24748	--	19384	--	16861	--	47426	90000	81858	103000	53030	56500	54791	68400	32449	45100	40100	43900	46500	--	32714	--
32907	--	24524	--	19224	--	16485	--	46718	96000	80288	100000	53266	56800	52283	68600	32802	44500	43152	44200	45717	--	32379	--
32585	--	24302	--	19066	--	16236	--	47449	103000	78793	97900	51988	58300	51949	69100	33204	44100	43964	44400	44965	--	32052	--
32267	--	24083	--	18912	--	16064	--	51858	109000	77152	94500	50930	57400	50854	68500	35025	44200	44683	44500	44402	--	31731	--
31953	--	23866	--	18820	--	15935	--	59857	117000	74812	92000	50423	56800	50218	66800	35557	44200	45048	44400	43975	--	31415	--
31642	--	23652	--	19293	--	15828	--	66559	126000	73001	89700	50313	58800	48541	66900	36351	43600	45286	44400	43457	--	31103	--
31335	--		--	20698	--	15733	--	75763	134000	71018	87300	50579	58800	47092	66300	37246	43700	44677	44800	42929	--	30796	--
31032	--		--	19734	--	15638	--	84347	140000	69113	84500	50756	57800	46019	64800	39350	43600	44094	44400	42232	--	30493	--
30733	--		--	19098	--		--	92005	147000			50008	58400	44764	63700			43815	44700			30193	--

TABLEAU 5.1 d (SUITE) - Année 1967, station 092702.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
8230	13000	8422	8500	6840	6900	5563	5750	7981	12500	86776	50100	25951	33800	22156	26800	14076	21000	19095	21400	21106	21400	17452	20400
8984	12900	8357	8450	6792	6850	5528	5700	7994	13600	84450	51200	25605	32600	21812	26500	14036	20600	21108	21400	20920	21500	17365	20800
10388	12800	8293	8400	6744	6800	5495	5700	10136	14700	81558	52900	25176	31600	21493	25900	14451	20600	22329	21400	20847	21400	17240	21000
10377	12700	8229	8250	6697	6800	5461	5600	10019	16500	81684	54100	25950	31400	21285	25400	14611	20600	26040	21400	20639	21200	17085	21200
10296	12400	8166	8100	6650	6750	5428	5600	10339	18500	77862	55300	25709	31300	21091	25400	14431	20600	25255	21700	20558	21300	16907	21600
10227	12300	8104	8000	6604	6700	5395	5600	10125	20500	74023	56600	26231	31300	20975	25400	14280	20900	24623	22400	20528	21200	16713	21800
10167	12200	8042	7900	6558	6650	5363	5600	9947	22200	70440	56800	26217	31300	20677	25100	14253	21300	24417	22600	20586	21200	16508	22000
10110	11500	7982	7850	6513	6600	5331	5600	9802	23500	67044	57000	25541	31200	20359	24800	14042	21300	24255	22600	20632	21400	16298	22100
10051	11800	7921	7800	6468	6600	5299	5600	9666	24500	63859	56700	25079	31100	20486	24800	14147	21000	23978	22800	21960	21500	16086	22100
9990	11700	7862	7700	6423	6600	5272	5600	9526	26000	60705	56800	24754	30700	20326	24800	14318	20700	23615	23100	21150	21500	15875	22100
9925	11400	7803	7650	6340	6550	5241	5600	9376	26800	57803	56000	24546	30600	19808	24800	14639	20700	23351	23100	21023	21600	15667	22000
9857	11200	7745	7600	6336	6500	5212	5600	9262	27200	54708	55500	24327	30300	19448	24300	14696	20200	23086	22800	20754	21500	15465	21800
9787	11200	7687	7500	6293	6450	5181	5650	10566	27700	51768	54700	23548	29800	18997	23700	14561	20200	22632	23100	20538	20500	15267	21700
9715	10000	7630	7450	6251	6450	5152	5650	11249	28000	48991	53500	22826	29800	18746	23600	14348	20300	22183	22700	20343	19800	15076	21600
9641	10700	7573	7400	6209	6400	5124	5690	12986	28500	46339	52100	22070	29500	18346	23600	14120	19900	21728	22400	20145	19300	14891	21400
9566	10600	7517	7400	6167	6350	5173	5800	17940	29000	43817	51100	21624	29900	17938	23600	14048	19800	21385	22000	19936	19300	14712	21100
9491	10400	7462	7350	6126	6300	5272	5900	20923	29500	41479	49200	21030	29600	17584	23600	13800	19800	20986	22000	19712	19400	14539	20900
9415	10200	7407	7300	6086	6300	5313	6100	23666	30500	39307	48400	20915	29500	17111	23600	14756	19900	20642	22300	19475	19200	14372	20600
9341	10100	7353	7200	6046	6250	5377	6300	34316	32000	37387	47200	20206	29500	16646	23100	15392	20200	20210	22200	19229	18900	14211	20100
9265	10000	7299	7200	6006	6200	5374	6450	39244	34000	35632	46500	20435	29500	16438	23000	18515	20600	19834	21800	18978	19600	14054	19700
9191	9820	7246	7150	5967	6200	5527	6650	43344	35500	34097	45400	20064	29500	16147	23000	18432	20900	19481	21500	18775	19900	13903	19100
9117	9700	7193	7100	5928	6200	5611	6900	43533	37000	32700	44600	21423	29500	16308	23000	19003	21100	19363	21500	18472	19300	13757	18800
9044	9560	7141	7050	5889	6150	5733	7200	43974	38000	31258	43100	20724	29600	16056	23000	17885	21200	19119	21500	18223	19000	13614	18300
8971	9450	7090	7000	5851	6100	5983	7500	44940	39200	30175	42000	20049	29600	15657	23000	17885	21700	18993	21600	17979	19300	13475	17900
8900	9320	7039	7000	5814	6100	6067	7900	44605	40500	28899	39900	19792	29300	15283	23000	17719	21700	18734	22000	17741	19400	13341	17500
8829	9200	6988	7000	5777	6050	6333	8300	51582	42000	27992	38900	19360	28400	14923	23000	17775	21400	19113	22000	17510	19700	13209	17000
8759	9100	6939	6950	5740	6000	6376	8800	61073	43000	27021	37400	19689	28400	14580	22600	17946	21200	19709	21800	17456	19900	13080	16600
8690	9000	6889	6950	5704	5950	6810	9400	81237	44000	26183	36500	19684	27700	14378	22000	18557	21300	21676	22000	17476	20000	12955	16200
8622	8850			5668	5950	7192	10300	83232	45000	25938	35600	21809	27700	14220	22000	19040	21300	21658	22000	17501	20100	12832	15800
8554	8700			5632	5900	7302	11300	93984	46500	25343	34600	21369	27400	14185	21600	18985	21300	21314	22000	17497	20200	12711	15400
8483	8600			5597	5800			91333	47900			22606	27100	14109	21100			21154	21800			12593	15000

TABLEAU 5.1 e - Calage du modèle, année 1963, station 092703.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
12477	15200	9597	10200	7758	8400	6402	7200	22514	21500	80990	60000	35977	42500	33035	21100	25795	24600	28357	37100	32228	36900	23162	27900
12363	14900	9522	10100	7706	8380	6366	7200	27688	24000	77947	59800	35130	42000	32144	21000	25800	24700	28352	37500	31561	36300	22865	27500
12251	14700	9448	10000	7654	8350	6331	7200	31872	26500	75077	59200	34367	41500	31614	20500	25418	24600	28507	37300	30911	35900	22580	27100
12140	14500	9375	9990	7603	8280	6296	7200	35201	29000	73149	58500	33636	40800	31345	19900	24990	24600	28714	38000	30276	35200	22304	26800
12032	14300	9302	9900	7553	8200	6261	7200	40418	31500	70591	58000	32854	40000	31064	19400	24592	24600	28738	38200	29950	35000	22039	26500
11925	14000	9231	9830	7503	8180	6227	7200	43942	34300	68195	57500	32104	39100	30874	19000	24179	24300	28698	38400	29608	34800	21783	26100
11820	13800	9160	9770	7454	8080	6193	7200	54521	36500	65911	56500	31320	38100	30523	18700	24166	24200	28562	38500	30219	34200	21534	25800
11716	13600	9091	9650	7405	8030	6160	7200	64055	39000	63647	56000	30546	37200	30309	18500	23826	24100	28673	38500	30537	33800	21294	25300
11614	13400	9022	9600	7357	8000	6127	7200	72230	41200	61920	55200	29776	36300	29964	18400	23678	24000	28621	38500	30931	33300	21060	25000
11513	13200	8954	9530	7310	8000	6095	7200	73104	43000	59534	54200	29075	35400	30175	18100	23365	24000	28434	38200	31265	33000	20833	24800
11413	13100	8887	9450	7263	7980	6063	7210	72544	45000	59102	53800	28531	34700	29509	18000	23075	23700	28776	38000	30646	32500	20612	24200
11315	12900	8821	9400	7217	7900	6031	7230	72017	47000	56369	53000	27929	33800	29825	18200	23189	24000	28374	37900	30187	32200	20396	24000
11218	12700	8755	9350	7171	7800	5999	7250	73766	48300	53828	52200	27518	33000	29577	18200	23140	24400	28005	37900	29837	32000	20186	23500
11123	12600	8690	9250	7126	7780	6177	7300	73239	50000	51614	52000	26844	32000	30307	19000	23438	25200	27672	37900	29520	31800	19980	23100
11029	12500	8627	9210	7082	7720	6172	7350	73916	51500	49822	51000	26245	31200	30500	19900	23692	25700	27525	37600	29197	31500	19778	22800
10936	12400	8564	9190	7038	7680	6396	7400	71255	52400	48666	50200	25707	30500	30021	20600	23974	26300	27447	37200	28852	31300	19581	22300
10844	12200	8501	9100	6994	7620	6339	7500	72913	54000	47547	49800	25340	29800	29489	21100	24097	27100	29125	36900	28482	31100	19387	22000
10753	12100	8440	9030	6951	7600	6354	7650	75174	55000	47080	49000	25175	29000	29425	21400	23956	27300	30570	36800	28089	31000	19197	21600
10664	11900	8379	9000	6963	7580	6409	7900	75488	55800	45823	48200	24802	28200	29516	21500	24083	27600	33276	37300	27680	30900	19010	21200
10575	11700	8319	8950	6867	7450	6470	8150	73463	56500	44917	47800	24826	27500	30125	21700	23908	27700	36003	38000	27262	30800	18826	20900
10488	11600	8260	8850	6825	7430	6521	8550	71551	57800	43955	47300	24764	26800	29904	22400	23870	28000	35854	38500	26841	30700	18645	20400
10402	11500	8201	8800	2784	7410	6602	9100	68618	58000	43892	46500	24445	26000	29335	22700	23937	28300	35402	39000	26423	30500	18468	20000
10317	11300	8143	8780	6744	7400	6780	9800	67255	58800	42800	46200	24773	25200	28807	22800	24300	28900	36810	39100	26011	30300	18293	19900
10233	11200	8086	8720	6704	7390	6895	10500	70270	59500	41899	45900	24249	24700	28353	22700	25014	30100	36122	39200	25609	30200	18120	19500
10150	11100	8030	8650	6665	7320	7150	11300	77008	59800	41049	45500	23974	24300	28034	23000	24914	30900	35538	39200	25218	30000	17950	19100
10068	10900	7974	8600	6626	7350	7422	12400	88441	60000	40191	45000	23822	23800	27888	23100	25771	31800	35050	39100	24841	29800	17783	18900
9987	10800	7919	8550	6587	7320	7788	13800	90860	60200	39352	44500	23999	22900	27851	23300	26367	32600	34612	39000	24478	29300	17618	18600
9907	10700	7865	8500	6549	7280	9197	15500	89836	60200	38547	44100	24142	22200	27390	23900	26638	33600	34258	38500	24129	29000	17455	18200
9828	10600	7811	8450	6512	7250	12711	17000	87874	60200	37688	43800	25779	21600	26991	24200	28748	35300	33737	38000	23793	28600	17295	18000
9750	10500			6475	7220	16799	19500	87096	60200	36833	43300	26813	21400	26431	24100	28490	36500	33385	37800	23471	28200	17136	17800
9673	10400			6438	7200			84283	60200			32895	21200	26214	24500			32719	37300			16980	17500

TABLEAU 5.1 e (SUITE) - Année 1964, station 092703.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAY		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE			
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
18157	16900	13950	10900	11361	7800	9525	8400	12632	12600	98342	74900	37781	63100	32362	56900	38747	54700	38547	44800	30959	37000	26758	32900		
17993	16600	13840	10700	11284	7750	9494	8500	12618	12800	94633	75300	36717	62500	31798	56100	37595	53800	37927	45400	30659	37100	26457	32600		
17832	16200	13732	10600	11207	7700	9457	8600	12547	13000	91229	75700	35814	61700	31978	55700	36575	53200	37349	45400	31148	37200	26299	32200		
17672	16000	13625	10500	11132	7650	9424	8700	12432	13200	88374	75600	34874	60200	31786	56400	35680	52400	36836	45500	31385	37400	26258	32000		
17515	15800	13519	10300	11057	7600	9417	8790	12284	13300	84524	75900	34129	59700	32530	59500	35182	51100	36385	45000	33912	37700	26238	31600		
17359	15600	13415	10200	10984	7570	9407	8820	12113	13400	80520	76200	33368	59300	32382	62500	34521	49700	36285	44800	33703	38000	26189	31000		
17206	15300	13312	10100	10911	7530	9428	8850	11930	13500	76635	76300	32573	58100	31796	65000	34506	48400	36077	44200	33314	38400	26091	30300		
17055	15000	13211	9980	10839	7460	9407	8890	11740	13600	72407	76200	31915	57300	31295	66600	33827	47800	35741	44100	33181	38700	25938	30000		
16905	14800	13110	9800	10769	7420	9420	8900	11549	13700	68655	75900	31340	57000	32621	67400	32948	47100	35088	44000	33139	39000	25737	29400		
16758	14600	13016	9700	10699	7400	9387	8900	11361	13800	64907	75600	30567	56800	40689	67400	32434	46500	34635	44000	33073	39100	25496	28800		
16612	14400	12917	9600	10630	7380	9474	8900	11179	13900	61161	74500	29717	55500	47443	66900	31765	45200	34137	44000	32991	39200	25225	28000		
16468	14200	12821	9500	10561	7350	9358	8850	11005	14000	57719	73100	28909	54600	58718	66200	31333	44400	33953	43900	32862	39200	24932	27600		
16326	14000	12726	9400	10494	7310	9347	8840	10839	14100	54488	71600	28162	53300	55195	65500	30967	43400	33598	43700	32657	39100	24696	27000		
16186	13800	12633	9200	10428	7270	9332	8820	10683	14300	51598	70400	27538	51600	52259	64500	31864	42800	33184	43500	32556	39000	24479	26500		
16048	13600	12542	9150	10362	7250	9310	8820	10598	14600	49360	68700	26906	50100	50394	63600	32365	42400	32980	43000	32463	38600	24261	26000		
15911	13500	12452	9000	10297	7220	9278	8850	11986	15000	47026	67700	26616	48500	48784	62400	35534	42200	32670	42800	32312	38100	24031	25500		
15776	13200	12363	8900	10233	7210	9233	8900	17966	15600	45955	67900	26635	48100	47461	61300	34565	41600	32808	42200	32079	37700	23787	25000		
15643	13100	12275	8800	10170	7200	9479	8950	24901	16200	44217	67700	26695	47400	46347	60200	33948	41200	32290	41900	31764	37000	23531	24500		
15512	12900	12188	8700	10107	7200	9735	9100	33216	17000	42438	67200	27515	47300	45361	59000	33554	41000	31891	41500	31378	36500	23266	24000		
15382	12800	12101	8600	10046	7200	11122	9260	41532	18300	43841	67100	27050	47000	44778	58500	33247	40600	31553	40800	30938	35500	22996	23500		
15254	12500	12015	8550	9985	7210	10237	9420	47979	22500	43546	67400	27228	46700	43964	59500	32743	40500	31317	40000	30461	34800	22724	23100		
15128	12400	11930	8450	9924	7250	10569	9650	52115	29000	46798	67600	27338	46600	43512	59700	32521	40300	31126	39500	29962	34200	22453	22800		
15003	12200	11846	8380	9865	7300	10509	9950	58565	36000	44721	67700	28328	48000	42618	59300	32472	39600	31955	39000	29460	33900	22184	22200		
14880	12100	11763	8260	9806	7380	10872	10300	67772	42000	42871	67700	28447	49600	41121	58400	35126	38700	32023	38700	28977	33600	21921	21800		
14758	11900	11680	8200	9748	7420	11134	10700	74530	46200	41339	67200	28399	51300	39862	57700	37143	38900	32499	38200	28574	33200	21663	21500		
14638	11800	11599	8100	9691	7550	11811	11100	87541	51500	40902	66000	29711	53700	38981	56400	41298	39900	32662	38000	28084	33100	21411	21000		
14520	11600	11519	8000	9634	7750	12035	11400	92365	57700	39926	64900	30761	56900	38093	55200	41449	41300	32432	37600	27630	33000	21167	20500		
14403	11500	11439	7900	9596	7900	12260	11800	97910	63500	40830	64700	34383	59300	37247	54700	40511	42500	32057	37200	27205	33000	20929	20000		
14287	11300			9577	8050	12451	12100	101334	69100	39614	64500	33713	59600	37783	53700	39699	43900	31742	37100	26906	33000	20698	19800		
14173	11200			9564	8200	12577	12200	102702	72600	38741	64200	32924	58900	37385	53700	39121	44300	31484	37100	26984	33000	20475	19500		
14061	11000			9548	8300			101505	73800			32930	57900	40189	54400			31232	37000			20257	19100		

TABLEAU 5.1 f - Vérification du calage, année 1966, station 092703

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
4453	5190	4348	3740	3379	2990	2514	2580	4290	6700	27911	25500	16135	14600	11553	12700	7907	8940	8007	8010	9676	8040	9387	10300
4325	5100	4312	3720	3348	2960	2491	2570	4532	7800	29152	26000	16219	14200	11328	12800	7945	8970	10000	8010	9832	8040	9318	10400
4527	5020	4277	3700	3316	2940	2467	2570	6663	8900	28486	26800	15860	13500	11185	12800	7833	8700	9820	8010	9931	7750	9247	10500
4712	5000	4241	3690	3285	2920	2444	2580	6542	9700	27899	27400	15992	13500	11131	12800	7770	8700	9816	8150	10030	7750	9176	10600
4836	4900	4206	3640	3253	2900	2421	2580	6512	10200	27323	27900	15922	13100	10893	12900	7726	8730	9890	8450	10200	7750	9103	10700
4912	4950	4170	3600	3223	2880	2398	2580	6475	11000	26750	28300	15582	13100	10655	13200	7563	8730	9903	8750	10436	7750	9029	10800
4954	4860	4134	3580	3192	2860	2376	2590	6424	11400	26185	28600	15269	12700	10706	13400	7485	8580	9877	8900	10630	7750	8955	10800
4975	4870	4098	3550	3162	2840	2354	2600	6365	11600	25651	28400	14940	12700	10664	13700	7444	8560	9888	8900	10826	7750	8880	10800
4981	4750	4063	3520	3132	2820	2332	2600	6303	12000	25218	27800	14746	12700	10494	13800	7525	8460	9841	8900	10942	7750	8805	10700
4977	4700	4027	3500	3102	2800	2314	2620	6243	12300	24653	27800	14597	12600	10354	13800	7532	8460	9769	8900	10849	7750	8729	10600
4966	4600	3991	3480	3072	2790	2293	2620	6185	12300	24114	27400	14238	12500	10182	13700	7471	8460	9700	8900	10779	7750	8654	10500
4951	4550	3956	3430	3043	2780	2273	2630	6173	12400	23600	26800	13907	12400	10096	13500	7379	8200	9630	9210	10692	7750	8578	10200
4932	4500	3921	3400	3014	2770	2254	2640	7530	12200	23087	26200	13548	12300	9932	13100	7292	8170	9548	9210	10614	7750	8502	10000
4910	4400	3885	3370	2985	2750	2234	2660	8269	12300	22570	25400	13228	12200	9786	12700	7177	8170	9478	9210	10541	7570	8426	9830
4887	4400	3850	3320	2957	2720	2213	2680	9403	12700	22053	24400	12927	12200	9664	12400	7028	8200	9400	9210	10471	7040	8351	9600
4862	4380	3815	3300	2929	2710	2267	2710	13342	12600	21534	23400	12872	12100	9494	12000	7073	8170	9413	9210	10402	6850	8275	9400
4835	4360	3781	3280	2901	2700	2364	2800	14965	12900	21047	22800	12567	12100	9336	11800	6953	8170	9357	9210	10333	6950	8200	9200
4807	4320	3746	3260	2873	2690	2342	2920	18210	14400	20573	21900	12287	12000	9166	11500	7641	8170	9250	9210	10264	7030	8125	9100
4778	4270	3712	3240	2846	2690	2331	3050	21081	15500	20163	21000	12020	12000	8987	11200	7678	8170	9142	8930	10194	7030	8050	8900
4749	4220	3677	3200	2819	2680	2367	3150	21072	16700	19741	20300	12639	12000	9061	10900	7615	8140	9127	8900	10122	7300	7975	8750
4718	4200	3643	3190	2792	2660	2542	3280	21154	17000	19308	19600	12305	12000	8973	10700	7658	8140	9126	8900	10050	7600	7901	8550
4687	4150	3610	3170	2765	2650	2644	3360	21268	18200	18950	18800	12050	12000	8839	10500	7590	8140	9132	8900	9977	8000	7827	8400
4655	4100	3576	3150	2739	2640	2741	3420	20629	18700	18472	18600	11948	12000	8699	10200	7525	8140	9028	8900	9902	8450	7753	8200
4622	4050	3543	3120	2713	2630	2912	3580	20009	19400	18126	17800	11689	12000	6544	9900	7430	8140	8930	8900	9834	8900	7680	7980
4589	4000	3510	3100	2687	2620	2983	3750	19492	20000	17724	17200	11410	12200	8394	9600	7336	8140	8991	8900	9769	9200	7608	7780
4556	3950	3477	3090	2662	2610	3119	3970	21832	20900	17367	16700	11253	11800	8258	9430	7537	8140	9557	8600	9707	9430	7535	7550
4522	3900	3444	3050	2637	2600	3187	4250	21340	21300	16992	16600	11868	12000	8111	9460	7752	8140	9613	8600	9646	9780	7464	7400
4488	3860	3412	3010	2612	2590	3489	4630	28861	22100	16604	15800	11576	11900	8062	9150	7786	8140	9640	8600	9584	10000	7392	7200
4453	3820			2587	2580	3908	5250	29003	23000	16810	15500	12080	12000	8029	9150	7807	8140	9643	8300	9520	10100	7321	7000
4418	3800			2562	2580	4043	5900	28685	24000	16419	14700	11892	12400	7903	8910	7799	8060	9641	8010	9454	10200	7251	6800
4383	3790			2538	2580			28380	25000			11761	12700	7768	8910			9606	8040			7181	6600

TABLEAU 5.1 g - Calage du modèle, année 1963, station 092708.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOÛT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE			
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
7112	6480	5229	4230	3919	3470	2902	3120	14835	12200	31789	31900	19377	16800	14390	7120	12248	12600	12091	17500	15011	16300	13202	12200		
7043	6380	5177	4200	3881	3440	2875	3120	17658	13400	31289	31900	19050	16400	14219	7080	12149	12700	12201	18000	14883	16000	13082	12100		
6974	6220	5126	4180	3843	3420	2848	3120	19207	15300	30687	31500	18702	16300	14019	7070	11983	12800	12250	18200	14769	15900	12962	11900		
6906	6100	5075	4150	3805	3400	2821	3120	20115	16900	30073	30900	18376	15500	13901	6980	11816	12900	12234	18200	14656	15600	12842	11700		
6839	6000	5024	4100	3768	3380	2794	3120	24196	18100	29469	30300	18037	15200	13729	6900	11789	13100	12237	18300	14820	15200	12722	11500		
6772	5900	4974	4070	3731	3360	2768	3120	27373	19000	28883	29700	17689	14600	13542	6680	11659	13100	12355	18200	14867	15000	12602	11300		
6706	5780	4925	4030	3695	3340	2742	3130	33704	19500	28313	29000	17335	14300	13419	6650	11635	13000	12293	18100	15372	14900	12482	11100		
6640	5650	4876	4010	3659	3330	2717	3150	37056	20700	27719	28200	17004	13700	13517	6450	11478	12800	12285	18100	15709	14700	12363	10900		
6575	5580	4828	4000	3623	3310	2691	3180	38092	21700	27819	27500	16684	13500	13335	6330	11344	12800	12522	18000	15690	14400	12244	10700		
6511	5500	4780	3980	3588	3300	2666	3200	38012	22500	27234	26500	16386	12900	13392	6330	11340	12600	12452	17900	15562	14200	12136	10400		
6447	5400	4732	3930	3553	3290	2641	3250	38848	23500	26665	25800	16201	12600	13203	6260	11241	12700	12405	17700	15459	14000	12008	10300		
6383	5350	4685	3910	3519	3280	2617	3300	38828	24500	26087	25100	15902	12400	13574	6400	11251	12600	12358	17700	15355	13900	11890	10100		
6320	5250	4639	3890	3484	3270	2592	3350	39281	25000	25577	24100	15584	11800	13707	6540	11284	12800	12306	17600	15250	13500	11774	9800		
6258	5200	4593	3860	3451	3250	2768	3400	38629	26000	25125	23300	15269	11700	13663	6810	11396	12800	12251	17500	15143	13500	11658	9600		
6196	5120	4547	3830	3417	3240	2737	3500	39267	26800	24763	22600	15063	11300	13513	7060	11390	12900	12362	17300	15035	13400	11542	9400		
6135	5050	4502	3800	3384	3230	2732	3590	38186	27500	24743	22100	14846	10800	13344	7510	11300	12900	12529	17100	14927	13400	11427	9100		
6074	5000	4458	3780	3352	3220	2727	3700	37563	28000	24343	21800	14580	10500	13298	7700	11350	13100	14228	16800	14818	13300	11313	8950		
6014	4930	4414	3750	3319	3210	2719	3850	37057	28800	23905	21700	14535	10300	13589	8070	11272	13200	15145	16800	14708	13300	11200	8700		
5954	4850	4370	3720	3287	3210	2710	4000	36535	29200	23527	21300	14313	9990	13566	8400	11152	13400	15033	16900	14598	13300	11087	8500		
5895	4800	4327	3700	3256	3200	2700	4250	36022	29900	23548	21200	14083	9690	13431	8760	11024	13700	15002	17000	14487	13200	10975	8300		
5837	4750	4284	3680	3224	3190	2688	4550	35399	30300	23099	20700	14183	9400	13305	9170	11125	13900	15851	17200	14374	13200	10864	8100		
5779	4700	4242	3650	3194	3180	2723	4800	34713	30800	22736	20500	13925	9200	13138	9530	11245	14000	15710	17400	14261	13100	10754	7900		
5721	4650	4200	3610	3163	3170	2870	5100	34005	31000	22373	20100	13672	9000	12959	9910	11157	14400	15645	17400	14146	13000	10645	7700		
5665	4600	4159	3580	3133	3160	2948	5450	33894	31300	21989	19700	13394	8780	12905	10000	11482	14800	15567	17400	14031	12900	10536	7500		
5608	4550	4118	3560	3103	3150	3052	5900	34762	31500	21609	19400	13360	8520	12934	10000	11396	15300	15472	17400	13914	12800	10429	7300		
5553	4480	4077	3530	3073	3150	3160	6460	35042	31700	21243	19000	13343	8360	12830	10800	11337	15700	15363	17200	13797	12700	10322	7100		
5497	4420	4037	3510	3044	3150	3399	7000	34333	31800	20878	18600	13122	7900	12736	10900	12091	16100	15287	16900	13679	12600	10216	7000		
5443	4380	3997	3500	3015	3140	4540	8000	33961	31900	20508	18300	12968	7700	12570	11400	12026	16400	15324	16900	13560	12500	10111	6800		
5389	4340	3958	3490	2986	3140	7614	9020	33520	31900	20105	18000	14705	7700	12465	11900	12048	16800	15196	16800	13441	12400	10007	6650		
5335	4300			2958	3130	10942	10600	32997	31900	19716	17600	14676	7680	12300	12200	12043	17200	15083	16700	13322	12300	9904	6500		
5282	4270			2930	3120			32439	32000			14518	7430	12344	12500			14970	16500			9802	6350		

TABLEAU 5.1 a (SUITE) - Année 1964, station 092708.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAY		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE			
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
9775	5960	6990	4000	5230	3250	3831	3580	6306	10400	32661	36800	19374	22800	14464	17400	17678	24600	17162	18900	16055	15800	14614	13800		
9669	5900	6916	3950	5176	3210	3795	3590	6307	10800	31795	37500	18919	22700	14237	17600	17421	24300	16968	19000	15908	15500	14549	13700		
9564	5800	6842	3930	5124	3200	3758	3600	6298	11000	30980	38000	18588	22500	14553	179000	17141	24000	16769	19200	16545	15300	14472	13400		
9460	5700	6770	3900	5072	3190	3733	3600	6282	11200	30179	38100	18238	21900	14519	18100	16842	23800	16742	19300	16553	15500	14384	13200		
9357	5600	6698	3870	5020	3180	3741	3600	6260	11400	29423	38000	17835	21500	14383	18900	16904	23800	16757	19800	16644	15300	14288	13100		
9255	5550	6627	3850	4969	3180	3760	3590	6234	11500	28673	37900	17517	21100	14295	20000	16672	23700	16743	20000	16731	15000	14187	13000		
9155	5430	6557	3820	4919	3170	3808	3590	6206	11500	28170	37500	17282	20800	14078	21000	16392	23400	16609	20200	16759	15100	14082	12800		
9056	5380	6488	3780	4869	3150	3801	3590	6174	11500	27613	36800	16985	20700	13856	21700	16197	23100	16488	20300	16738	14600	13976	12300		
8958	5320	6419	3750	4819	3140	3802	3590	6140	11500	26986	36000	16639	20500	15622	22100	15923	22800	16320	20600	16697	14700	13867	12100		
8861	5230	6356	3720	4771	3130	3800	3600	6104	11500	26361	34800	16289	20400	22819	22800	15799	22100	16296	20800	16645	14500	13757	11800		
8765	5110	6290	3690	4722	3120	3795	3600	6071	11500	25732	32800	15952	20300	22010	23200	15622	21600	16223	20700	16571	14400	13647	11400		
8670	5070	6228	3670	4675	3110	3786	3600	6045	11500	25182	31500	15617	20000	21808	23400	15366	21000	16117	20600	16582	14200	13537	11100		
8577	5000	6165	3630	4628	3100	3773	3600	6015	11500	24599	30300	15301	19800	21635	23400	15300	20800	15979	20300	16571	14200	13429	10800		
8484	4910	6102	3600	4581	3100	3758	3600	5986	11500	23996	29000	15075	19300	21257	23400	16556	20400	15871	20200	16526	14200	13320	10400		
8393	4820	6040	3580	4535	3100	3741	3620	6019	11500	23957	28000	14772	18900	20814	23500	16237	19900	15990	20200	16454	14200	13211	10000		
8302	4800	5978	3560	4489	3100	3724	3650	7460	11900	23437	27400	14646	18400	20373	23400	16127	19400	15826	19900	16363	14300	13103	9700		
8213	4750	5917	3530	4444	3110	3797	3700	13333	12300	22887	26300	14925	18200	20019	23200	16037	19100	15976	19700	16257	14400	12993	9400		
8125	4650	5856	3500	4400	3120	3968	3750	19331	12900	22665	25700	14681	18100	19739	23100	15951	18500	16007	19400	16141	14500	12884	9050		
8037	4610	5796	3490	4356	3150	4168	3820	24297	14100	22250	25000	14506	17400	19412	23200	15770	18300	16025	19200	16018	14600	12774	9800		
7951	4550	5737	3460	4312	3160	4464	3900	27608	15900	24041	24800	14300	17100	19436	23500	15562	17700	16010	19000	15890	14800	12665	8600		
7866	4530	5678	3430	4269	3200	4587	4050	28919	17900	23352	24200	14579	16600	19337	24200	15331	17300	16034	18700	15757	14900	12555	8350		
7781	4430	5620	3410	4226	3230	4794	4600	30217	19700	22847	24000	14577	16200	18940	24900	15417	17100	16039	18500	15623	15000	12445	8100		
7698	4400	5562	3390	4184	3270	5062	5250	35403	22000	22347	24100	14413	16200	18591	25600	15590	17000	16929	18300	15495	15000	12336	7900		
7616	4380	5505	3370	4143	3310	5594	5900	42823	24300	21813	23900	14126	16200	18340	26200	17645	17200	17091	18100	15373	15000	12227	7700		
7534	4320	5449	3350	4101	3370	5753	6600	40875	26000	21251	23900	14149	16200	18102	26200	17962	17500	17018	18000	15256	15000	12118	7500		
7454	4250	5393	3330	4061	3400	5954	7300	39228	28000	21570	23900	15579	16200	17923	26200	17885	17900	16897	17600	15134	14900	12009	7350		
7374	4200	5338	3320	4021	3450	6103	8300	37811	29800	20999	23700	15229	16200	17643	25900	17783	18100	16800	17400	15008	14800	11901	7200		
7296	4180	5284	3280	3982	3500	6201	9000	37100	31500	20658	23700	15022	16600	17313	25600	17691	18200	16655	17100	14879	14500	11793	7000		
7218	4150			3944	3510	6260	9500	35722	32700	20258	23600	15104	16900	18542	25300	17521	18400	16504	16900	14773	14200	11685	6850		
7141	4100			3906	3530	6292	10000	34764	34000	19807	23000	14841	17000	18135	25100	17330	18800	16354	16500	14685	14000	11579	6750		
7065	4050			3869	3550			33662	35400			14608	17300	17929	24800			16204	16100			11472	6600		

TABLEAU 5.1 h - Vérification du calage, année 1966, station 092708.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOÛT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
11366	6500	8426	4250	6386	3300	4720	2950	3810	3000	29921	37500	13832	17100	10190	12800	10416	17100	9336	10000	10645	9650	11015	12500
11261	6350	8343	4200	6323	3280	4677	2910	4091	3100	28154	38200	13530	16500	9990	12900	10223	16600	9213	9980	12003	9700	10901	12400
11156	6250	8261	4150	6261	3250	4636	2900	4647	3250	26655	38900	13247	16000	10165	13200	10036	15900	9231	9970	14354	9700	10788	12200
11052	6150	8180	4100	6199	3220	4597	2900	4923	3500	25396	38900	13262	15600	10455	13600	9847	15700	9142	9830	14176	9750	10676	12100
10948	6050	8099	4050	6138	3200	4558	2890	5299	4050	24414	38900	12970	15200	10228	14000	9732	15100	9047	9750	14229	9780	10564	12000
10846	5980	8020	4000	6078	3200	4519	2890	5590	4700	23529	38500	12671	14800	11620	14700	9594	14700	8954	9670	14136	9800	10453	11900
10743	5900	7941	3980	6018	3180	4481	2890	6067	5500	22728	37300	12652	14600	11337	15300	9447	14200	8947	9500	14018	9900	10344	11800
10642	5800	7862	3920	5959	3180	4443	2870	7509	6400	22018	36500	12466	14200	14346	15800	9316	14100	8934	9360	13876	9970	10235	11500
10541	5700	7785	3880	5901	3170	4405	2870	8713	8000	21558	35500	13417	14000	15342	16500	9312	13700	8840	9350	13722	10000	10127	11300
10441	5600	7708	3850	5843	3160	4367	2870	9684	9500	20987	34000	13069	13400	15081	16800	9183	13300	8833	9420	13564	10100	10020	11200
10341	5550	7632	3800	5786	3120	4329	2850	10148	11000	20478	33000	12805	13300	14910	17400	9084	13100	9179	9320	13406	10300	9914	11100
10242	5470	7557	3770	5729	3120	4292	2850	10534	12000	19966	32000	12869	13100	14690	17900	8936	12800	9201	9510	13413	10400	9810	10900
10144	5400	7482	3730	5673	3120	4255	2850	10991	12900	19443	31000	12861	12900	14389	18500	8768	12500	9136	9600	13252	10700	9706	10800
10047	5350	7409	3700	5618	3100	4218	2850	11380	13500	19765	30300	12651	12600	14075	18700	8607	12200	9079	9770	13112	11000	9603	10500
9951	5250	7336	3680	5563	3100	4182	2850	12473	14000	19377	29200	12434	12500	13775	19100	8430	12000	9007	9840	12975	11200	9502	10400
9855	5200	7263	3640	5508	3100	4145	2850	13850	14500	18939	28300	12162	12400	13471	19400	8273	11700	9109	9670	12839	11600	9402	10200
9760	5130	7192	3610	5455	3090	4112	2850	13864	15100	18537	27300	11896	12300	13390	19700	8115	11400	9028	9610	12704	11800	9302	10000
9665	5030	7121	3590	5401	3080	4087	2860	13946	16000	18155	26200	11638	12100	13130	20000	8207	11000	9114	9550	12571	12200	9204	9900
9572	5000	7050	3570	5349	3070	4064	2870	14200	17400	17722	25000	11554	11800	12882	20300	8081	10700	11346	9480	12438	12500	9107	9750
9479	4950	6981	3530	5297	3060	4051	2870	14523	18200	17264	24600	11265	11700	12761	20700	7935	10500	11112	9380	12307	12700	9011	9600
9387	4850	6912	3510	5245	3030	4037	2870	14625	19600	16848	23700	11061	11600	12518	20700	9036	10500	11088	9440	12177	12900	8915	9500
9296	4800	6844	3490	5194	3020	4020	2880	14756	21500	16456	22800	11233	11600	12351	20700	8897	10500	11065	9390	12049	12900	8821	9350
9205	4750	6776	3460	5144	3020	4000	2880	16399	23500	16414	21900	11461	11700	12119	20700	8946	10500	11151	9460	11921	13000	8728	9150
9116	4700	6710	3430	5094	3020	3979	2880	20195	24900	16040	21200	11294	11800	11862	20600	9058	10400	11027	9610	11794	13000	8637	9000
9027	4620	6643	3410	5045	3010	3956	2880	25396	26500	15719	20500	11075	11900	11604	20400	9944	10200	10895	9640	11678	12900	8546	8850
8938	4580	6578	3380	4996	3010	3933	2880	30453	28300	15372	20000	11182	11900	11393	20000	9779	10000	10820	9790	11573	12900	8456	8700
8851	4500	6513	3360	4947	3000	3909	2890	31909	30000	14993	19200	10957	11900	11183	19700	9724	10100	10717	9880	11466	12800	8367	8550
8764	4450	6449	3330	4900	3000	3884	2890	31419	31700	14599	18700	10742	12200	10959	19100	9660	10100	10790	9730	11355	12700	8279	8500
8679	4400			4853	2980	3860	2900	30407	33000	14222	18100	10597	12300	10931	18700	9567	10100	10699	9630	11242	12600	8192	8450
8594	4350			4808	2970	3835	2910	30646	35000	13955	17600	10508	12400	10748	18100	9449	10100	10659	9630	11129	12600	8106	8300
8509	4300			4763	2960			31989	36500			10334	12700	10583	17600			10727	9610			8021	8200

TABLEAU 5.1 h (SUITE) - Année 1967, station 092708.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOÛT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE			
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
7109	3270	5071	2080	3812	1550	2680	1240	2618	3750	28163	27500	15637	17500	12984	15600	14646	12200	14096	10800	11438	9010	9502	6750		
7031	3210	5018	2050	3775	1520	2836	1230	2600	4200	27183	27500	15293	17000	12736	15400	14282	12000	13825	10900	11331	9000	9404	6650		
6953	3140	4965	2020	3739	1510	2811	1220	2582	4450	26852	27500	14999	16600	12710	15400	13947	11800	13559	10900	11771	8930	9310	6580		
6876	3100	4914	2000	3703	1500	2787	1220	2564	4600	25732	27400	14802	16300	12969	15800	13625	11500	13395	10900	12479	9060	9217	6400		
6800	3040	4862	1990	3667	1500	2764	1220	2547	4650	24703	27300	14571	15900	12908	16600	13492	11300	13402	11000	12401	9170	9126	6200		
6725	2980	4812	1980	3632	1490	2742	1220	2530	4680	23681	27100	14332	15500	12739	17700	13528	11000	13434	11100	12196	9210	9036	6000		
6651	2920	4762	1930	3597	1480	2729	1220	2514	4680	22462	26700	14189	15100	12542	18900	13317	10700	13383	11100	12005	9360	8948	5850		
6577	2850	4712	1910	3563	1460	2708	1220	2497	4700	21514	26400	14070	14800	12255	19600	13079	10400	13231	11100	11833	9430	8860	5750		
6505	2810	4664	1900	3529	1450	2686	1220	2481	4680	20650	26100	13865	14700	13126	19900	12882	10300	13066	11100	11677	9440	8773	5600		
6434	2780	4616	1890	2496	1430	2663	1220	2465	4680	19824	25500	13612	14600	18416	20000	12702	10100	12946	11400	11533	9280	8687	5450		
6363	2710	4568	1860	3463	1420	2640	1220	2448	4640	19081	24700	13361	14400	21837	20000	12620	9970	12926	11500	11399	9340	8602	5250		
6293	2680	4522	1830	3430	1410	2618	1230	2432	4650	18447	23600	13118	14100	20889	19700	12473	9750	12853	11400	11272	9270	8517	5160		
6225	2620	4475	1820	3398	1400	2597	1230	2416	4700	17906	22600	12886	13600	19794	19300	12346	9520	12735	11300	11151	9200	8433	5000		
6157	2580	4430	1800	3366	1390	2575	1230	2400	4780	17367	21800	12708	13100	18833	18800	13235	9410	12610	11200	11035	9000	8349	4850		
6090	2550	4385	1780	3335	1380	2554	1230	2384	4850	17131	21300	12559	12500	17918	18400	14236	9370	12622	11200	10922	8800	8267	4700		
6023	2510	4340	1770	3304	1370	2533	1240	2528	5000	17165	21300	12432	12100	17125	17800	13971	9360	12689	11300	10813	8600	8184	4580		
5958	2480	4296	1750	3274	1370	2525	1240	3553	5350	16826	21200	12634	12000	16498	17200	13708	9280	12541	11200	10706	8420	8103	4450		
5894	2430	4253	1730	3243	1360	2544	1250	5514	6000	16578	20700	12904	12000	16059	16600	13505	9210	12391	11100	10601	8250	8022	4300		
5830	2410	4210	1710	3214	1350	2592	1250	8194	6800	16521	20400	12755	12000	15710	16100	13303	9150	12253	10800	10498	8100	7942	4200		
5767	2390	4168	1700	3184	1320	2673	1260	10628	8000	17632	20300	12585	11900	15515	15600	13043	9090	12130	10600	10397	7900	7862	4000		
5705	2340	4127	1690	3155	1310	2734	1270	11838	8940	18830	20500	12626	11700	15554	15400	12771	8950	12048	10400	10296	7700	7783	3910		
5643	2310	4085	1670	3127	1300	2702	1290	12329	10800	18347	20800	12934	11700	15359	15200	12655	8850	11951	10300	10201	7500	7705	3800		
5583	2290	4045	1660	3099	1300	2669	1330	13966	12300	17782	20800	12944	12300	14924	14800	12851	8770	12016	10200	10114	7300	7627	3710		
5523	2270	4005	1640	3071	1290	2724	1380	19608	13400	17250	20600	12714	13100	14571	14400	14292	8840	12205	10000	10016	7100	7550	3650		
5464	2220	3965	1620	3043	1280	2766	1420	24925	15800	16749	20100	12518	13600	14333	13900	15785	9040	12261	9880	9919	7000	7474	3550		
5406	2200	3926	1610	3016	1280	2737	1500	27732	18900	16687	19300	13498	15000	14163	13400	15891	9330	12186	9770	9823	6900	7398	3430		
5348	2180	3888	1600	2989	1270	2708	1610	29958	22000	16937	18800	14558	15900	14001	12900	15522	9700	12041	9650	9728	6850	7323	3350		
5291	2180	3850	1580	2963	1270	2682	1830	31667	24300	16596	18500	14179	16000	13738	12500	15126	10000	11905	9520	9719	6800	7249	3250		
5235	2130	2937	1260	2659	2200	31558	26000	16323	18200	13872	16100	14383	12300	14771	10300	11779	9410	9701	6800	7175	3200				
5180	2110	2911	1250	2638	2900	30623	27000	15992	17900	13687	16000	15337	12300	14414	10600	11660	9260	9602	6780	7103	3100				
5125	2100	2885	1250	29497	27300	13300	15900	15009	12300	11547	9130	7030	3000												

TABLEAU 5.1 i - Vérification du calage, année 1966, station 092717.

JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
6959	3000	5073	2130	3854	1880	2909	1710	2279	1860	20564	18600	13155	10100	10451	8190	9452	8000	8852	6930	8960	8350	8278	7000
6888	2970	5022	2120	3818	1870	2884	1710	2450	1910	25176	19300	13092	9810	10269	8200	9303	7900	8642	6930	9724	8350	8193	6900
6818	2920	4972	2110	3782	1860	2859	1700	3109	2050	27815	19900	12871	9570	10230	8300	9139	7780	8516	6970	11967	8360	8108	6750
6748	2870	4922	2100	3746	1850	2835	1700	3167	2220	29436	20000	12779	9490	10549	8400	8977	7700	8467	6990	13053	8400	8025	6600
6680	2820	4873	2090	3711	1830	2811	1700	3100	2410	29148	20100	12786	9310	10718	8500	8855	7600	8338	7020	12697	8400	7942	6500
6611	2790	4825	2080	3677	1820	2787	1700	3038	2700	27069	20000	12545	9120	11486	8600	8776	7520	8200	7070	12338	8400	7860	6380
6544	2750	4777	2070	3642	1810	2764	1700	3084	2910	25154	19900	12403	8880	12552	8700	8676	7310	8113	7080	11925	8390	7779	6250
6477	2700	4729	2060	3608	1810	2741	1700	3644	3300	23502	19800	12404	8720	13914	8780	8574	7200	8100	7060	11560	8380	7699	6100
6411	2680	4683	2050	3575	1800	2718	1700	4122	3720	22183	19700	12945	8590	16044	8900	8536	7100	7983	7120	11244	8370	7620	6000
6346	2630	4636	2050	3542	1800	2695	1700	4218	4100	21129	19500	14055	8500	16281	9000	8534	7000	7910	7220	10966	8350	7541	5890
6281	2600	4591	2030	3509	1800	2673	1700	4218	4700	20107	18900	13707	8420	15552	9200	8446	6900	8181	7290	10721	8350	7463	5790
6217	2550	4546	2020	3477	1800	2651	1700	4103	5300	19218	18300	13432	8350	14837	9300	8343	6900	8636	7350	10536	8300	7385	5650
6154	2520	4501	2010	3445	1790	2629	1700	4064	5650	18416	17700	13408	8190	14187	9360	8193	6790	8501	7460	10338	8280	7309	5580
6091	2490	4457	2000	3414	1780	2607	1700	4080	6000	18085	17400	13269	8150	13587	9480	8029	6690	8353	7550	10159	8230	7233	5420
6029	2440	4413	2000	3383	1780	2586	1700	4155	6200	18393	16800	12964	8120	13062	9500	7864	6690	8267	7600	9995	8190	7157	5370
5968	2410	4370	1990	3352	1770	2565	1700	4216	6400	17897	16200	12630	8150	12608	9700	7703	6660	8256	7630	9845	8100	7083	5210
5907	2380	4327	1980	3322	1770	2544	1700	4142	6600	17317	15700	12282	8120	12295	9700	7560	6630	8266	7700	9706	8080	7009	5100
5847	2350	4285	1970	3292	1760	2524	1700	4072	6800	16816	15100	11971	8070	12107	9700	7539	6540	8219	7830	9575	8000	6935	4980
4788	2320	4244	1950	3262	1760	2504	1700	4065	7000	16373	14500	11764	8040	11808	9590	7613	6420	9509	7910	9452	7960	6863	4900
5729	2300	4203	1940	3233	1750	2484	1700	4124	7300	15923	14000	11617	7980	11574	9500	7505	6390	10796	8010	9336	7900	6791	4780
5671	2280	4162	1930	3204	1750	2464	1700	4248	7700	15510	13500	11358	8000	11395	9400	7942	6390	10538	8080	9225	7800	6719	4680
5613	2260	4122	1920	3175	1740	2445	1700	4371	8400	15155	13000	11332	7900	11165	9200	8789	6410	10212	8100	9118	7750	6649	4580
5557	2240	4082	1910	3147	1740	2425	1700	4670	9050	14989	12600	11642	7900	10966	9100	8733	6540	9980	8060	9016	7700	6579	4400
5500	2220	4043	1900	3119	1740	2406	1700	6279	9850	14956	12100	11810	7900	10718	9000	8727	6630	9765	8150	8916	7650	6510	4320
5445	2210	4005	1900	3092	1730	2387	1710	9060	10800	14687	11900	11600	7950	10459	8860	9452	6630	9587	8230	8819	7600	6441	4200
5390	2200	3966	1900	3065	1730	2369	1710	12334	12000	14414	11500	11453	7990	10226	8780	10213	6610	9382	8280	8725	7540	6373	4100
5335	2190	3929	1890	3038	1730	2351	1720	14421	13300	14119	11200	11420	7990	10035	8710	9936	6610	9225	8320	8632	7450	6306	4000
5282	2180	3891	1890	3011	1720	2332	1740	15231	14500	13805	10900	11150	8000	9849	8500	9632	6640	9143	8320	8541	7380	6239	3800
5229	2170			2985	1720	2315	1780	15194	15800	13482	10800	10906	8000	9745	8390	9350	6800	9126	8280	8452	7280	6173	3600
5176	2160			2959	1720	2297	1810	15737	17000	13239	10400	10756	8000	9723	8120	9091	6920	8978	8280	8365	7180	6108	3480
5124	2140			2934	1720			17465	18000			10628	8000	9591	8100			8939	8290			6044	3380

TABLEAU 5.1 i (SUITE) - Année 1967, station 092717.

	t obs: ième jour de l'année	t cal: ième jour de l'année	t obs: - t cal jours	Q obs: (pi ³ /sec)	Q cal: (pi ³ /sec)	$\frac{Q \text{ cal} - Q \text{ obs}}{Q \text{ obs}}$ []
CALAGE						
1963						
092704	156	155	1	146,000	164,721	.13
092702	158	155	3	118,000	138,923	.18
092703	159	160	9	57,000	93,984	.65
092708	158	153	5	28,600	29,152	.01
1964						
092704	145	153	-8	155,000	166,084	.07
092702	146	152	-6	127,000	149,137	.17
092703	151	149	2	60,200	90,860	.51
092708	151	135	16	32,000	39,267	.23
VERIFICATION						
1966						
092704	154	155	-1	187,000	189,486	.01
092702	154	154	0	152,000	165,445	.09
092703	158	150	8	76,300	102,702	.35
092708	155	144	11	38,100	42,823	.12
092717	153	148	5	27,500	31,667	.15
1967						
092704	154	158	-4	152,000	163,821	.08
092702	155	157	-2	162,000*	131,799	-.19
092703	155	154	1	60,700*	76,565	.26
092708	155	151	4	38,900*	31,989	-.18
092717	156	155	1	20,100*	29,436	.46

* débits non corrigés

TABLEAU 5.2: Comparaison des dates et des pointes des crues maximales de printemps.

STATION	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	ANNEE	M.J.J.
An 1963														
092704														
L.O.	.60	.38	.42	.59	2.42	3.54	2.08	1.80	1.35	1.43	1.40	1.42	17.42	
L.C.	.66	.52	.46	.49	1.96	3.60	1.90	1.56	1.27	1.55	1.52	1.24	16.74	
LC-LO					-.19	.02	-.09						-.04	-.07
LO														
092702														
L.O.	-	-	-	-	-	3.69	2.19	1.79	1.45	1.54	-	-	-	
L.C.	.68	.53	.46	.46	1.78	4.02	2.07	1.64	1.26	1.61	1.55	1.22	17.28	
LC-LO						-.09	-.05							
LO														
092703														
L.O.	.85	.54	.51	.51	2.42	3.76	2.38	1.89	1.60	1.75	1.56	1.57	19.35	
L.C.	.75	.55	.49	.43	2.49	3.83	1.80	1.43	1.21	1.72	1.50	1.18	17.40	
LC-LO					.03	.02	-.24						-.10	-.05
LO														
092708														
L.O.	.72	.50	.45	.50	2.44	3.59	2.03	1.89	1.31	1.42	1.27	1.50	17.62	
L.C.	.77	.57	.48	.41	2.35	3.49	2.18	1.55	1.19	1.54	1.60	1.35	17.46	
LC-LO					-.04	-.03	.07						-.01	-.005
LO														
An 1964														
092704														
L.O.	.86	.57	.51	.52	3.65	3.85	2.08	1.46	2.13	3.21	2.15	1.22	22.19	
L.C.	.90	.64	.54	.57	3.93	3.68	2.05	1.92	1.67	2.18	2.13	1.64	21.84	
LC-LO					.08	-.04	-.01						-.02	.008
LO														
092702														
L.O.	-	-	-	-	-	3.88	2.26	1.55	2.10	3.09	-	-	-	
L.C.	.89	.62	.52	.53	4.30	4.14	2.27	2.12	1.76	2.25	2.20	1.66	23.25	
LC-LO						.07	0							
LO														
092703														
L.O.	.99	.69	.61	.70	3.86	3.96	2.47	1.67	2.10	3.02	2.46	1.78	24.31	
L.C.	.87	.64	.56	.55	5.34	4.12	2.22	2.35	1.90	2.47	2.17	1.57	24.76	
LC-LO					.38	.04	-.10						.02	.14
LO														
092708														
L.O.	.84	.58	.53	.70	4.17	3.77	1.85	1.36	2.17	2.84	2.17	1.50	22.47	
L.C.	1.00	.69	.55	.52	5.38	3.96	2.52	2.17	1.81	2.23	2.31	1.86	25.01	
LC-LO					-.29	.05	.36						.11	.21
LO														
An 1966														
092704														
L.O.	.80	.49	.45	.58	2.14	4.71	3.48	3.79	2.97	3.29	2.31	1.59	26.60	
L.C.	1.22	.84	.74	1.01	2.08	4.28	2.40	2.59	2.33	2.73	2.42	1.94	24.58	
LC-LO					-.03	-.09	-.31						-.08	-.15
LO														
092702														
L.O.	-	-	-	-	2.56	5.11	3.75	4.18	3.27	3.42	-	-	-	
L.C.	1.25	.84	.73	.83	2.05	4.81	2.66	2.91	2.58	2.90	2.52	2.00	26.08	
LC-LO					-.20	-.06	-.29							-.17
LO														
092703														
L.O.	1.08	.66	.60	.73	2.18	5.42	4.32	4.78	3.43	3.31	2.80	2.05	31.37	
L.C.	1.27	.91	.82	.78	3.05	4.45	2.43	3.25	2.70	2.68	2.38	1.89	26.60	
LC-LO					.40	-.18	-.44						-.15	-.17
LO														
092708														
L.O.	.79	.53	.53	.75	2.82	4.67	3.06	3.73	3.20	3.10	2.32	1.62	27.12	
L.C.	1.36	.89	.73	.70	3.05	3.92	2.57	2.94	2.60	2.67	2.52	2.13	26.07	
LC-LO					.08	-.16	-.16						-.04	-.10
LO														
092717														
L.O.	.75	.48	.40	.39	2.90	6.45	4.19	4.76	2.83	3.11	2.36	1.38	30.01	
L.C.	1.77	1.17	.97	.76	3.13	5.55	3.97	4.49	3.89	3.70	3.09	2.41	34.91	
LC-LO					+.07	-.14	-.05						.16	-.07
LO														
AN 1967														
092704														
L.O.	.86	.57	.54	.50	2.05	3.98	2.29	2.30	1.76	1.64	1.72	1.54	19.75	
L.C.	1.43	.99	.86	.74	1.96	3.68	2.17	1.95	1.37	1.49	1.74	1.37	19.75	
LC-LO					-.05	-.08	-.05						0	-.06
LO														
092702														
L.O.	-	-	-	-	2.14	4.84	2.54	2.60	1.95	1.75	-	-	-	
L.C.	1.44	.98	.84	.68	1.75	3.88	2.29	3.10	1.42	1.61	1.89	1.43	20.32	
LC-LO					-.18	-.20	-.10							-.17
LO														
092703														
L.O.	1.16	.75	.64	.52	1.94	4.08	2.69	2.69	1.97	1.92	1.95	1.49	21.73	
L.C.	1.39	.99	.89	.72	2.30	3.67	2.19	2.44	1.59	2.00	2.24	1.51	21.93	
LC-LO					.19	-.10	-.19						.01	-.06
LO														
092708														
L.O.	.85	.55	.50	.45	2.65	4.54	2.14	2.93	1.84	1.56	1.79	1.67	21.56	
L.C.	1.61	1.09	.90	.66	2.44	3.09	1.56	2.01	1.45	1.60	1.99	1.54	20.33	
LC-LO					-.08	-.32	-.08						-.06	-.20
LO														
092717														
L.O.	.73	.53	.52	.48	2.13	4.53	2.47	2.62	1.97	2.24	2.27	1.53	22.01	
L.C.	1.76	1.18	.89	.73	1.82	5.43	3.59	3.48	2.45	2.60	2.85	2.08	28.96	
LC-LO					-.15	.20	.45						.32	.19
LO														

TABLEAU 5.3 : Comparaison des lames d'eau mensuelles et annuelles calculées et observées.

Lc= lame calculée (po.) Lo= lame observée (po.) MJJ: mai, juin, juillet cumulés

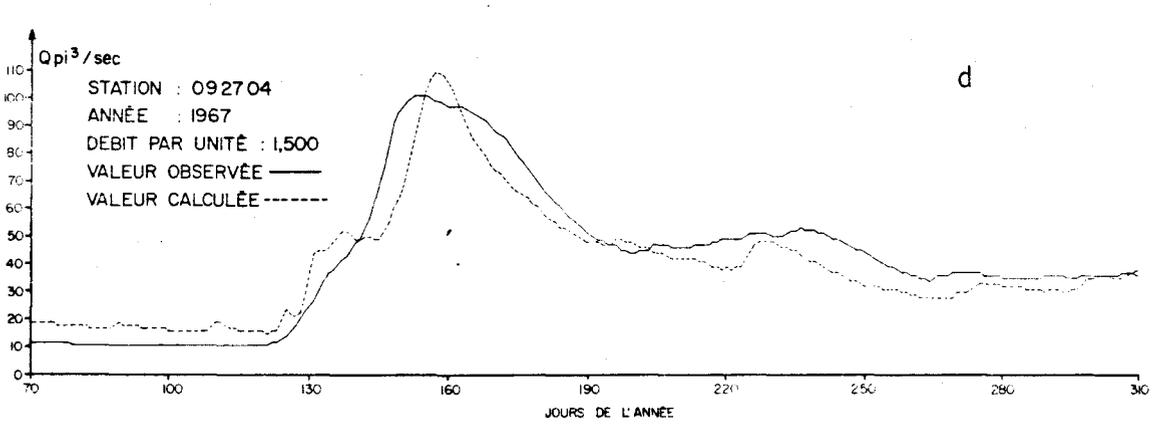
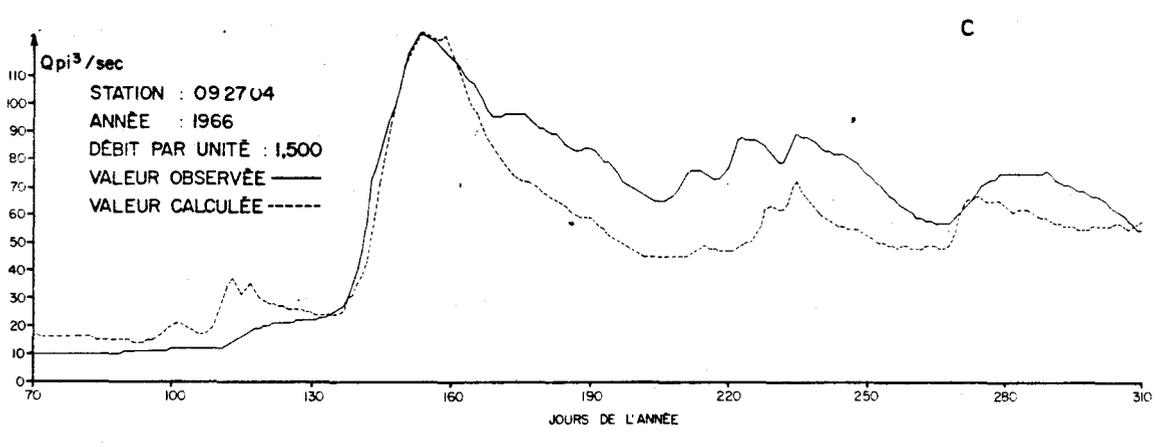
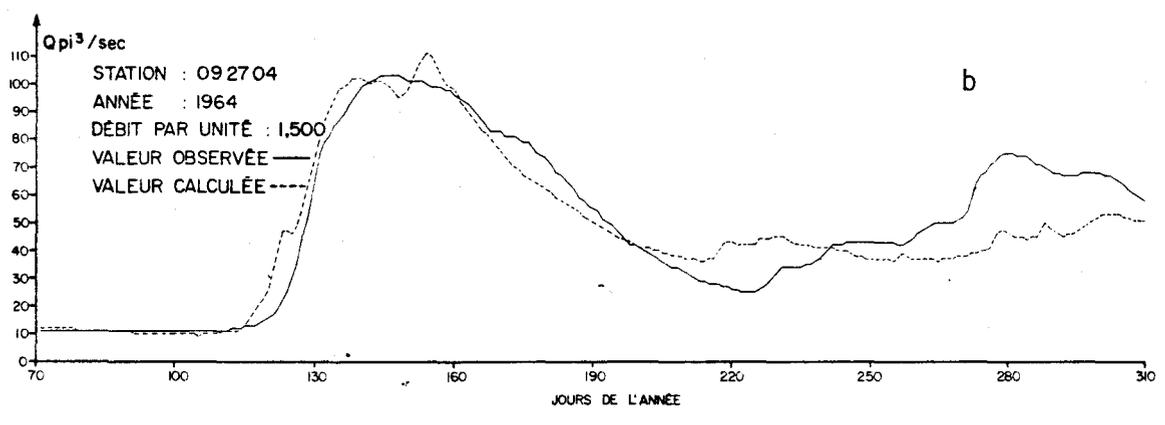
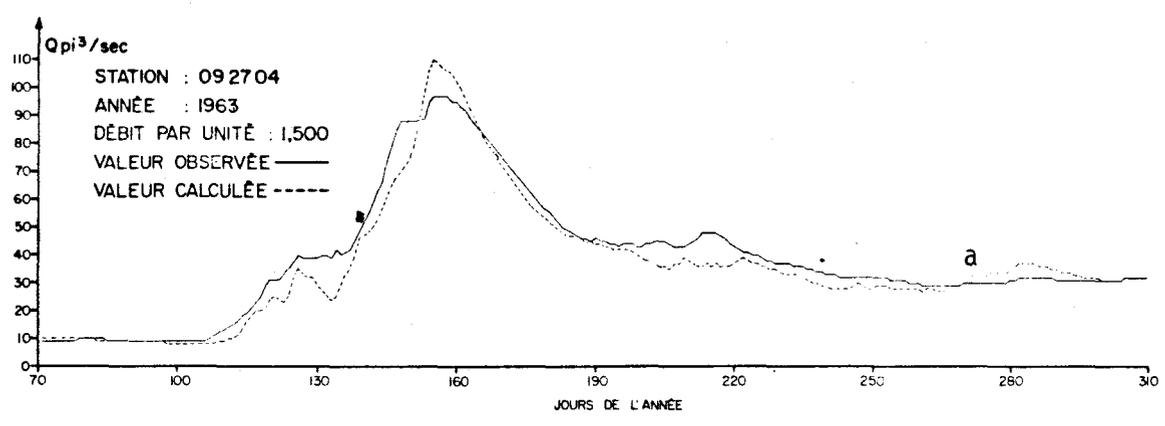


FIGURE 5.1 : Calage du modèle (années 1963-64) et vérification du calage (années 1966-67).

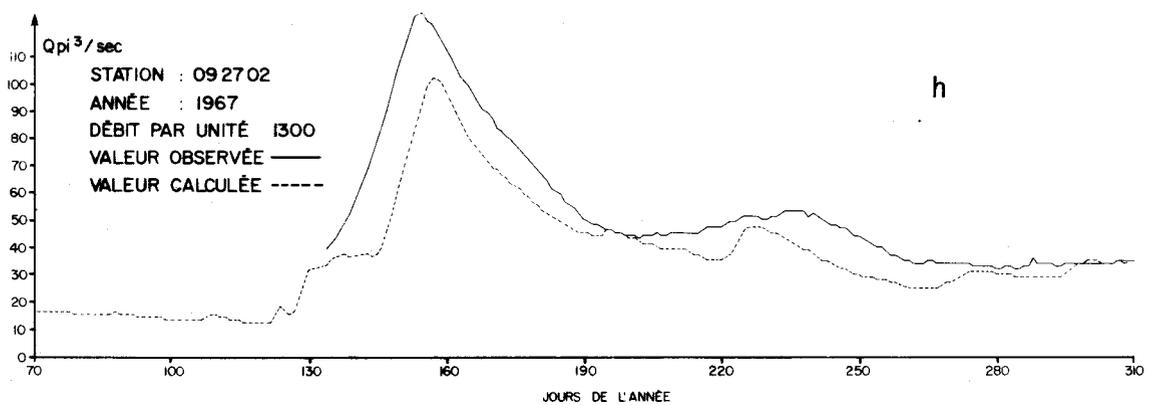
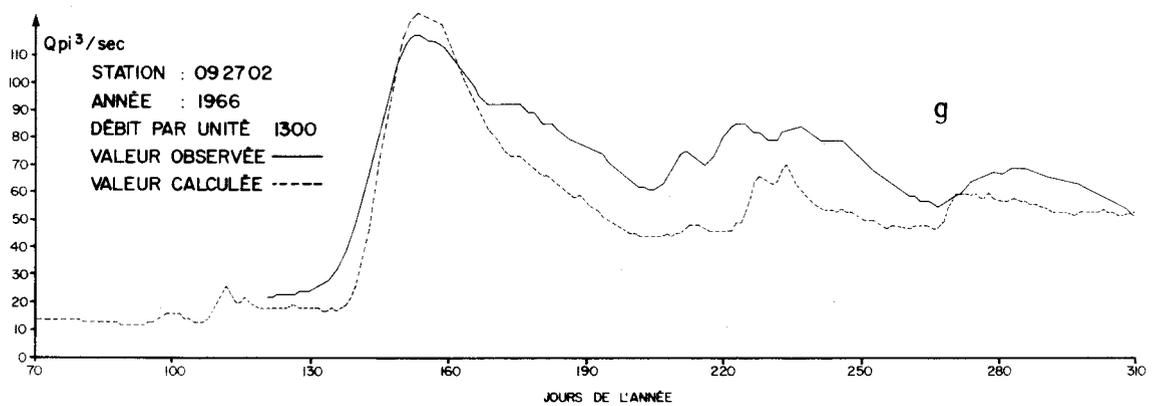
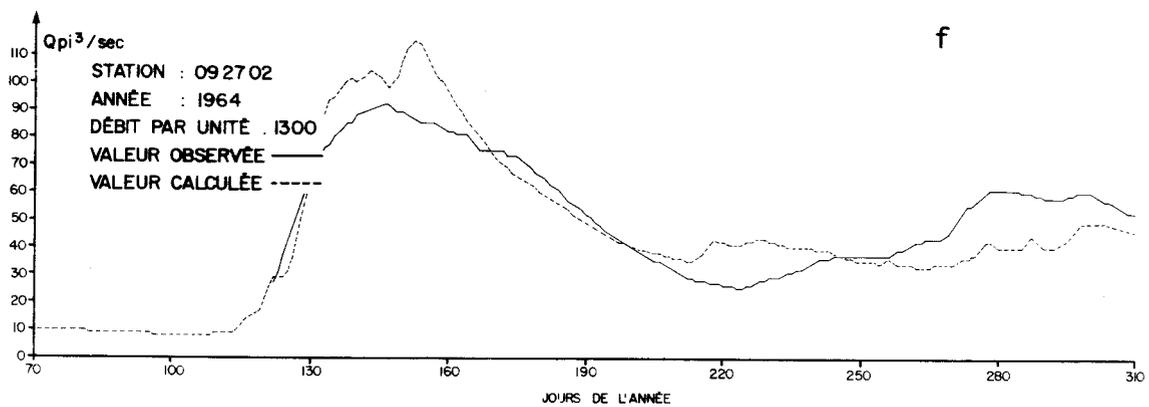
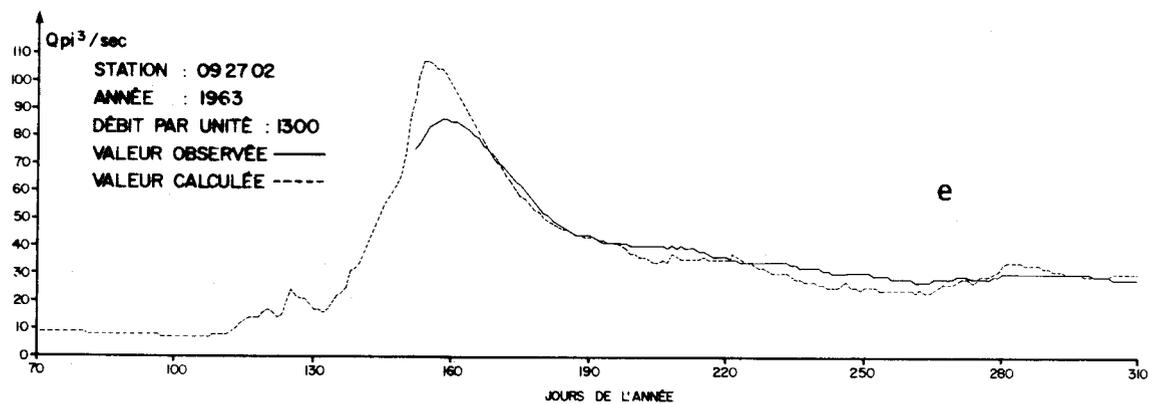


FIGURE 5.1: (SUITE)

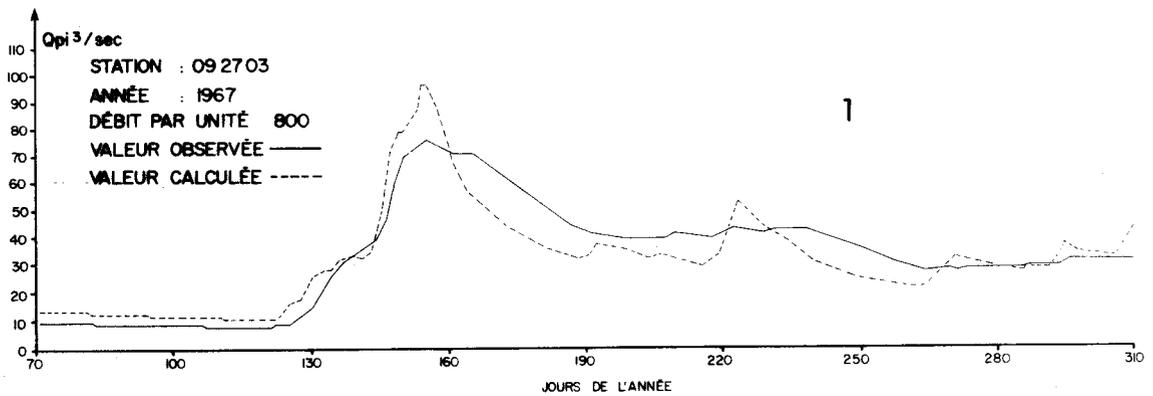
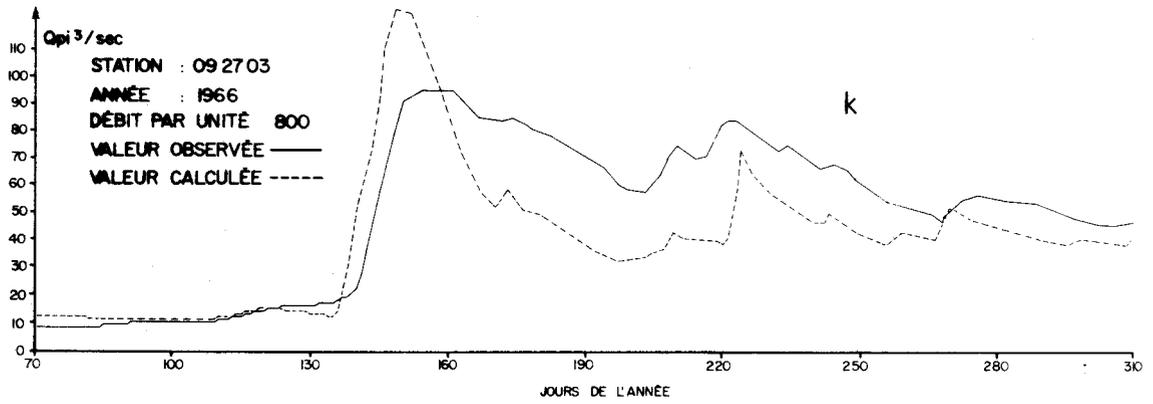
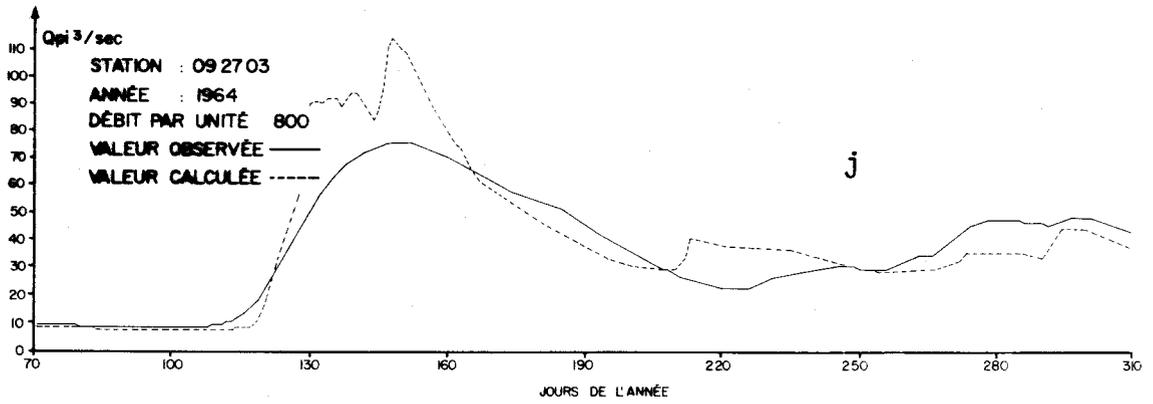
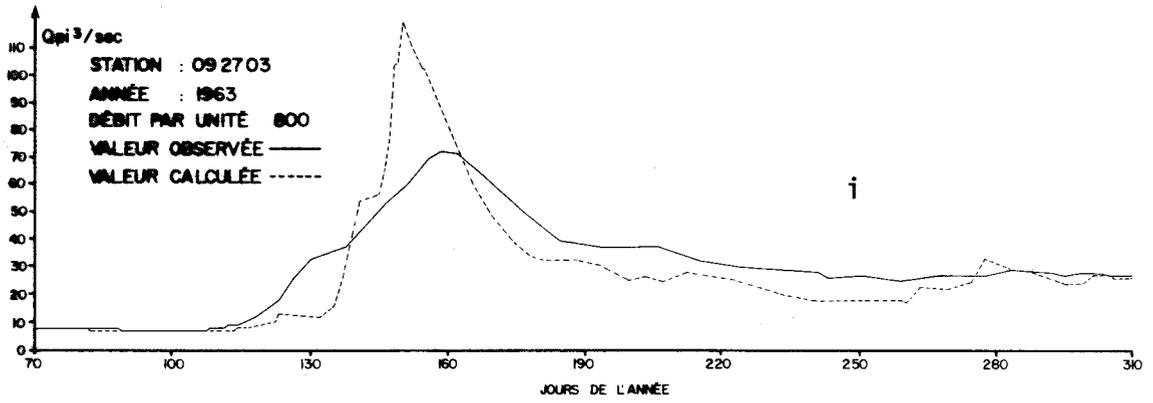


FIGURE 5.1: (SUITE)

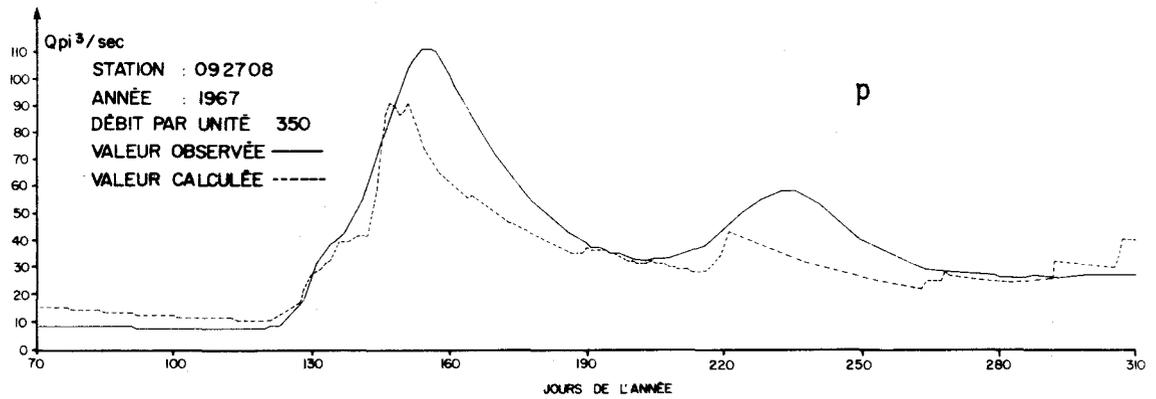
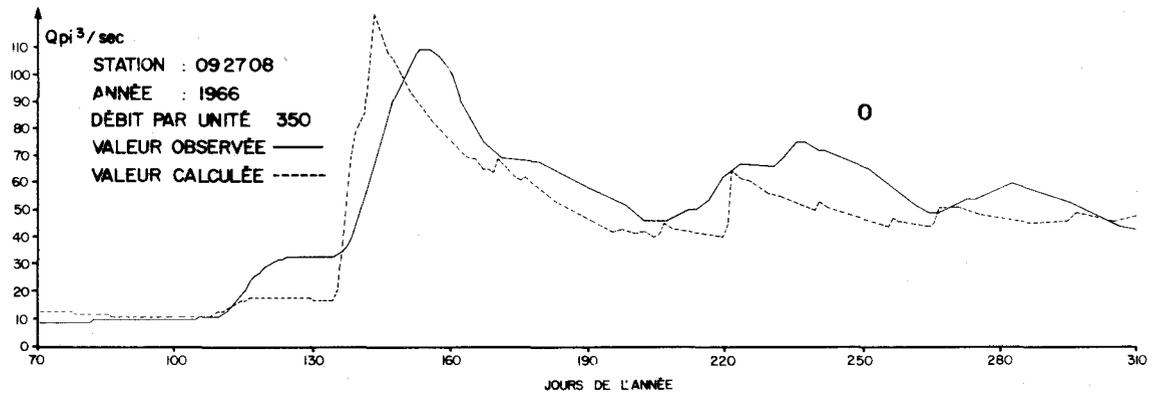
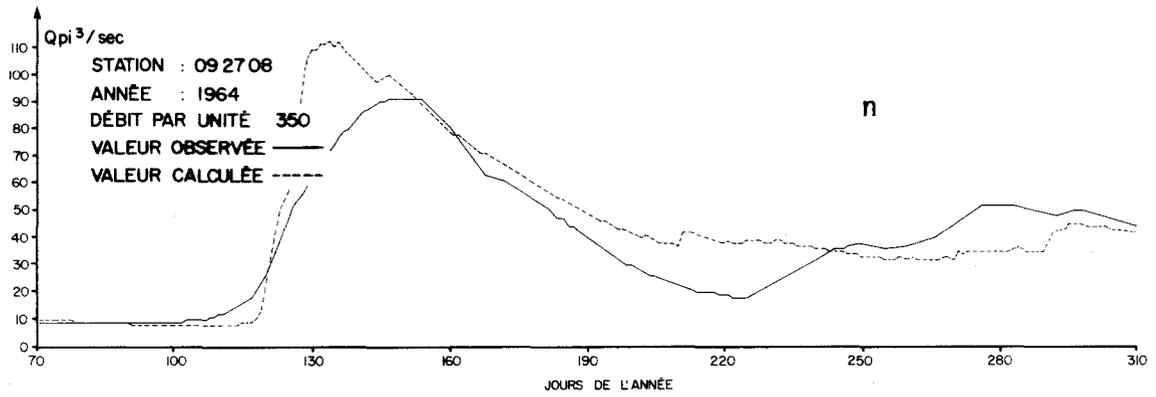
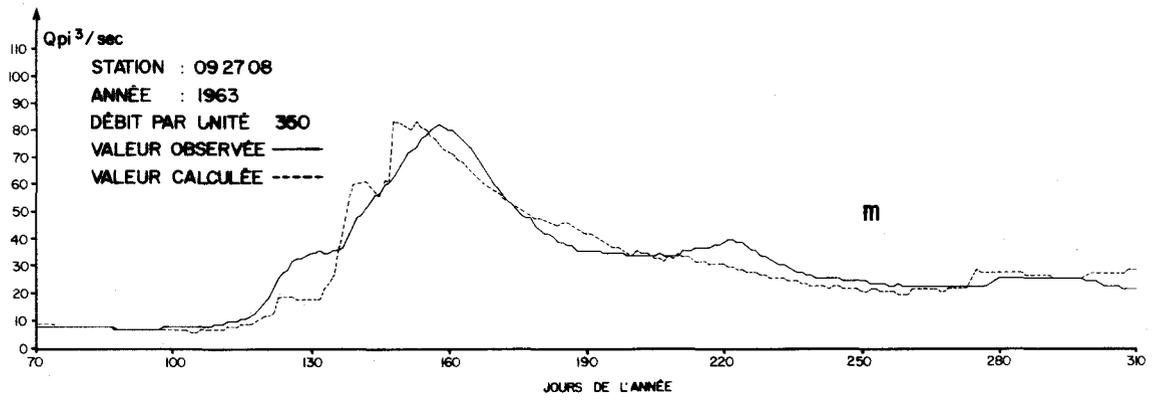


FIGURE 5.1: (SUITE)

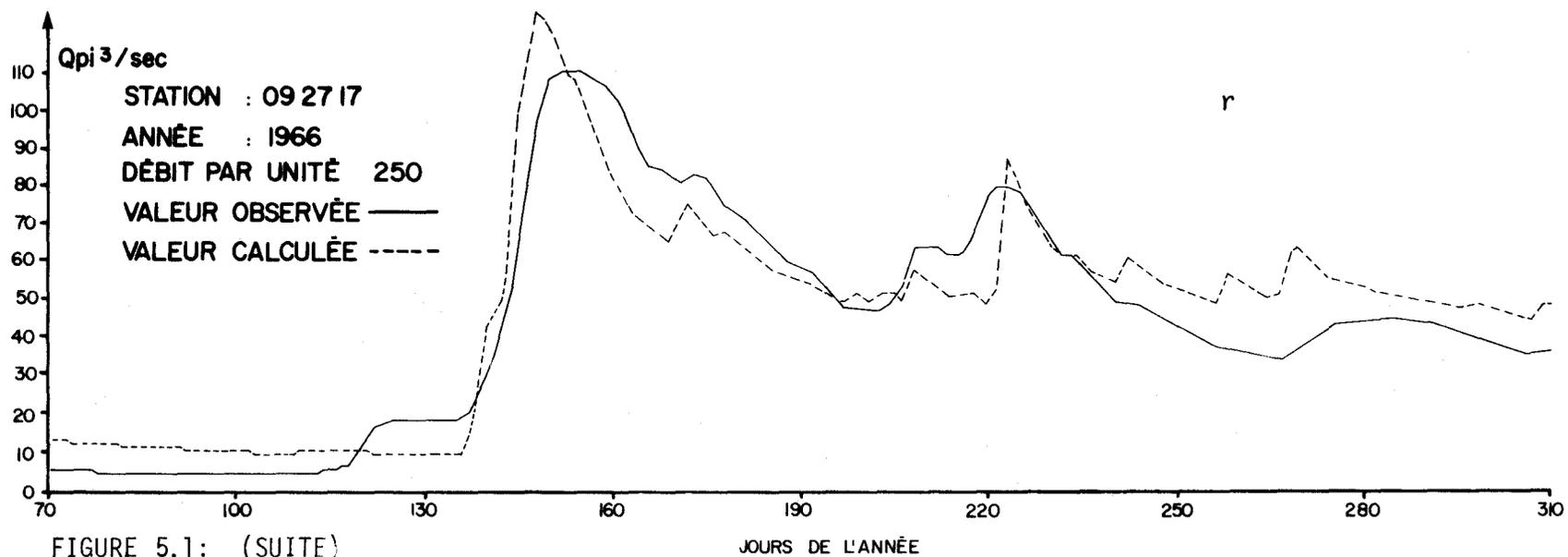
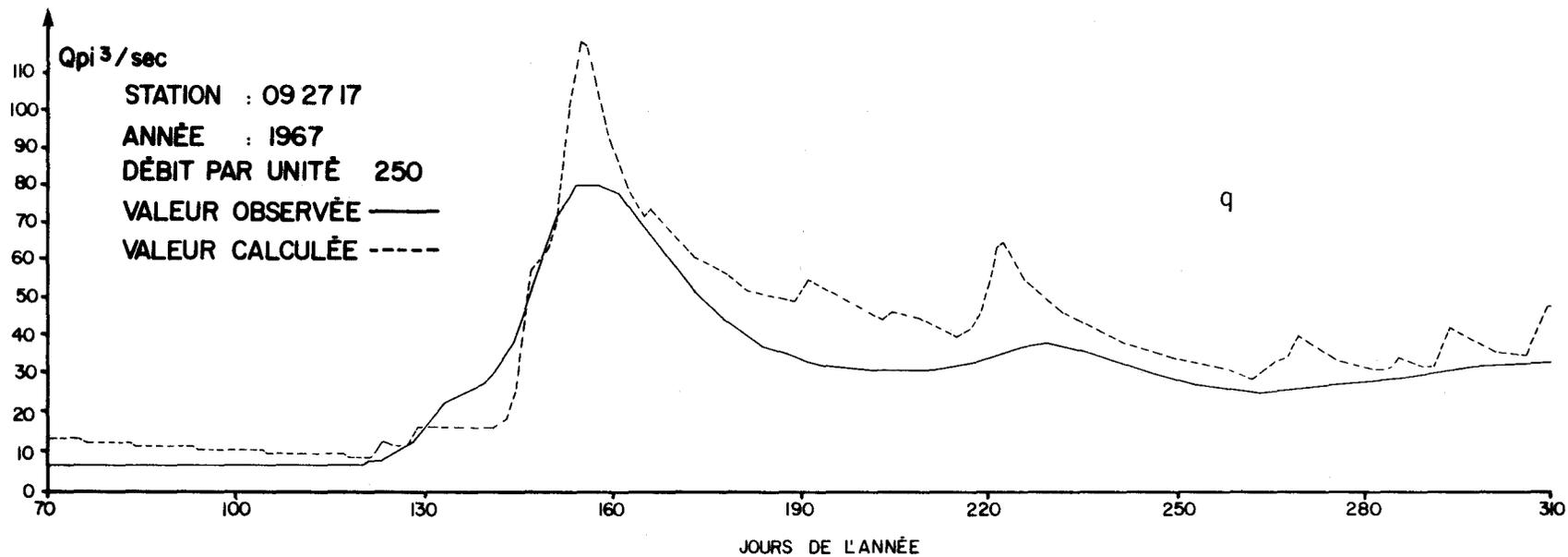


FIGURE 5.1: (SUITE)
 (Manque de données pour le calage en 1963, 1964, 1965.)

6. SIMULATION DES CRUES MAXIMALES

Le modèle étant calibré et ajusté pour reproduire de façon satisfaisante les séries de débits observés en différents points du bassin de la rivière La Grande, nous disposons d'une représentation mathématique à l'image même du bassin et se comportant comme telle. La dernière étape de l'étude consiste à introduire dans le modèle des conditions météorologiques extrêmes ajoutées à des conditions initiales critiques. Ces conditions initiales correspondent à l'état du bassin au printemps de 1973, année qui a fourni la plus forte crue observée sur la rivière La Grande. De plus, elles comprennent la valeur maximale probable du stock de neige sur le bassin.

L'objet de ce chapitre concerne donc les données météorologiques extrêmes de printemps et d'automne à introduire dans le modèle; le traitement qu'on leur fait subir et les résultats auxquels ce traitement nous conduit.

6.1 Données d'entrée

Les données d'entrée au modèle devant conduire aux crues maximales sont subdivisées en deux parties:

- i) les données du printemps;
- ii) les données d'automne.

L'analyse des données météorologiques observées dans la région de la baie de James a été effectuée par le Service de la Météorologie du Ministère des Richesses Naturelles. Cette analyse porte principalement sur les pluies maximales probables de différentes durées et pour différentes superficies de bassin; sur les régimes thermiques maximaux possibles pour 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 30 jours consécutifs; ainsi que sur la hauteur maximale de neige au sol. Cette analyse fera éventuellement l'objet d'une publication du M.R.N.

La préparation et la détermination des données spécifiques à la simulation des crues maximales ont fait l'objet de décisions prises en consultation avec la Société d'Énergie de la Baie James et le Ministère des Richesses Naturelles.

Cette opération s'est faite à partir des résultats de l'analyse du M.R.N. et de nombreux essais préliminaires sur le modèle. Nous avons alors fixé pour le printemps:

- i) la séquence de température;
- ii) la séquence de pluie;
- iii) le jour du début des impulsions de température et de pluie;
- iv) le stock de neige;

et pour l'automne:

- i) la séquence de pluie;
- ii) le jour du début de l'impulsion de pluie.

6.1.1 Le printemps

6.1.1.1 Choix préliminaire

Dans un premier temps nous avons fait de nombreuses simulations correspondant à différentes conditions météorologiques. Nous ne rappellerons pas ces différentes conditions de simulation car elles sont données en annexe A3.

Ces différents essais nous ont permis de déterminer conjointement avec la S.E.B.J. et le service de Météo du M.R.N. la date des impulsions de température et de pluie, leur intensité, et les conditions initiales à utiliser pour la simulation proprement dite.

6.1.1.2 Choix définitif

a) Stock de neige

Ces résultats fournis par le M.R.N. ont été obtenus en utilisant la méthode des saisons synthétiques. L'étude a porté sur 17 années d'observations aux trois postes considérés, soit de 1950-51 à 1966-67 inclusivement. Les valeurs suivantes ont été obtenues:

<u>Station</u>	<u>Neige en pouces</u>
Nitchequon	432.5
Poste de la Baleine	420.0
Fort-Georges	319.0 *

Dans la simulation, nous avons utilisé une valeur moyenne de 42 pouces équivalent-eau pour l'ensemble du bassin. Il s'agit de disposer d'un stock de neige initial moyen sur le bassin correspondant à une moyenne spatiale maximale de telle façon qu'il y ait de la neige au sol au moins jusqu'à la fin de l'impulsion de température. Notons que le volume de neige au sol qui subsiste en certaines parcelles après l'impulsion de température n'a pas d'influence sur la pointe de l'hydrogramme. Par contre, le volume d'eau de la crue est sensiblement modifié.

b) Impulsion de température

L'impulsion de température doit être intégrée à une séquence chronologique de température aux stations utilisées. Cette séquence doit être aussi naturelle que possible, et doit avoir conduit à des conditions critiques (saturation du sol et mûrissement du stock de neige).

D'après l'étude statistique des débits (chapitre 2), la crue du printemps 1973, qui est la crue maximale observée à ce jour,

* On considérera pour les fins de l'étude que la valeur estimée pour Fort-George est applicable à la Station Eastmain.

se situe dans l'intervalle de confiance à 70% autour de la période de retour de 100 ans selon la loi de Gumbel. Nous avons donc choisi la série chronologique de température correspondante comme séquence de base à la simulation extrême.

Sur cette série, il faut superposer une impulsion qui corresponde à un évènement critique de température. Pour fixer le moment du début de cette impulsion, nous avons effectué des essais de 10 jours en 10 jours du début d'avril jusqu'à la fin juin.

Ces essais ont montré que l'impulsion, pour fournir un important taux de fonte, doit être située entre le 15 mai et le 15 juin.

Parallèlement, une étude du M.R.N. a montré que le début de l'impulsion de température devrait avoir lieu le 29 mai. Ce résultat est basé sur le fait qu'à la fin de la période intensive de fonte, il doit rester au sol un stock moyen de neige correspondant au volume qui serait fondu dans une journée au taux potentiel probable journalier.

Pour déterminer cette date, l'on dispose de la courbe de fonte potentielle probable quotidienne et de la hauteur maximale probable de neige au sol le dernier jour de chaque mois. La courbe de fonte potentielle a été établie à l'aide du modèle HCØ 2000 en faisant fondre différents stocks de neige.

Le recoupement de la courbe de décroissance des stocks de neige et de celle de la fonte potentielle nous permet de situer la date de la fin de la période intensive de fonte aux environs du 7 juin. Considérant que le temps de réponse du bassin est de 10 jours, nous avons donc situé le début de l'impulsion aux alentours du 29 mai. Après quelques essais, on a jugé préférable de retarder cette impulsion de 2 jours afin de ramener au minimum le stock disponible en moyenne sur le bassin à la fin de cette période. Rappelons ici

que le modèle donne à chaque jour et pour chaque parcelle l'état des réserves et de nombreuses autres caractéristiques.

Pour les simulations, l'impulsion de température commence donc le 1^{er} juin.

Les impulsions de températures pour chacun des trois postes météorologiques ont été établies à partir des courbes de températures maximales moyennes probables pour des périodes de 1 jour à 10 jours consécutifs. Voici donc les températures à utiliser à chaque poste météorologique:

<u>Date</u>	<u>Nitchequon</u>	<u>Eastmain</u>	<u>Poste-de-la-Baleine</u>
1 ^{er} juin	46	43.5	42.0
2 juin	42.5	54	41.0
3 juin	46.5	48	40.5
4 juin	60.6	60.9	60.9
5 juin	62.6	63.1	61.3
6 juin	63	63.3	64.7
7 juin	67.6	68.1	68.5
8 juin	75.3	78.4	79.6
9 juin	70.7	72.2	73.0
10 juin	66.4	66.5	67.7

Les séquences complètes de température journalière utilisées pour la simulation sont regroupées au tableau 6.1. Ces valeurs sont, rappelons-le, celles observées au printemps de 1973 auxquelles vient s'intégrer l'impulsion de fonte maximale.

c) Impulsion de précipitation

Des courbes de pluie maximale observée et de pluie maximale probable ont été établies par le Service de la Météorologie du M.R.N. A partir de ces courbes de hauteur-superficie durée, il est facile de déterminer les hauteurs de précipitations correspondant à une superficie et une durée données. De plus, on utilise un coefficient de correction qui est la variation annuelle relative de la valeur modale des pluies maximales de 24 heures.

L'impulsion de précipitation a donc été estimée pour dix jours, en prenant la pluie maximale probable pour 1 jour, 2 jours, 3 jours consécutifs, etc..., et en faisant les différences qui s'imposent. Pour situer la valeur maximale dans la série, on doit respecter le lien physique entre la séquence des pluies et celles des températures. La plus forte pluie devrait donc tomber vers le premier jour de l'impulsion de température, c'est-à-dire le 1^{er} juin.

On considère, de plus, que le jour suivant l'impulsion de précipitation, le système météorologique apporte une nouvelle précipitation de 1.2 pouce. De façon similaire à la séquence des températures, cette impulsion de précipitation vient s'intégrer à la séquence de précipitations observée en 1973.

On retrouve au tableau 6.2 les données de précipitations utilisées pour la simulation; les impulsions de précipitation à substituer pour la période du 1 juin au 11 juin sont données dans le tableau 6.3.

6.1.2 L'automne

Les données utilisées pour la simulation de la crue maximale d'automne sont composées d'une série météorologique de base à laquelle vient s'intégrer une séquence exceptionnelle de précipitation de 10 jours. La série de base correspond aux conditions météorologiques qui ont prévalu au cours de l'année 1966 aux stations Poste de la Baleine, Eastmain et Nitchequon. D'après les hydrogrammes observés, cette série météorologique conduit aux conditions des stocks d'automne les plus critiques observés. Ces conditions convenaient donc particulièrement bien pour caractériser l'état des stocks dans le modèle à la veille du début de l'impulsion de précipitation.

L'impulsion de précipitation a été déterminée de façon similaire à celle du printemps, c'est-à-dire en prenant la pluie maximale probable pour 1 jour, 2, 3, 4 ... 10 jours consécutifs et en faisant les différences qui s'imposent. Ces valeurs sont corrigées à l'aide de la courbe de la variation annuelle relative de la valeur modale des pluies de 24 heures. Cette courbe a été établie avec les données de la station d'Amos.

Cette impulsion de précipitation s'intègre à la séquence naturelle de 1966 à partir du 11 octobre. Cette date a été estimée à la suite de quelques essais sur le modèle visant à déterminer la date optimale du début de l'impulsion. Notons enfin que, similairement au printemps, le 11^{ème} jour de l'impulsion, un système météorologique apporte une nouvelle précipitation de .93 pouce. On retrouve au tableau 6.4 les séquences de précipitations pour les 10 jours de l'impulsion et le jour qui suit et ceci pour différentes superficies de bassins délimitées par la position des sites de barrage. Le tableau 6.5 donne la séquence de précipitation complète pour les mois de septembre, octobre et novembre avec l'impulsion de précipitation correspondant à l'ensemble du bassin de la Grande au site LG1.

Concernant la température, l'approche est différente de celle du printemps puisqu'en automne, les données de températures n'ont qu'une influence minime (évaporation). Nous avons donc utilisé telles quelles, les données originales observées en 1966 sauf pendant l'impulsion de pluie où la température a été fixée à 50⁰F pour garantir que la précipitation tombe en pluie dans le modèle. On retrouve au tableau 6.6 les données de température utilisées pour la simulation d'automne.

Nous disposons donc de toutes les données chronologiques de météorologie nécessaires à la simulation. L'introduction dans le modèle de ces valeurs critiques conduit à la simulation d'évènements extrêmes.

6.2 Simulation de printemps

La simulation des crues maximales de printemps est subdivisée en deux parties selon les hypothèses suivantes:

- i) simulation avec les valeurs météorologiques extrêmes et blocage de l'infiltration;
- ii) simulation avec stock de neige réduit et blocage de l'infiltration.

De plus, les simulations doivent tenir compte de la variation des valeurs météorologiques extrêmes selon la surface du bassin concernée. Le bassin est subdivisé en quatre sous-bassins délimités à l'aval par les sites de barrage (LG1; LG2; LG3; LG4) et en trois parties de bassin délimitées à l'aval et à l'amont par un site de barrage (LG1-LG2; LG2-LG3; LG3-LG4). Par exemple, la partie de bassin LG2-LG3 est délimitée à l'aval par le contour du bassin au site LG2 et à l'amont par le contour du bassin du site LG3. On retrouve au tableau 6.7 les superficies correspondantes. (Voir aussi la figure 6.1).

Concernant la simulation pour le sous-bassin limité à l'aval par le site LG2, les résultats ne sont pas significativement différents de ceux obtenus par la simulation sur l'ensemble du bassin à LG1. En effet, les données météorologiques extrêmes obtenues pour les deux cas sont très peu différentes compte tenu des superficies d'influences considérées (36,898 mica - vs - 37,546 mica). Ces résultats ne sont donc pas présentés ici.

6.2.1 Simulation avec blocage de l'infiltration

Le modèle tel que calibré ne prévoit pas de blocage de l'infiltration, mais compte tenu des conditions extrêmes mises en jeu dans cette simulation, la S.E.B.J. nous a demandé de limiter l'infiltration en introduisant un maximum de 4 pouces et demi (4.5") pour le niveau d'eau dans le réservoir-nappe du modèle. Nous avons dans un premier temps effectué une série de simulations sans blocage de l'infiltration. Puis, nous avons effectué les simulations avec blocage de l'infiltration dont les résultats sont présentés aux figures et tableaux suivants:

- i) simulation avec la précipitation évaluée pour l'ensemble du bassin à LG1;
figures 6.2 a, b, c et d;
tableaux 6.8 a, b, c et d;
- ii) simulation avec la précipitation évaluée pour le sous-bassin limité à l'aval par LG3:
figures 6.3 a et b;
tableaux 6.9 a et b;
- iii) simulation avec la précipitation évaluée par chacune des parties de bassin:
LG1-LG2; LG2-LG3; LG3-LG4; LG4
figures 6.4 a, b, c et d;
tableaux 6.10 a, b, c et d;

- iv) résumé des valeurs maximales de crues, des dates correspondantes et des lames d'eau mensuelles;
tableaux 6.11 a, b et c;
- v) état des réserves dans le modèle, précipitation et évaporation mensuelles pour la simulation:
tableaux 6.12 a et b.

6.2.2 Simulations avec des stocks de neige plus faibles et blocage de l'infiltration

Le but de ces deux différentes simulations est de mettre en évidence l'influence de l'épaisseur du stock de neige sur la pointe de l'hydrogramme de crue.

Le stock de neige utilisé au paragraphe précédent est de 42" pouces équivalent-eau à chacune des stations. Le stock de neige a été abaissé dans un premier temps de 10" pouces-équivalent-eau à chacune des stations, soit un stock de 32". On a ensuite diminué ce stock de 10" afin d'obtenir un stock de neige de 22" pouces-équivalent-eau à chaque station.

L'influence de cette modification se fait sentir sur le maximum de l'hydrogramme. Cependant, plus le stock de neige initial est faible, plus une modification de ce stock a une influence importante sur le maximum. En effet, dans le premier cas, où une diminution du stock de neige de 42" à 32" (-24%) a été effectuée, la pointe de crue a été diminuée de 9.6%; dans le second cas, où le stock passe de 32" à 22" (-31%) la pointe de crue est réduite de 25%.

Il est donc intéressant de noter que, comme on le voulait dans la simulation, nous avons utilisé un stock suffisamment important pour répondre à l'impulsion de température. De plus une

augmentation ou une diminution de quelques pouces du stock de neige autour de cette valeur n'affecte que très légèrement la valeur de la pointe de crue.

Les résultats sont présentés aux figures et tableaux suivants:

- i) simulation avec la précipitation évaluée pour l'ensemble du bassin à LGI et un stock de neige initial de 32":
figures 6.5 a, b, c et d;
tableaux 6.13 a, b, c et d;
- ii) simulation avec la précipitation évaluée pour l'ensemble du bassin à LGI et un stock de neige initial de 22":
figures 6.6 a, b, c et d;
tableaux 6.14 a, b, c et d;
- iii) résumé des valeurs maximales de crues, des dates correspondantes et des lames d'eau mensuelles:
tableaux 6.15 a et b;
- iv) état des réserves dans le modèle, précipitation et évaporation mensuelles:
tableaux 6.16 a, b et c.

6.3 Simulation d'automne

Pour la simulation de la crue d'automne, nous avons considéré des apports en précipitation évalués pour les mêmes surfaces de bassins que pour les simulations de printemps soient celles données au tableau 6.7. Dans le cadre de ces simulations, nous avons imposé que les réservoirs-sol et nappe profonde soient saturés au début de l'impulsion de pluie.

Les résultats sont présentés aux figures et tableaux suivants:

- i) simulation avec la précipitation évaluée pour l'ensemble du bassin à LG1:
figures 6.7 a, b, c et d;
tableaux 6.17 a, b, c et d;
- ii) simulation avec la précipitation évaluée pour le sous-bassin limité à l'aval par le site LG3:
figures 6.8 a et b;
tableaux 6.18 a et b;
- iii) simulations avec la précipitation évaluée pour les parties de bassin comprises entre les sites de barrage:
figures 6.9 a, b, c et d;
tableaux 6.19 a, b, c et d;
- iv) résumé des valeurs maximales de crues, des dates correspondantes et des lames d'eau mensuelles écoulées, précipitées et évaporées:
tableaux 6.20 a, b, c et d.

	AVRIL			MAI			JUIN		
	P.B.	E	N	P.B.	E	N	P.B.	E	N
1	18.0	27.0	24.0	22.0	29.5	32.0	46	43.5	42.0
2	24.5	38.0	27.0	19.0	34.5	33.5	42.5	54	41.0
3	22.5	40.0	32.0	18.0	34.5	36.0	46.5	48	40.5
4	8.5	22.5	31.5	25.5	37.0	35.5	60.6	60.9	60.9
5	5.0	14.0	29.0	21.0	32.5*	28.5	62.6	63.1	61.3
6	3.0	12.0	22.5	29.0	36.3*	26.5	63	63.3	64.7
7	3.0	13.5	8.5	43.0	52.3*	33.0	67.6	68.1	68.5
8	0.0	8.5	1.0	44.5	50.0*	40.5	75.3	78.4	79.6
9	0.5	6.5	1.5	42.5	44.0*	41.5	70.7	72.2	73.0
10	-3.5	7.0	0.5	43.5	42.0*	40.5	66.4	66.5	67.7
11	-6.5	11.5	6.0	40.0	40.5*	40.5	34.5	49.0	48.5
12	2.0	9.5	11.5	33.0	32.5*	37.5	33.5	49.5	47.5
13	7.5	15.0	5.0	32.0	30.0*	32.5	37.5	45.0	48.5
14	16.5	32.5	17.5	31.5	30.5*	32.5	34.5	48.0	51.5
15	11.5	34.5	18.0	37.5	40.0*	33.0	37.0	44.0	52.0
16	13.5	36.5	28.0	40.0	39.5*	42.0	36.0	48.0	54.5
17	27.0	38.5	33.5	35.0	38.0*	38.5	34.0	53.0	55.0
18	10.0	24.5	25.5	37.5	47.0*	41.0	38.0	59.0	59.0
19	10.5	23.5*	20.5	54.5	49.0*	46.0	39.5	64.0	57.0
20	34.5	44.0*	26.0	52.0	51.5*	40.5	44.5	62.5	62.0
21	34.5	44.0*	34.5	48.0	49.5*	41.5	36.5	45.0*	51.5
22	36.0	45.5*	33.0	48.5	49.0*	38.5	41.0	44.0*	52.0
23	26.0	31.8*	35.0	52.0	47.0*	45.0	53.5	53.5*	56.0
24	27.5	33.0	31.0	55.0	53.0*	43.0	63.5	64.5*	60.0
25	27.0	27.0	30.0	47.5	48.5*	43.0	49.0	58.5*	61.0
26	23.0	28.0	28.0	38.0	47.5*	46.5	53.0	57.0	49.5
27	26.5	39.0	31.5	35.5	51.5*	47.5	60.5	69.0	56.5
28	32.0	34.3*	35.0	31.5	36.0	36.0	66.0	73.0	63.0
29	29.5	27.5	35.0	29.5	37.5	37.0	70.0	71.0	67.5
30	25.0	28.0	30.5	32.0	38.0	37.0	68.5	72.0	69.5
31				34.5	43.0	37.5			

* Valeurs estimées

P.B.: Poste de la Baleine E: Eastmain

N: Nitchequon

TABLEAU 6.1: Données de température journalière utilisées pour les simulations du printemps (°F).

	AVRIL			MAI			JUIN		
	P.B.	E	N	P.B.	E	N	P.B.	E	N
1	0	0	0	.01	0	0	4.05	4.05	4.05
2	0	0	0	0	0	0	1.17	1.17	1.17
3	0	0	0	0	0	0	.27	.27	.27
4	0	0	.05	0	0	0	.09	.09	.09
5	.01	0	.11	0	0	0	0	0	0
6	.03	0	.54	0	0	0	0	0	0
7	0	0	.67	0	0	0	0	0	0
8	0	0	.23	.22	0	0	0	0	0
9	0	0	.13	.17	0	0	0	0	0
10	0	0	0	.15	0	.03	0	0	0
11	0	0	0	0	0	.02	1.20	1.20	1.20
12	0	0	.21	.23	.19	.34	.33	0	0
13	0	.04	0	.26	0	.03	0	.58	.01
14	.01	.3	.10	.03	0	.11	0	0	0
15	.17	.26	.40	0	0	.07	.01	.02	0
16	0	.11	.18	.06	0	0	0	0	0
17	.31	0	.26	0	0	0	0	0	0
18	0	0	.07	0	0	.02	0	0	0
19	0	0	0	0	0	.05	0	0	0
20	0	0	0	0	0	.02	.64	0	.16
21	.19	.18	0	0	0	.03	0	0	.01
22	.32	.04	.28	0	0	.12	0	0	0
23	.05	.02	.1	0	0	.11	0	0	.07
24	.01	.01	.06	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	.44	.11
26	.01	0	0	0	0	.03	0	.28	.19
27	.01	0	0	0	0	.06	0	.02	.29
28	.17	.86	.38	.01	0	.01	0	.15	1.23
29	.18	.20	.10	0	0	0	0	.47	0
30	.02	0	.04	.02	0	0	.71	.05	0
31	-	-	-	0	0.06	0	-	-	-

P.B.: Poste de la Baleine E: Eastmain

N: Nitchequon

TABLEAU 6.2: Données de précipitations du printemps (po.)

<u>Surface *</u> <u>concernée</u>	<u>Superficie</u> <u>mi. car.</u>	<u>Date</u>						
		1 ^{er} juin	2 juin	3 juin	4 juin	du 5 au 10 juin	11 juin	
LG1	37,546	4.05"	1.17"	.27"	.09"	0.0	1.20"	
LG3	24,146	4.32"	1.26"	.36"	.18"	0.0	1.20"	
LG4	13,556	4.68"	1.26"	.54"	.27"	0.0	1.20"	
LG3 - LG4	10,590	4.86"	1.35"	.54"	.27"	0.0	1.20"	
LG2 - LG3	12,752	4.68"	1.35"	.54"	.27"	0.0	1.20"	
LG1 - LG2	648	6.66"	.90"	.63"	.36"	0.0	1.20"	

* surfaces concernées par la simulation des crues maximales probables (voir section 6.2)

TABLEAU 6.3: Impulsions de précipitations spécifiques aux surfaces concernées par la simulation du printemps

Surface* concernée	Superficie mi. car.	Nombre de jours depuis le début de l'impulsion de précipitation						
		1 jour	2 jours	3 jours	4 jours	5 à 10 jours	11 jours	
LG1	37,546	3.15	.91	.21	.07	0.0	.93	
LG3	24,146	3.36	.98	.28	.14	0.0	.93	
LG4	13,556	3.64	.98	.42	.21	0.0	.93	
LG3 - LG4	10,590	3.78	1.05	.42	.21	0.0	.93	
LG2 - LG3	12,752	3.64	1.05	.42	.21	0.0	.93	
LG1 - LG2	648	5.18	.70	.49	.28	0.0	.93	
* voir section 6.2								

TABLEAU 6.4: Impulsions de précipitations spécifiques aux surfaces concernées par la simulation d'automne

	SEPTEMBRE			OCTOBRE			NOVEMBRE		
	P.B.	E.	N.	P.B.	E.	N.	P.B.	E.	N.
1	0	.26	0	.04	.56	.04	.19	.20	.05
2	0	0	0	0	.12	0	.22	.03	.23
3	0	0	0	.26	.26	0	.40	.19	.66
4	0	.35	0	.01	.75	.20	.10	.03	.11
5	0	.09	.41	.03	.03	.25	.33	0	.03
6	0	0	.08	.07	.2	.21	.02	0	0
7	.2	0	0	.22	0	.04	.04	.45	.03
8	.01	0	.12	.03	0	.04	0	.1	.21
9	0	.6	0	0	.5	0	.07	.01	.05
10	.03	0	.14	.09	.45	.18	.12	.33	.60
11	0	0	.08	.28	.02	.12	.24	.15	.03
12	0	0	0	3.15	3.15	3.15	.09	0	.03
13	.46	.67	.24	.91	.91	.92	.05	.02	.03
14	.05	.03	.94	.41	.21	.23	.07	.01	.04
15	.03	.1	0	.17	.07	.08	.11	0	.03
16	.2	.16	.07	0	0	1.27	.08	0	0
17	.04	.02	.1	0	0	.01	.04	0	0
18	.05	0	.12	0	0	0	.11	.02	.19
19	0	0	.02	.1	0	.05	.63	.05	.19
20	0	0	0	0	0	.01	.08	.03	.14
21	0	.26	0	0	0	.1	.06	0	0
22	.01	.26	.35	.93	.93	.93	.12	.54	0
23	.11	.05	.47	.14	.10	.11	.12	.23	.07
24	.8	.57	.78	.02	.62	0	.04	.04	.02
25	.81	.3	.34	.18	.04	.02	.05	0	.04
26	.43	.13	.13	.26	0	.01	.05	.03	0
27	.15	.56	.05	.06	0	.05	.03	.27	0
28	.16	.07	.06	.18	.39	.01	.06	.56	.21
29	0	.56	.01	.19	.40	.14	0	.15	.10
30	.3	.03	0	.02	.10	.10	.35	.07	.30
31	-	-	-	0	.45	.03	0	0	0

P.B.: Poste de la Baleine

E: Eastmain

N: Nitchequon

TABLEAU 6.5: Données de précipitation d'automne (po.)

	SEPTEMBRE			OCTOBRE			NOVEMBRE		
	P.B.	E.	N.	P.B.	E.	N.	P.B.	E.	N.
1	50.5	49	44.5	43.5	43	38.5	23	26	27
2	48	53.5	43.5	40	40.5	37	25	16	27.5
3	55	48.5	49	40.5	44.5	37	24	25.5	35.5
4	60	59	51.5	42	43	36	29.5	27	32.5
5	58	53	48	40.5	41.5	39	27	24.5	18.5
6	46.5	52	47.5	39	39	36.5	27.5	24	20
7	49.5	50	51.5	35.5	40	33	24	27	25.5
8	56.5	63.5	59	36	39	32	19	24.5	29
9	44.5	53	52	37	41	34	20	20	28.5
10	41.5	50	45.5	48	50.5	38.5	18.5	21	57
11	45	49.5	39.5	44	42	40	22	26	16
12	53	49	46	50	50	50	15	18.5	6.5
13	53	60	55	50	50	50	15	16	11
14	46	48.5	39.5	50	50	50	17	18.5	9
15	44	45.5	40	50	50	50	19.5	17.5	2.5
16	43	42	40.5	50	50	50	15	5	4.5
17	45	45	39.5	50	50	50	16	-1	3.5
18	45	38	39.5	50	50	50	18.5	11.5	4
19	43	41	39.5	50	50	50	22.5	19	14
20	49	45.5	42.5	50	50	50	21.5	26.5	13
21	54	56.5	50	50	50	50	27	29	29
22	44.5	50	44.5	50	50	50	35	37.5	32.5
23	43	43.5	44	50	50	50	28	30.5	18
24	44	43.5	41.5	37.5	37	36	16	19	19
25	42.5	42.5	38.5	35	37.5	32.5	21	21	27.5
26	40.5	41.5	36	32.5	37	29	27.5	22.5	31
27	40	40.5	36.5	31	33.5	26	20	21.5	34.5
28	40.5	37.5	35.5	32.5	33	25.5	13.5	17.5	30.5
29	42	42.5	37.5	28.5	28.5	23.5	13.5	20.5	29.5
30	42.5	44	38	25	26	19	18	20	6
31	-	-	-	23	18.5	17.5	-	-	-

P.B.: Poste de la Baleine E: Eastmain N: Nitchequon

TABLEAU 6.6: Données de température journalière utilisées pour les simulations d'automne.

		Superficie en mi. car.
1-	LG1	37,546
2-	LG2	36,898
3-	LG3	24,146
4-	LG4	13,556
5-	LG1-LG2	648
6-	LG2-LG3	12,752
7-	LG3-LG4	10,590

TABLEAU 6.7 Sous-bassins et parties de bassin de la rivière La Grande évalués selon la banque de drainage.

(a)					(b)					(c)					(d)				
AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
20843 *	29245	519733	427404	148608	20596	29249	557238	409333	145399	12774	15276	363220	251224	89329	6454	8643	210341	105275	39562
20633	29592	587393	407660	145107	20391	28281	674034	391696	142022	12653	15543	420961	240102	87334	6400	8843	262102	99417	38861
20429	28555	698890	390037	141746	20200	28174	746242	374864	138777	12569	15744	440083	228797	85413	6347	9051	278576	94162	38182
20237	28406	766860	373251	138515	20079	28088	751416	358255	135656	12479	15868	442860	218013	83561	6292	9183	285321	89404	37524
20114	28282	769280	356711	135407	19914	28125	741503	342535	132652	12328	16159	469516	208183	81775	6242	9364	292200	85084	36886
19948	28301	757734	341071	132416	19686	28266	757264	328082	129759	11286	16344	490144	199167	80051	6206	9444	300062	81153	36265
19719	28448	772513	326699	129535	19469	28485	770094	314710	126971	12056	16799	503972	190838	78386	6200	9525	309550	77572	35662
19502	29004	785301	313407	126758	19265	29886	778560	302263	124282	11936	18834	515 18	183111	76776	6214	9768	321554	74305	35075
19297	30661	793342	301036	124080	19073	35585	786221	290626	121689	11834	23216	526323	175918	75219	6230	10093	334516	71320	34503
19104	36583	800232	289474	121496	18900	43637	791813	279719	119184	11757	26219	534788	169210	73713	6238	10491	343245	68589	33947
18931	44659	808212	278637	119002	18752	50396	800009	269475	116765	11701	28658	539730	162944	72254	6235	11053	349304	66087	33404
18782	51553	811534	268459	116591	18627	55479	804357	259840	114427	11654	30485	546776	157082	70841	6221	12215	360386	63789	32874
18656	56728	814461	258887	114262	18512	61562	802267	250768	112167	11607	35819	551495	151591	69472	6195	14517	344268	61676	32357
18539	62772	809556	24987	112009	18396	70463	800592	242216	109979	11552	39771	551023	146441	68144	6160	15552	326361	59727	31853
18423	71809	805889	241377	109829	18274	76831	791523	234147	107862	11487	40384	552726	141605	66856	6118	17138	309637	57925	31360
18300	78570	795778	233358	107718	18144	80696	786317	226524	105811	11411	44080	539663	137057	65605	6071	18801	293540	56255	30879
18194	82628	790113	225784	105674	18072	89521	767738	219317	103824	11482	49590	519623	132774	64392	6019	20946	278229	54702	30408
18115	91663	772320	218622	103694	18554	99234	743904	212496	101898	11961	54244	497738	128734	63213	5953	23571	259981	53254	29949
18589	102269	749410	211842	101774	18969	109562	720035	206032	100031	11607	61180	475708	124918	62068	5899	26777	242176	51901	29500
19000	113528	725481	205417	99912	18528	127045	696132	199902	98219	11372	72484	454576	121308	60955	5843	31190	225252	50631	29060
18579	131692	700115	199323	98105	18305	149416	671321	194081	96460	11363	82750	432915	117886	59872	5789	35985	209431	49436	28631
18494	154684	674850	193535	96351	18882	169917	643159	188548	94753	12290	92185	409762	114640	58820	5885	40764	194308	48309	28211
19035	176054	646555	188034	94648	21542	189979	616416	183283	93094	14036	103155	387311	111554	57796	6487	48056	180162	47242	27800
21646	198785	617709	182798	92994	23345	214967	591914	178268	91482	13219	118910	365925	108617	56800	6701	60212	167100	46230	27397
23415	225523	592270	177811	91387	22383	252077	567444	173486	89915	12707	142611	345551	105818	55830	6813	78265	154919	45266	27004
22449	263928	567254	173055	89824	21704	294983	538116	168923	88392	12729	168022	326328	103146	54886	6843	100586	144021	44347	26619
21771	307517	537151	168515	88304	21608	338721	506411	164563	86910	12816	198366	308396	100591	53967	6902	130313	134347	43468	26242
22736	350791	505029	164178	86825	23249	383246	477135	160394	85467	13238	230832	291600	98147	53071	7186	156577	126055	42625	25874
24147	392303	475700	160030	85386	26668	421454	451452	156403	84063	14594	260343	276244	95805	52198	8154	172025	120184	41816	25513
27302	432155	449882	156059	83986	28788	450042	429055	152581	82696	15735	288116	262828	93559	51348	8477	177139	112272	41037	25159
	462467		152255	82622		488668	148916	81365			321436		91402	50518		187680		40287	24813
.60 **	4.11	20.70	7.76	3.39	.61	4.52	20.72	7.64	3.39	.57	4.07	20.55	7.10	3.20	.53	4.04	20.49	5.25	2.66

à LG1

à LG2

à LG3

à LG4

Tableau 6.8: Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande

* Tous les débits simulés sont exprimés en pi³/sec

** La dernière ligne représente la lame exprimée en pouces.

(a)					(b)				
AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
12774	15276	364192	253899	90123	6454	8643	211151	106257	39870
12653	15543	425086	242628	88106	6400	8843	265746	100333	39163
12569	15744	445048	231185	86165	6347	9051	283084	95020	38478
12479	15868	448641	220275	84293	6292	9183	290625	90211	37814
12328	16159	476827	210330	82488	6242	9364	298052	85844	37169
12186	16344	498342	201207	80746	6206	9444	305591	81871	36543
12056	16799	512759	192780	79063	6200	9525	314848	78252	35935
11936	18834	525104	184962	77437	6214	9768	326686	74951	35342
11834	23316	535349	177685	75863	6230	10093	339491	71936	34766
11757	26219	543496	170899	74341	6238	10491	348047	69177	34204
11701	28658	548130	164561	72867	6235	11053	353907	66650	33656
11654	30485	555322	158632	71440	6221	12215	364764	64329	33121
11607	35819	559833	153078	70056	6195	14517	348402	62195	32600
11552	39771	558806	147870	68715	6160	15552	330239	60227	32091
11487	40384	560034	142980	67413	6118	17138	313253	58407	31594
11411	44080	546545	138380	66150	6071	18801	296896	56721	31109
11482	49590	526105	134049	64924	6019	20946	281331	55153	30634
11961	54244	503839	129964	63734	5953	23571	262840	53692	30171
11607	61180	481443	126105	62577	5899	26777	244804	52325	29717
11372	72484	459960	122454	61453	5843	31190	227664	51043	29274
11363	82750	437963	118995	60360	5789	35985	211642	49837	28841
12290	92185	414492	115712	59297	5885	40764	196335	48699	28417
14036	103155	391740	112592	58263	6487	48056	182020	47622	28003
13219	118910	370073	109623	57257	6701	60212	168804	46600	27597
12707	142611	349436	106792	56278	6813	78265	156485	45627	27200
12729	168021	329969	104091	55325	6843	100586	145461	44700	26812
12816	198366	311810	101509	54397	6902	130313	135674	43812	26432
13238	230832	294807	99038	53492	7186	156577	127281	42962	26060
14594	260343	279258	96670	52611	8154	172025	121319	42145	25696
15735	288116	265666	94399	51753	8477	177139	113326	41359	25340
	321436		92219	50916		187680		40602	24991
.57	4.07	20.82	7.17	3.23	.53	4.04	20.76	5.29	2.68

à LG3

à LG4

Tableau 6.9: Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur le sous-bassin limité à l'aval par LG3.

(a)					(b)					(c)					(d)				
AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
170 *	661	47401	2131	927	7693	13514	239724	150149	55186	6115	8226	207527	122602	48179	6454	8643	212272	107422	40236
167	551	42307	1929	912	7617	13005	325618	143940	53852	6050	7841	263341	118564	46947	6400	8843	270404	101422	39521
166	474	37586	1784	896	7548	12631	343218	138067	52573	6022	7579	273413	114740	45761	6347	9051	287885	96039	38829
163	430	33140	1677	881	7510	12344	332506	132611	51345	5987	7418	259815	111083	44618	6292	9183	297109	91168	38158
161	392	28700	1596	866	7435	12257	319675	127533	50166	5890	7475	247970	107560	43517	6242	9364	305019	86746	37506
158	374	25759	1533	851	7358	12107	306677	122777	49034	5803	7442	241600	104157	42456	6206	9444	312160	82724	36874
155	381	24063	1482	837	7283	12141	297168	118299	47946	5727	7729	239761	100868	41433	6200	9525	321141	79060	36258
153	720	23534	1440	822	7209	13087	290471	114063	46899	5659	9589	240828	97689	40446	6214	9768	332780	75719	35660
150	989	22760	1405	808	7137	16751	285073	110046	45893	5599	13852	241792	94618	39495	6230	10093	345399	72667	35077
148	1262	21759	1373	795	7066	20422	279263	106230	44924	5543	16760	240483	91652	38576	6238	10491	353749	69876	34509
146	1359	23984	1344	781	6995	24177	278064	102598	43990	5487	19016	234082	88791	37690	6235	11053	359371	67318	33955
143	1554	19047	1318	768	6926	26821	276699	99140	43091	5431	20576	229029	86031	36834	6221	12215	369962	64971	33415
141	1692	17556	1293	755	6857	31077	267376	95845	42224	5374	25564	223326	83371	36008	6195	14517	353310	62812	32889
139	1707	14644	1269	742	6790	34644	260079	92704	41387	5317	29043	214545	80808	35210	6160	15552	334843	60821	32374
137	1924	12580	1246	729	6723	37060	250637	89709	40580	5260	28775	206096	78340	34438	6118	17138	317546	58981	31872
135	2373	11416	1224	717	6657	40312	242958	86852	39801	5204	30750	198165	75964	33692	6071	18801	300880	57275	31382
158	2600	10882	1202	705	6660	45441	236745	84126	39047	5303	34936	190737	73677	32971	6019	20946	285014	55690	30902
151	2889	11479	1181	693	7072	49645	232324	81524	38319	5818	38115	183795	71477	32273	5953	23571	266233	54211	30434
147	3868	12173	1161	681	7009	55319	229774	79041	37614	5506	43464	177264	69360	31598	5899	26777	247924	52829	29976
146	4892	11886	1141	670	6921	65865	227391	76669	36933	5320	52852	171393	67324	30945	5843	31190	230527	51533	29529
162	5729	10199	1121	658	6933	76932	223252	74405	36272	5369	60780	166627	65366	30312	5789	35985	214267	50313	29091
299	6550	9515	1102	647	7519	87167	216333	72242	35633	6352	67362	160800	63483	29699	5885	40764	198741	49163	28663
267	7603	9124	1083	636	9252	97794	212365	70175	35013	8155	74556	155329	61672	29105	6487	48056	184226	48074	28244
243	10452	6776	1065	625	9309	111812	209970	68200	34412	7393	85926	150130	59930	28529	6701	60212	170828	47040	27834
225	12425	5616	1046	615	9164	133166	206572	66311	33828	6846	105006	145206	58255	27970	6813	78265	158344	46057	27434
212	14052	4846	1028	604	8997	152371	197331	64505	33262	6499	124218	140560	56643	27429	6843	100586	147171	45119	27042
208	15120	3805	1011	594	8879	170699	184587	62778	32712	6305	144839	136209	55093	26903	6902	130313	137250	44222	26658
1268	15047	3100	994	584	10433	184880	173002	61125	32177	6547	162642	132071	53602	26393	7186	156577	128737	43362	26282
1052	12432	2782	977	574	13430	190622	163891	59543	31657	7812	172936	128240	52167	25898	8154	172025	122667	42536	25915
819	14419	2414	960	565	14194	189698	156645	58028	31152	8882	175260	125164	50787	25417	8477	177139	114578	41742	25555
	16397		944	555		200552		56577	30660		182601		49458	24949		187680		40976	25203
.45	9.26	29.32	2.30	1.29	.70	6.25	21.77	8.36	3.70	.64	6.23	20.81	8.66	3.78	.53	4.04	21.07	5.34	2.71

(LG1-LG2)

(LG2-LG3)

(LG3-LG4)

à LG4

Tableau 6.10: Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur les parties de bassin comprises entre les sites de barrage.

	<u>à LG1</u>	<u>à LG2</u>	<u>à LG3</u>	<u>à LG4</u>
maximum*	814,461	804,357	552,726	360,386
date	13 juin	12 juin	15 juin	12 juin
lame** avril	.60	.61	.57	.53
lame mai	4.11	4.52	4.07	4.04
lame juin	20.70	20.72	20.55	20.49
lame juillet	7.76	7.64	7.10	5.25
lame août	3.39	3.39	3.20	2.66

TABLEAU 6.11 a) Précipitation estimée pour l'ensemble du bassin

	<u>à LG3</u>	<u>à LG4</u>	
maximum	560,034	364,764	* en pi^3/sec
date	15 juin	12 juin	** en pouces d'eau
lame avril	.57	.53	
lame mai	4.07	4.04	
lame juin	20.82	20.76	
lame juillet	7.17	5.29	
lame août	3.23	2.68	

TABLEAU 6.11 b) Précipitation estimée pour le sous-bassin limitée à l'aval par LG3

	<u>LG1-LG2</u>	<u>LG2-LG3</u>	<u>LG3-LG4</u>	<u>LG4</u>
maximum	47,401	343,218	273,413	369,962
date	1 juin	3 juin	3 juin	12 juin
lame avril	.45	.70	.64	.53
lame mai	9.26	6.25	6.23	4.04
lame juin	29.32	21.77	20.81	21.07
lame juillet	2.30	8.36	8.66	5.34
lame août	1.29	3.70	3.78	2.71

TABLEAU 6.11 c) Précipitation estimée pour les parties de bassin comprises entre les sites de barrage

TABLEAU 6.11 Résumé des maxima de crue et des lames d'eau printanières pour les simulations avec blocage de l'infiltration.

(a)

Réerves	Jour												
	108	120	130	135	140	145	151	156	161	166	171	176	181
stock n eige	44.69	44.09	42.56	40.65	37.15	29.61	17.99	10.39	3.53	1.41	.35	.01	0
stock nappe pro- fonde	.70	1.54	2.26	3.08	3.79	4.30	4.43	4.43	4.39	4.38	4.18	3.94	3.87
réservoir sol	2.63	2.91	2.91	2.96	3.00	3.00	3.00	2.96	2.76	2.68	2.42	2.04	2.41

(b)

	avril	mai	juin
- précipitations liquides	1.48	.71	9.35*
- précipitations solides	1.67	0	0
- évaporation	.12	2.03	3.55

TABLEAU 6.12 Etat des réserves dans le modèle, précipitation et évaporation mensuelles pour la simulation sur l'ensemble du bassin (en pouces).

* Valeurs évaluées pour l'ensemble du bassin, pondérées par le modèle.

(a)					(b)					(c)					(d)				
AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
20843	33651	491849	266596	109114	20596	33375	517760	257921	106982	12774	16856	370360	162411	68236	6454	8976	242313	66575	31316
20634	33756	545577	256931	106838	20394	31946	612885	249275	104779	12659	17089	421195	156824	66855	6400	9263	291659	63976	30805
20433	32247	636245	248336	104643	20228	31640	675177	240634	102654	12603	17080	442794	150738	65521	6347	9555	305843	61644	30308
20266	31893	694891	239749	102525	20157	31195	690261	231654	100601	12535	17091	454232	144828	64230	6292	9745	310016	59500	29824
20193	31407	707518	230827	100480	20014	31076	694372	223003	98618	12366	17647	478704	139513	62980	6244	9998	310813	57514	29352
20048	31269	710165	222232	98503	19765	31385	713436	215083	96701	12214	17790	490529	134660	61768	6213	10119	310136	55664	28892
19799	31756	728338	214363	96592	19535	31906	722086	207749	94846	12077	19074	492233	130158	60595	6209	10243	299790	53936	28443
19568	32818	735900	207075	94743	19323	35958	722713	200881	93051	11956	23488	488476	125942	59457	6227	10582	286939	52319	28006
19356	37263	731711	200250	92953	19129	46294	717927	194407	91312	11857	29883	482084	121970	58352	6248	11037	274307	50804	27578
19161	48032	722665	193816	91220	18958	58830	707696	188282	89627	11783	35556	469277	118214	57280	6260	11591	256952	49383	27161
18989	60738	712720	187728	89540	18813	72348	687894	182472	87994	11731	43025	453241	114654	56240	6260	12897	240406	48048	26753
18843	74763	690097	181953	87911	18691	86584	664759	176955	86410	11688	48579	438144	111276	55229	6247	15429	227915	46793	26354
18720	89230	666470	176468	86332	18580	100285	636844	171710	84873	11645	53839	418856	108066	54246	6223	18751	212031	45611	25964
18607	102700	636917	171254	84799	18468	111645	607461	166721	83381	11593	56573	396799	105014	53291	6189	20449	196884	44497	25583
18494	114074	606490	166293	83310	18349	116820	574141	161973	81932	11531	56800	377425	102110	52363	6147	22668	182656	43445	25210
18375	119602	572553	161571	81865	18221	120793	545297	157451	80525	11458	61012	357420	99344	51459	6099	25157	169367	42449	24846
18273	123638	543327	157074	80460	18156	130965	516953	153142	79156	11544	67239	337658	96708	50580	6046	28535	156984	41505	24489
18201	133868	514783	152789	79095	18690	141687	489666	149034	77826	12072	72133	318664	94193	49724	5980	32546	145502	40609	24140
18726	145578	487416	148702	77767	19158	152220	463710	145114	76531	11696	79214	300610	91793	48890	5925	37370	134880	39756	23798
19191	157230	461515	144802	76476	18699	170547	439328	141372	75272	11460	91125	283839	89499	48079	5869	44027	125198	38942	23464
18755	176204	437174	141078	75219	18514	193242	417386	137795	74046	11520	102883	268855	87305	47288	5819	52662	116589	38165	23137
18791	199565	415301	137520	73995	19376	214454	396888	134376	72852	12849	115398	253510	85205	46517	5937	63213	108535	37421	22816
19594	221814	394882	134116	72803	23150	237127	376146	131103	71689	15202	132129	239303	83192	45766	6559	76587	101215	36707	22502
23295	248045	374238	130859	71643	25598	268206	356724	127968	70555	14286	154232	226277	81262	45033	6796	94739	94657	36021	22195
25692	279481	355019	127738	70511	24474	309403	338828	124963	69451	13498	178323	214172	79408	44319	6923	119282	88602	35361	21894
24557	321017	337267	124747	69408	23451	345406	322690	122081	68373	13354	198431	202982	77627	43622	6968	145221	83414	34725	21599
23536	357216	321198	121877	68333	23130	363878	307291	119313	67323	13359	211764	192754	75913	42942	7042	175011	79018	34110	21311
24393	375408	305900	119121	67284	24896	377402	292693	116654	66298	14172	238572	183280	74264	42278	7361	199361	75568	33516	21028
25936	385887	291464	116473	66261	29714	400086	279349	114096	65298	16598	271729	174833	72675	41630	8381	212044	73859	32940	20751
30442	409714	278230	113926	65262	33138	427976	267643	111636	64321	17657	306811	167924	71142	40997	8757	214327	69946	32383	20479
	438285	111474	64287			464093	109266	63368			336270	69664	40380			222192		31842	20214
.62	4.83	15.96	5.26	2.57	.63	5.21	15.88	5.20	2.57	.59	4.76	16.01	5.01	2.50	.53	5.30	15.29	3.80	2.14

à LG1

à LG2

à LG3

à LG4

Tableau 6.13: Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec un stock de neige réduit (32" équivalent-eau) et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande

(a)					(b)					(c)					(d)				
AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
20843	47154	452532	170331	80309	20596	46854	469936	166075	78823	12774	22306	342675	108362	51550	6454	9800	201422	45637	24190
20636	47399	487573	165732	78829	20401	45165	527943	162165	77388	12674	22566	364387	105758	50608	6400	10208	229749	44345	23826
20445	45568	539297	161835	77396	20302	44500	547893	157913	75997	12693	22166	359905	102402	49695	6347	10624	224701	43180	23470
20344	44923	554618	157601	76009	20366	43209	529115	152999	74650	12681	21546	349678	98995	48809	6293	10498	210006	42081	23123
20403	43536	532881	152711	74664	20278	43028	506434	148117	73343	12466	22893	356727	95976	47950	6251	11271	196280	41030	22785
20313	43397	508219	147856	73359	19977	43727	504017	143698	72076	12285	22451	352707	93232	47114	6228	11465	184181	40020	22455
20012	44621	504293	143458	72093	19712	44397	492581	139616	70845	12134	25438	338958	90674	46303	6230	11667	173136	39047	22132
19748	46127	491882	139397	70864	19484	53797	472415	135777	69650	12010	34506	322172	88250	45514	6256	12181	162659	38112	21817
19519	56309	471139	135576	69671	19286	73249	449597	132126	68489	11915	44496	305410	85935	44747	6284	12867	152547	37213	21508
19321	76371	447993	131942	68511	19118	94311	426950	128635	67360	11846	50966	289535	83714	44000	6303	14626	142801	36351	21207
19152	97570	425736	128467	67383	18978	111324	406434	125289	66261	11800	56723	275065	81579	43273	6309	17905	133913	35526	20912
19011	114633	405025	125136	66286	18862	124646	390244	122077	65193	11766	60191	263347	79525	42565	6300	22358	127336	34736	20623
18894	127863	389766	121939	65218	18758	134684	375388	118995	64152	11730	64476	250990	77551	41876	6278	27347	118801	33980	20341
18788	137416	374518	118870	64179	18653	143199	359992	116036	63139	11686	67166	237289	75653	41204	6245	30437	110851	33258	20064
18682	145751	358897	115923	63166	18540	146614	340621	113196	62152	11629	67991	225754	73829	40549	6203	34002	103498	32568	19793
18569	149094	339438	113096	62180	18416	147951	324091	110472	61190	11559	70941	214163	72077	39910	6154	38392	96707	31908	19528
18475	149696	322870	110382	61218	18384	151740	307938	107858	60252	11754	72950	202951	70395	39287	6100	44756	90415	31277	19269
18435	153058	306723	107779	60281	19173	153280	292517	105350	59337	12643	73959	192345	68778	38680	6033	52762	84596	30672	19014
19213	155268	291334	105280	59366	19994	151180	277949	102943	58445	12092	78617	182377	67225	38086	5976	64117	79200	30093	18765
20031	154013	276865	102882	58474	19358	154480	264376	100633	57574	11777	87450	173312	65733	37507	5925	77985	74309	29537	18520
19501	158004	263351	100579	57603	19410	163028	252676	98413	56724	12368	102027	165610	64298	36942	5887	91029	70067	29002	18281
19922	167638	251702	98368	56753	22083	177798	241831	96281	55893	15245	120449	157095	62918	36390	6048	103838	65975	28488	18046
22521	183932	240903	96242	55923	28639	198569	230204	94231	55082	18305	141407	149260	61590	35850	6710	117969	62234	27992	17816
28945	208490	229329	94198	55112	32407	226556	219346	92259	54289	17508	163285	142147	60311	35323	6992	134921	58898	27514	17591
32604	238840	218624	92232	54319	31486	258994	209485	90360	53515	16487	186591	135507	59078	34807	7147	157466	55735	27052	17369
31635	272852	208855	90339	53545	29972	291078	200839	88531	52757	15869	213804	129352	57889	34304	7220	180673	53138	26605	17153
30195	305402	200226	88515	52787	29111	325100	192397	86768	52017	15904	243066	123751	56741	33811	7323	207152	51058	26172	16940
30774	338479	191834	86756	52047	32104	357994	184235	85067	51292	18419	273463	118522	55632	33329	7704	223415	49677	25752	16731
33549	367612	183785	85060	51322	40677	386408	176864	83425	50584	22301	296015	113964	54561	32858	8964	221039	49813	25345	16527
41708	396061	176477	83422	50613	46394	406912	170690	81839	49890	23509	317423	110616	53524	32397	9524	209687	47544	24950	16326
415180			81839	49920		431858		80306	49211		332429		52521	31946		199561		24565	16130
.68	4.89	10.55	3.62	1.94	.71	5.22	10.43	3.60	1.94	.64	5.21	10.70	3.58	1.94	.54	6.51	9.50	2.81	1.68

à LG1

à LG2

à LG3

à LG4

Tableau 6.14: Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec un stock de neige réduit (22" équivalent-eau) et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande

	<u>à LG1</u>	<u>à LG2</u>	<u>à LG3</u>	<u>à LG4</u>
maximum*	735,900	722,713	492,223	310,813
date	8 juin	8 juin	7 juin	5 juin
lame** avril	.62	.63	.59	.53
lame mai	4.83	5.21	4.76	5.30
lame juin	15.96	15.88	16.01	15.29
lame juillet	5.26	5.20	5.01	3.80
lame août	2.57	2.57	2.50	2.14

TABLEAU 6.15 a) Précipitation estimée pour l'ensemble du bassin et un stock de neige initial de 32"

	<u>à LG1</u>	<u>à LG2</u>	<u>à LG3</u>	<u>à LG4</u>
maximum	554,618	547,893	364,387	229,749
date	4 juin	3 juin	2 juin	2 juin
lame avril	.68	.71	.64	.54
lame mai	4.89	5.22	5.21	6.51
lame juin	10.55	10.43	10.70	9.50
lame juillet	3.62	3.60	3.58	2.81
lame août	1.94	1.94	1.94	1.68

TABLEAU 6.15 b) Stock de neige initial 22"

* en pi^3/sec

** en pouces d'eau

TABLEAU 6.15 Résumé des maxima de crues et des lames d'eau mensuelles pour les simulations avec blocage de l'infiltration et un stock de neige initial variable

	Jour													
	Réserves	108	120	130	135	140	145	151	156	161	166	171	176	181
(a) stock neige	33.98*	33.16	31.01	28.29	23.57	15.15	5.48	1.79	.06	0	0	0	0	0
stock nappe pro- fonde	.71	1.64	2.55	3.37	4.01	4.39	4.40	4.43	4.26	4.28	4.00	3.71	3.61	3.61
réservoir sol	2.64	2.92	2.94	2.98	3.00	3.00	2.88	2.87	2.29	2.51	2.17	1.85	2.35	2.35

	Jour													
	Réserves	108	120	130	135	140	145	151	156	161	166	171	176	181
(b) stock neige	23.22*	21.85	18.59	15.07	10.50	3.52	.07	0	0	0	0	0	0	0
stock nappe pro- fonde	.74	1.85	2.92	3.70	4.26	4.38	4.25	4.43	4.14	4.19	3.91	3.63	3.53	3.53
réservoir sol	2.65	2.94	2.98	3.00	2.94	2.80	2.42	2.73	1.98	2.48	2.14	1.83	2.34	2.34

(c)	précipitations	- 32" de neige:	avril	mai	juin	
	"	liquides	1.48*	.71	9.35	
	"	solides	1.67	0	0	* en pouces d'eau
		évaporation	.12	2.03	3.50	

(d)	précipitations	- 22" de neige:	avril	mai	juin
	"	liquides	1.48*	.71	9.35
	"	solides	1.67	0	0
		évaporation	.12	1.99	3.48

TABLEAU 6.16 Etat des réserves dans le modèle (avec 32" puis 22" de neige), précipitation et évaporation mensuelles pour la simulation sur l'ensemble du bassin (avec 32" puis 22" de neige)

(a)			(b)			(c)			(d)		
SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE									
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
80844	110605	178159	79832	109752	169727	54774	64991	103224	32009	35087	48695
79996	112864	169788	78616	112870	164090	56070	63043	100757	31198	34712	46375
78760	116138	164436	79100	110179	160160	55699	62227	99061	30495	34015	44269
79281	115019	160598	78119	113804	159537	54749	63143	96766	29784	33840	44122
78293	117230	160165	76964	116241	157269	53624	61145	93378	29215	35641	42517
77124	119334	157668	75255	111671	154794	52581	60473	88183	29347	37510	40904
75426	114210	155031	73640	110184	146190	51818	62060	85266	28731	38351	39643
73798	112028	146363	72583	112129	140420	51254	66111	82677	27984	37612	38576
72855	115126	140537	71712	116521	135296	50601	66412	80124	27438	36865	37594
71957	119838	135377	71469	119103	130465	49808	66409	77912	26788	36019	36698
71690	121569	130632	70136	118802	126421	48908	66310	77247	26458	36110	35869
70346	134403	126547	68765	136390	125463	48068	78153	78325	25998	44941	35057
69392	150956	125538	68696	198265	124765	47357	111140	75038	25431	76309	34530
69206	208685	124800	70197	236609	119678	47340	114981	72595	25181	80191	34114
70627	243498	119723	69393	233616	115605	46665	115448	70674	29482	76529	33690
69812	238211	115656	68447	225477	112214	46723	128780	69185	28676	76652	33207
68822	228511	112271	68624	231278	109376	47223	134394	67962	28162	85439	32650
68961	233109	109436	68624	230771	106897	49046	136063	66855	27930	82261	32028
68930	231800	106960	70055	227199	104613	49222	135067	65769	27787	79287	31354
70320	227681	104679	69851	221658	102419	48782	138619	64653	27450	76788	30647
70141	221776	102488	69113	220877	100262	48260	136964	63491	27039	74285	29925
69434	221982	100363	68795	217163	98163	47756	134739	62357	26713	73041	29202
69106	217729	98281	68498	217180	96613	47292	135216	61578	27144	74912	28489
70002	218974	96725	69965	215431	95606	47527	130467	60707	28912	71515	27801
72302	216486	95710	75606	209200	93862	51535	126593	59149	35044	68182	27138
77700	209911	93977	85687	201145	91480	57849	125952	57796	36907	65112	26527
88838	201529	91605	95464	198179	89518	58693	124164	56737	36488	62149	25955
98032	199175	89647	98258	193551	87813	60680	119991	55581	35982	59252	25437
101950	194310	87944	102362	188210	86011	63165	117307	54459	36070	56447	25199
105300	188631	86147	106689	184495	84268	63418	113538	53743	35594	53744	24828
	184674			178003			107810			51155	
2.27	5.39	3.65	2.31	5.46	3.62	2.40	4.88	3.39	2.45	4.89	2.81
à LG1			à LG2			à LG3			à LG4		

Tableau 6.17: Hydrogrammes de crue maximale probable d'automne simulés avec une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande

SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE
C	C	C	C	C	C
54774	64991	107235	32009	35087	50458
56070	63043	104518	31198	34712	47991
55699	62227	102585	30495	34015	45750
54749	63143	100067	29784	33840	45481
53624	61145	96470	29215	35641	43766
52581	60473	91082	29347	37510	42052
51818	62060	87985	28731	38351	40701
51254	66111	85229	27984	37612	39554
50601	66412	82524	27438	36865	38498
49808	66409	80171	26788	36019	37538
48908	66310	79376	26458	36110	36651
48068	78908	80335	25998	45594	35787
47357	114356	76939	25431	79244	35214
47340	118878	74395	26181	83788	34756
46665	120207	72382	29482	80597	34295
46723	135169	70808	28676	80933	33778
47223	141096	69507	28162	89866	33192
49046	143109	68328	27930	86505	32542
49222	142213	67174	27787	83382	31843
48782	145769	65996	27450	80749	31115
48260	143907	64777	27039	78104	30372
47756	141425	63590	26713	76701	29631
47292	141643	62760	27144	78393	28902
47527	136640	61843	28912	74804	28198
51535	132507	60242	35044	71268	27521
57849	131602	58848	36907	67991	26897
58693	129542	57750	36488	64822	26314
60680	125091	56558	35982	61724	25784
63165	122128	55403	36070	58725	25536
63418	118082	54654	35594	55838	25155
	112083			53078	
2.40	5.05	3.48	2.45	5.07	2.87

à LG3

à LG4

Tableau 6.18: Hydrogrammes de crue maximale probable d'automne simulés avec une précipitation estimée pour le sous-bassin limité à l'aval par le site LG3.

	<u>à LG1</u>	<u>à LG2</u>	<u>à LG3</u>	<u>à LG4</u>
maximum	243,498*	236,609	138,619	85,439
date	15 octobre	14 octobre	20 octobre	17 octobre
lame sept.	2.27**	2.31	2.40	2.45
lame oct.	5.39	5.46	4.88	4.89
lame nov.	3.65	3.62	3.39	2.81

6.20 a) Précipitation estimée pour l'ensemble du bassin

	<u>à LG3</u>	<u>à LG4</u>
maximum	145,769	89,866
date	20 octobre	17 octobre
lame sept.	2.40	2.45
lame oct.	5.05	5.07
lame nov.	3.48	2.87

6.20 b) Précipitation estimée pour le sous-bassin à LG3

	<u>LG1 - LG2</u>	<u>LG2 - LG3</u>	<u>LG3 - LG4</u>	<u>LG4</u>
maximum	25,934	139,420	89,423	94,975
date	17 octobre	14 octobre	14 octobre	17 octobre
lame sept.	2.45	2.16	2.38	2.45
lame oct.	10.52	7.27	5.61	5.27
lame nov.	2.05	4.12	4.02	2.94

6.20 c) Précipitation estimée pour les parties de bassin comprises entre les sites de barrage

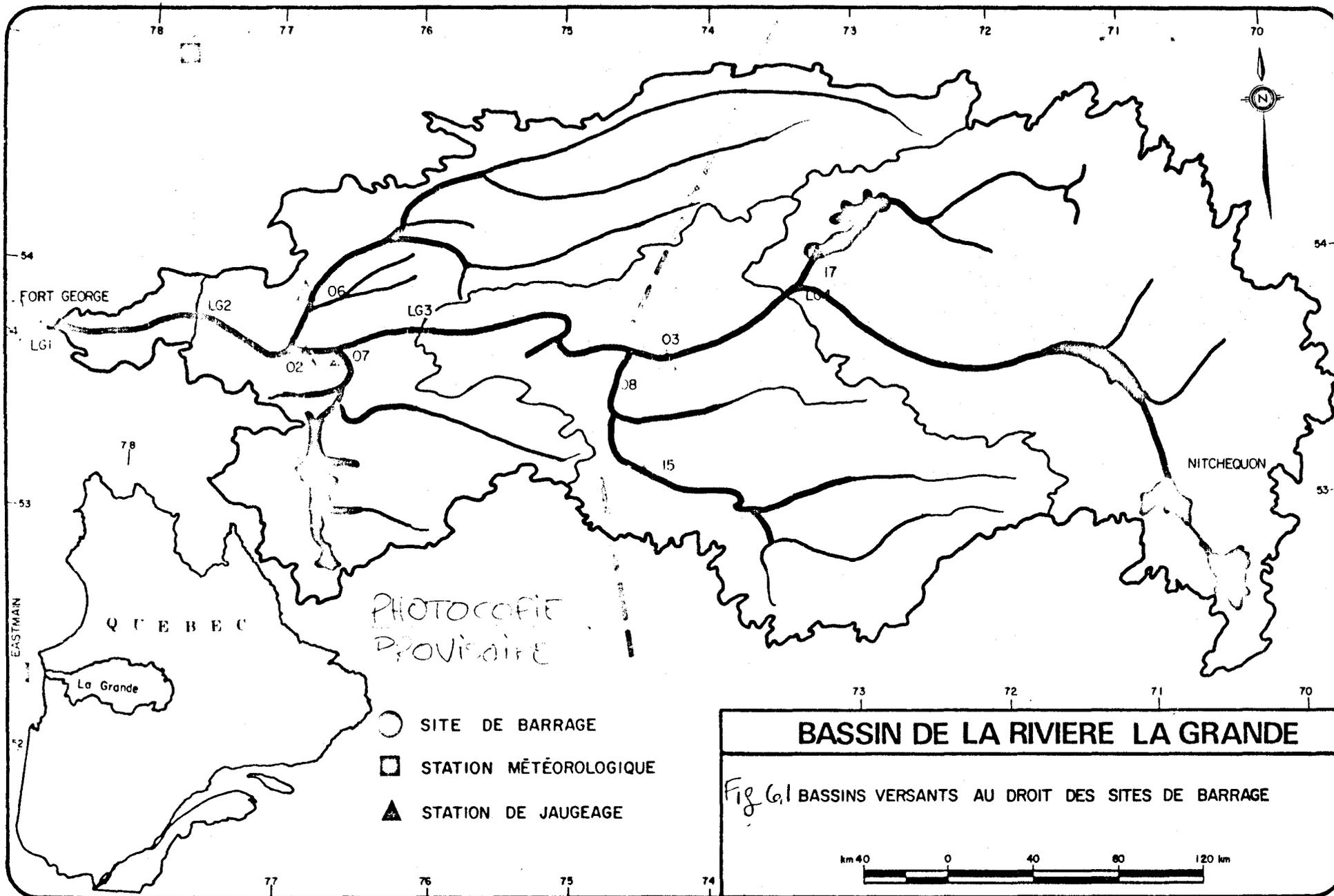
	<u>septembre</u>	<u>octobre</u>	<u>novembre</u>
Précipitations liquides	4.76	8.63	1.73
Précipitations solides	0	0.50	2.34
Evaporation	1.34	0.82	0.01

6.20 d) Précipitations et évaporations mensuelles.

Tableau 6.20: Résumé des maxima de crues, des lames d'eau, précipitations et évaporation pour la simulation d'automne.

* en pi^3/sec

** en pouces d'eau



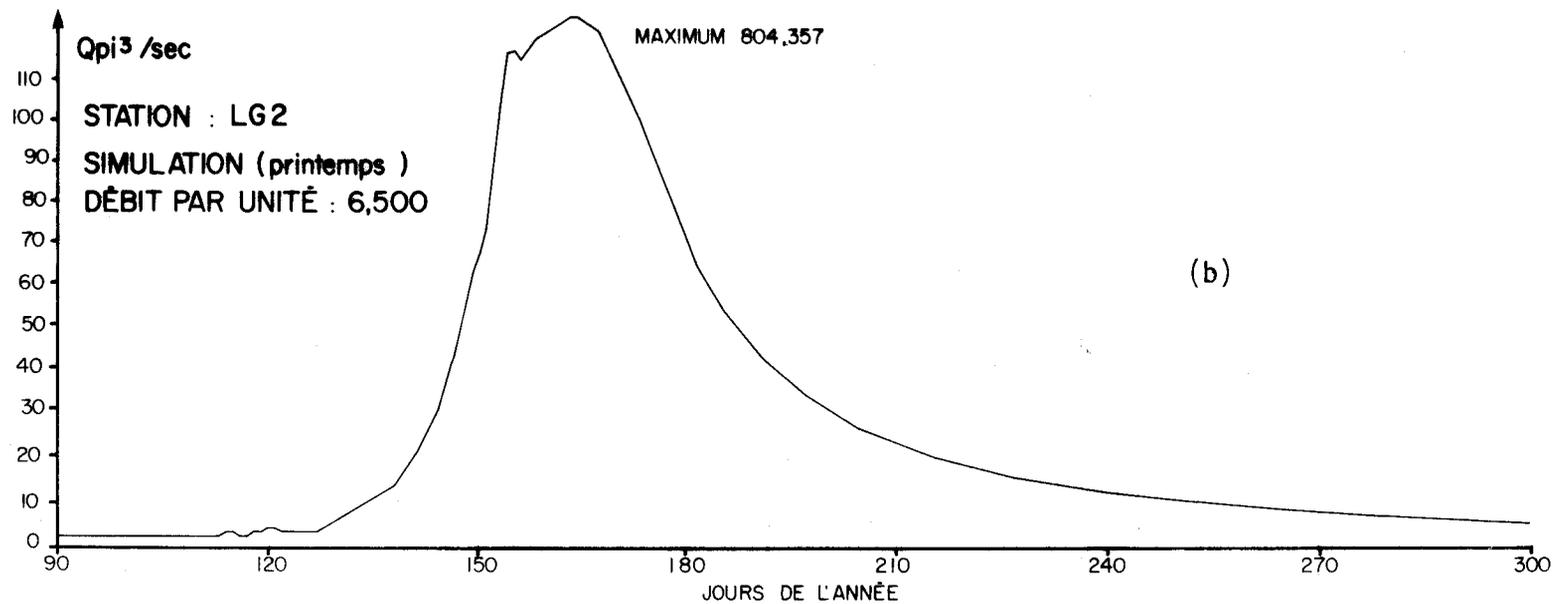
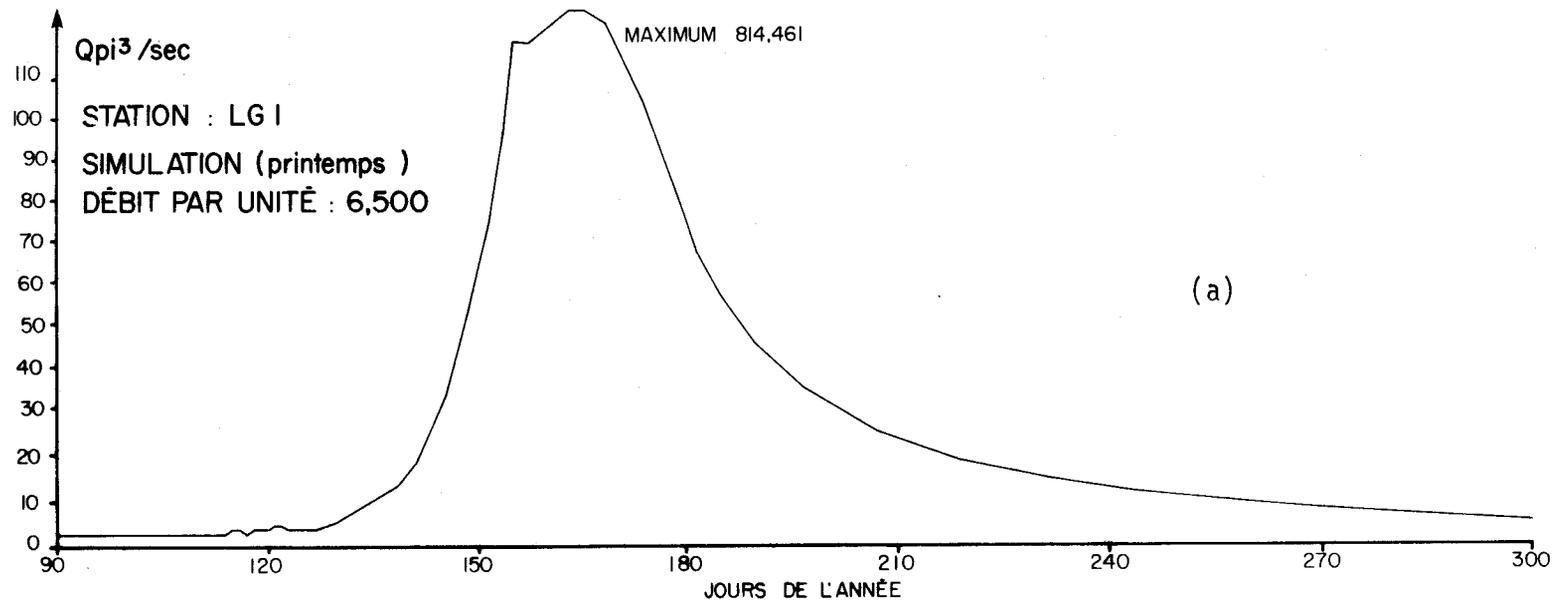


Figure 6.2: Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande.

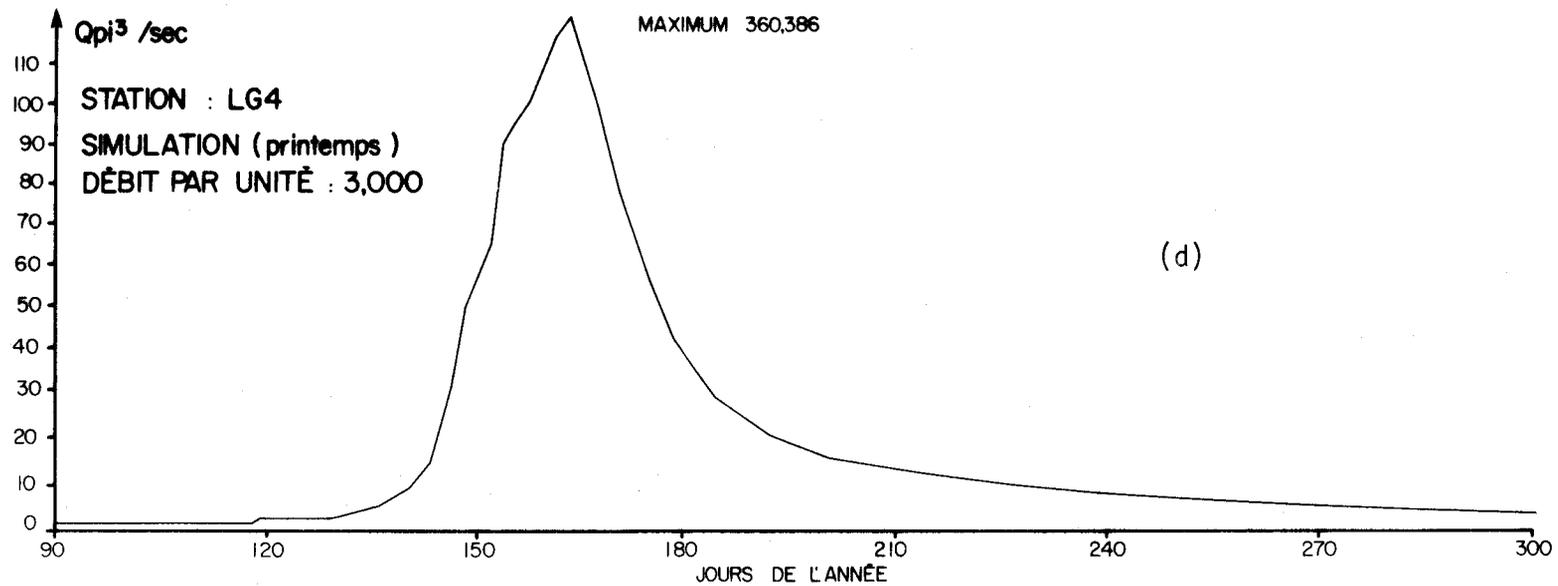
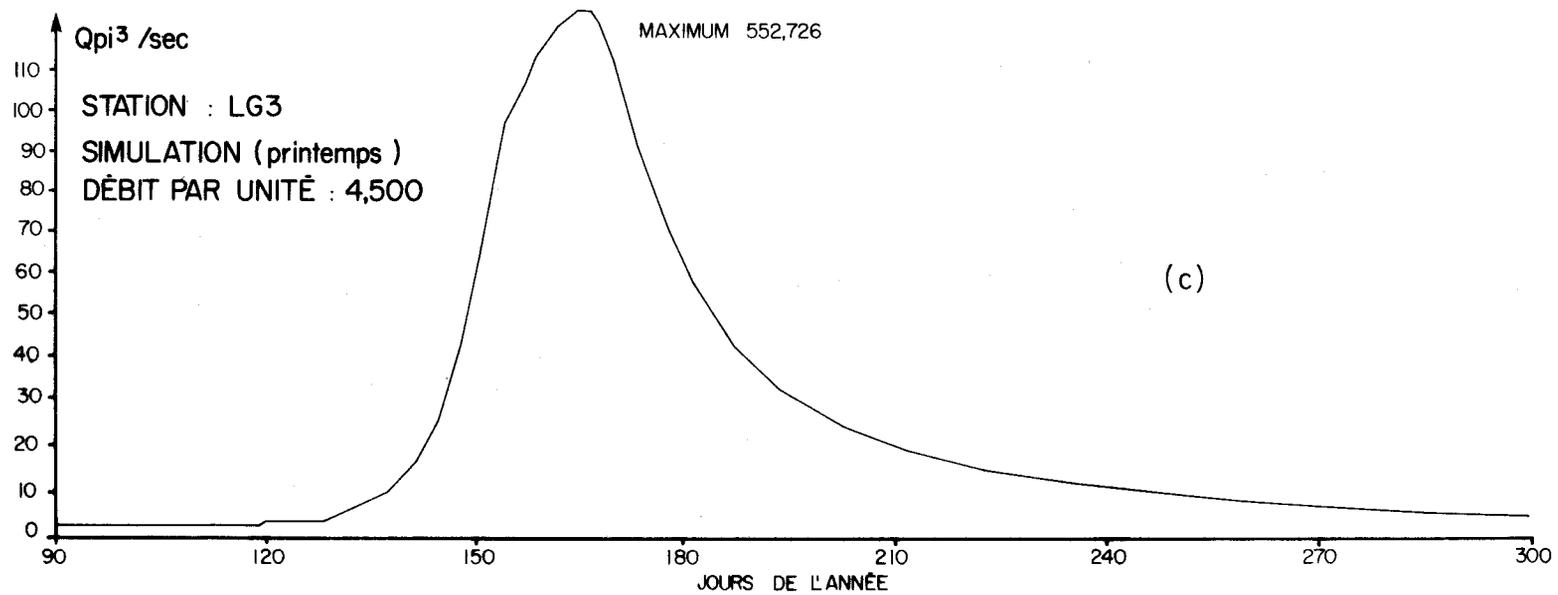


Figure 6.2: (suite).

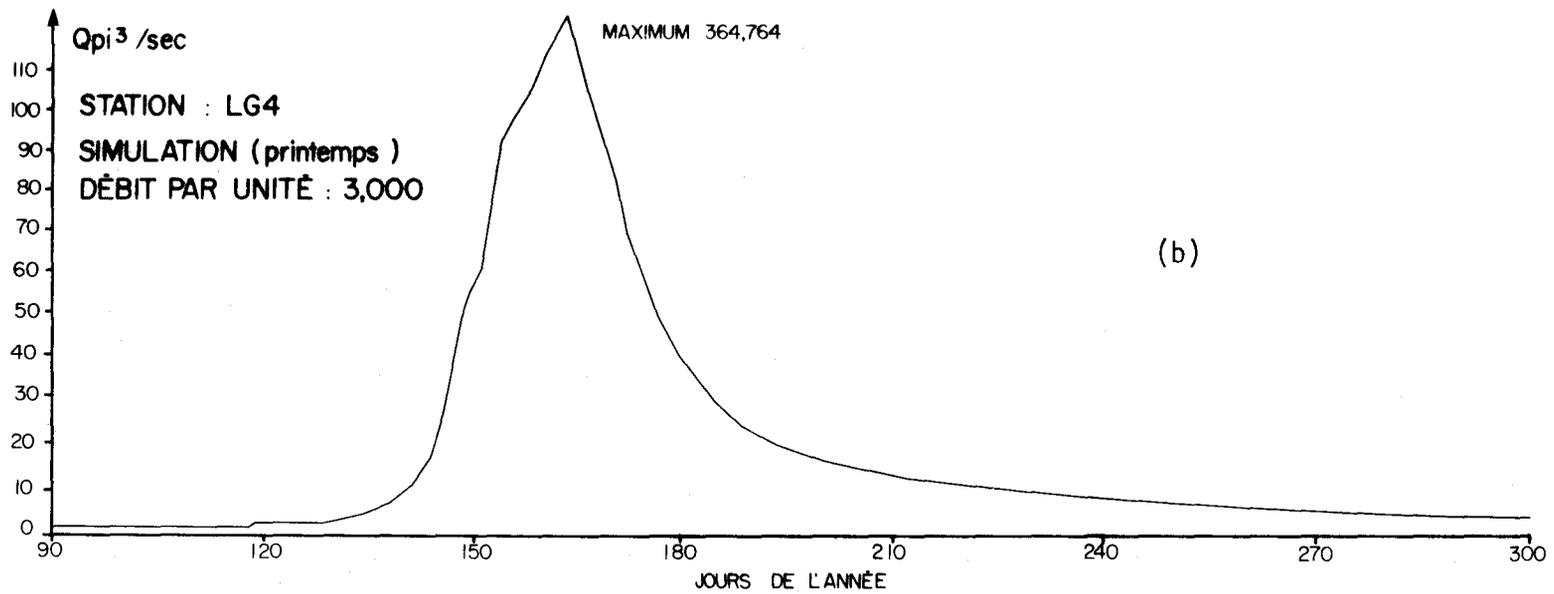
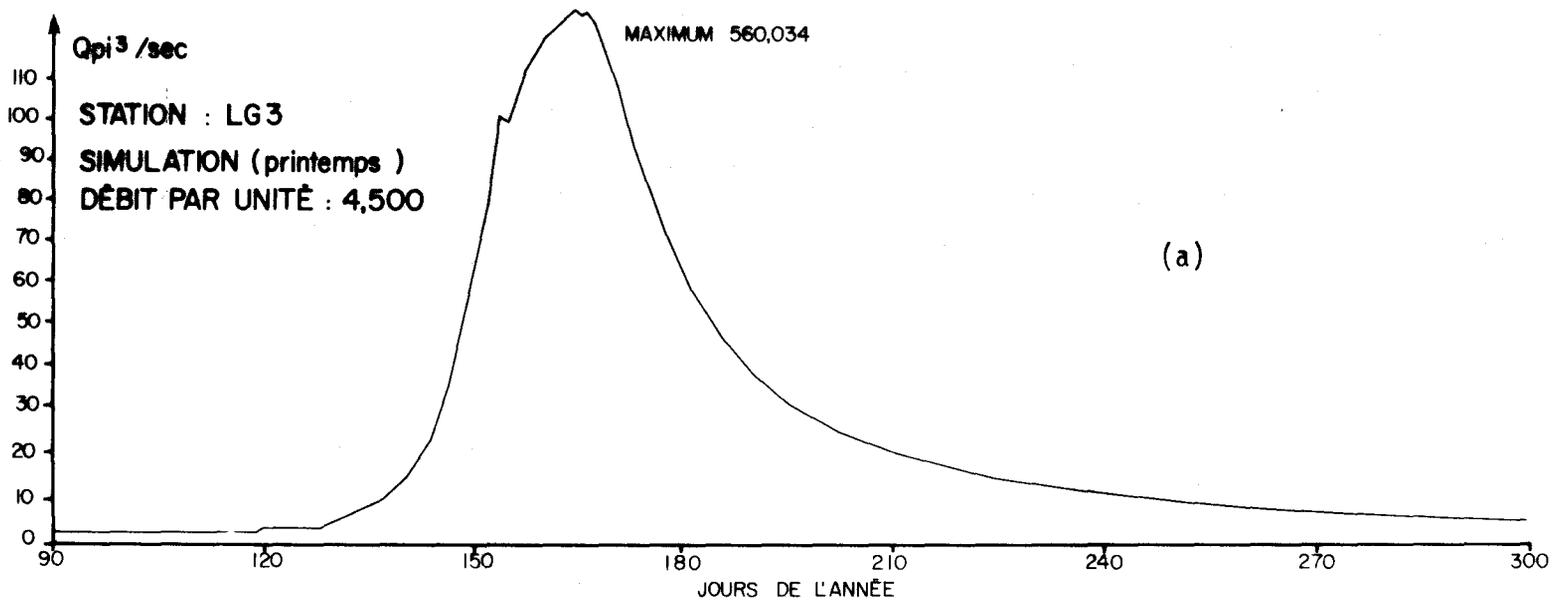


Figure 6.3: Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur le sous-bassin limité à l'aval par LG3.

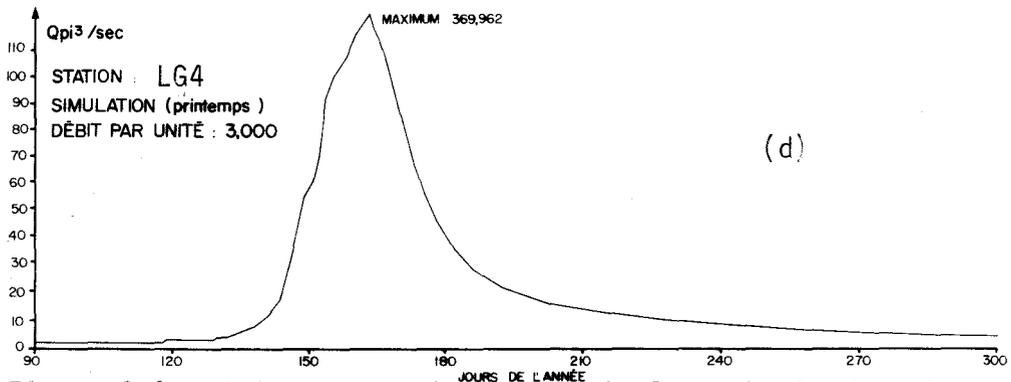
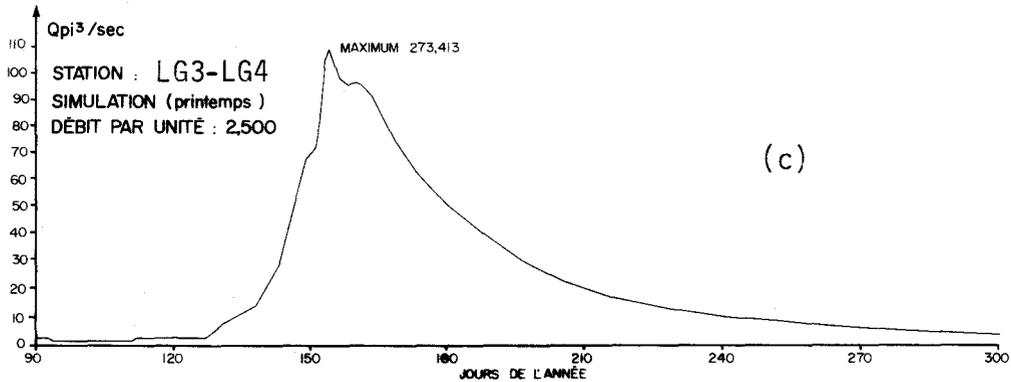
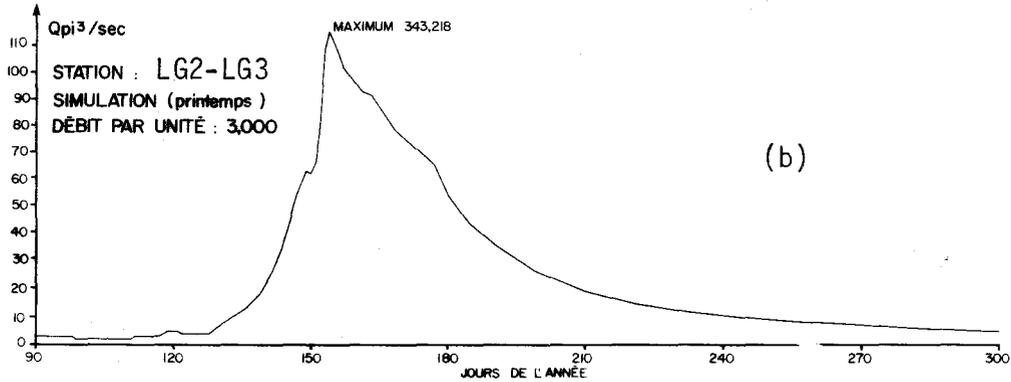
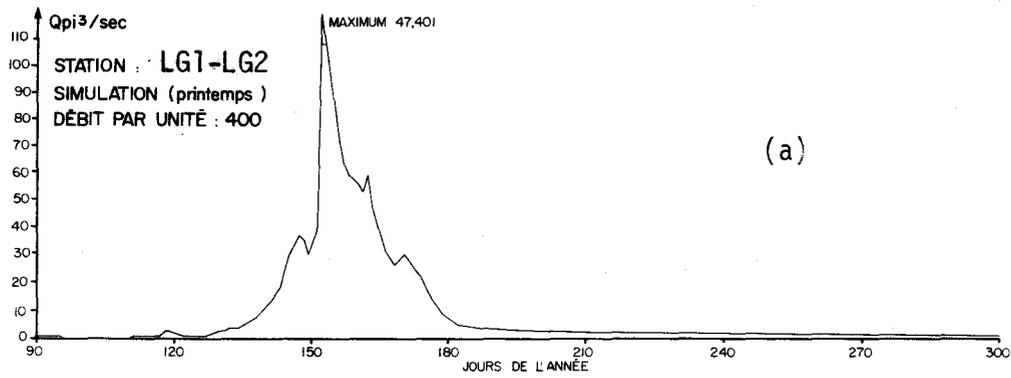


Figure 6.4: Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec blocage de l'infiltration et une précipitation estimée sur les parties de bassin comprises entre les sites de barrage.

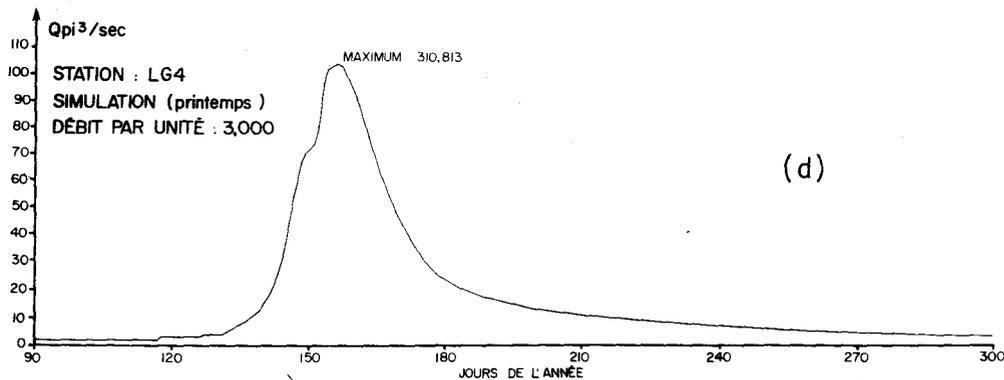
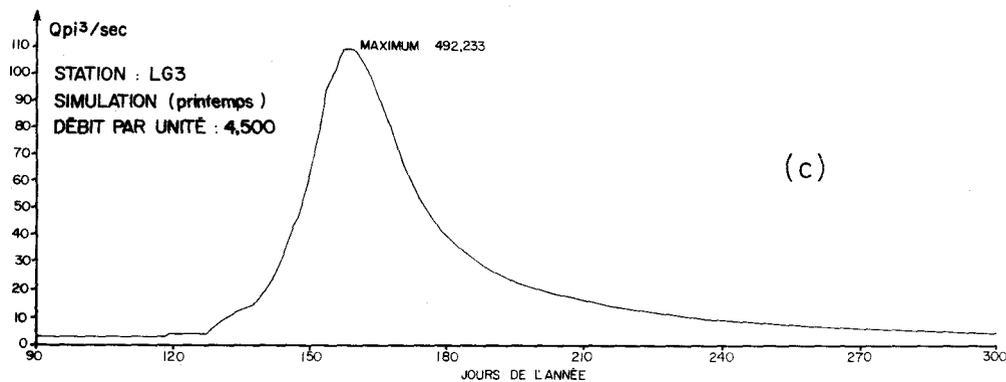
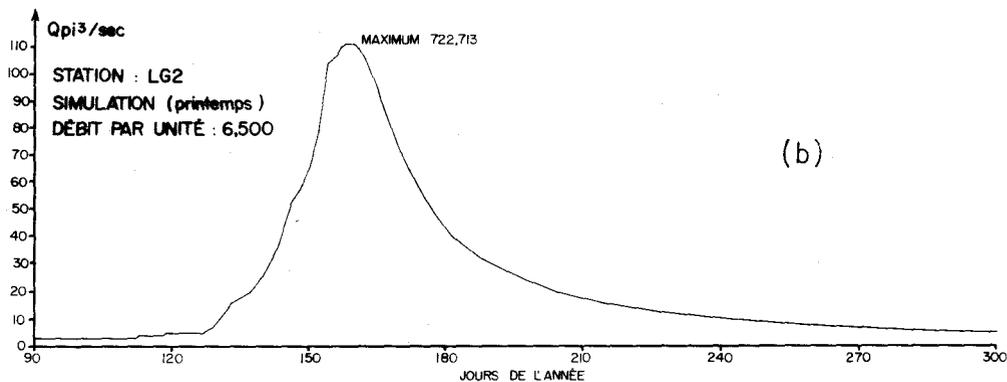
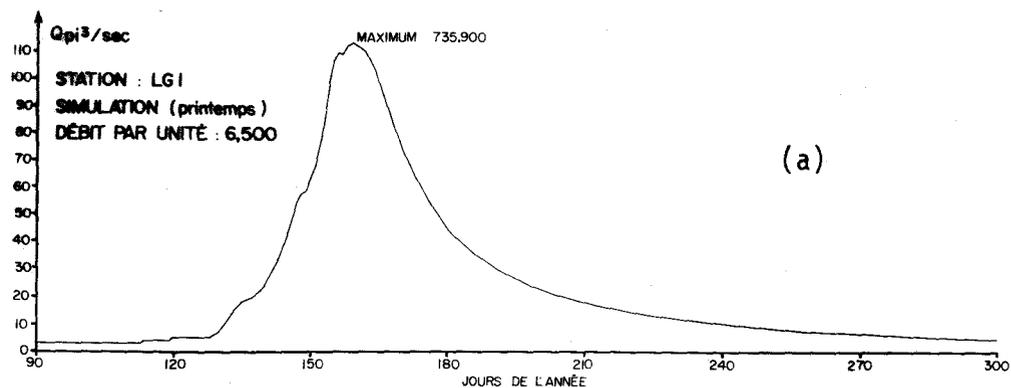


Figure 6.5: Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec un stock de neige réduit (32" équivalent-eau) et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande

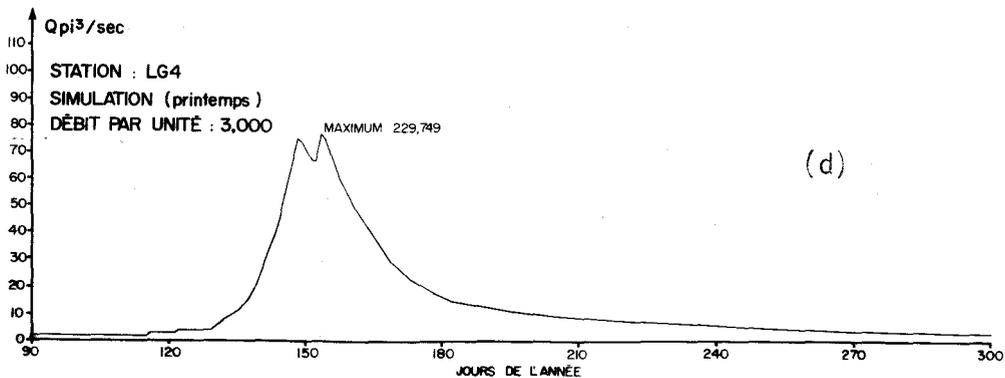
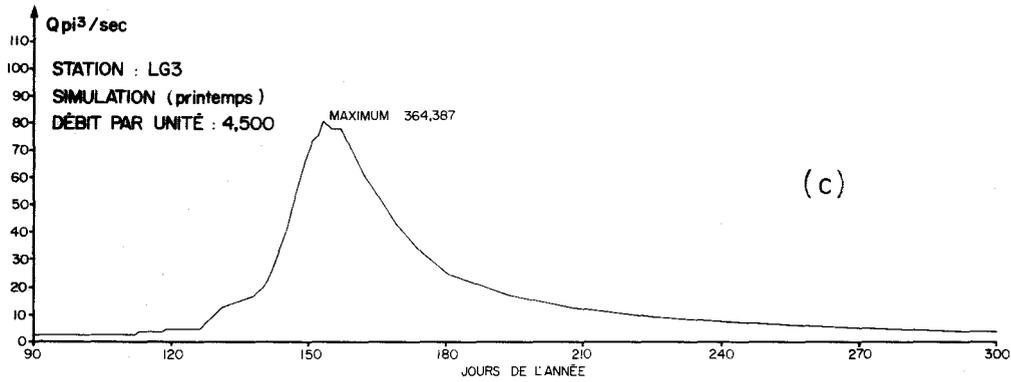
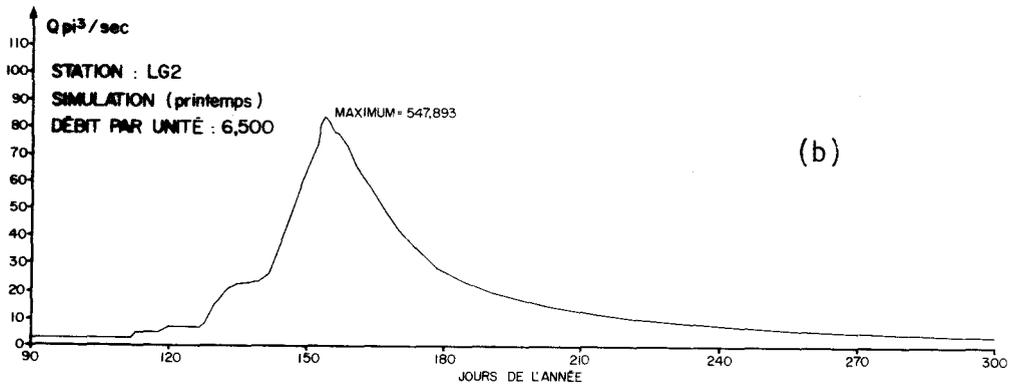
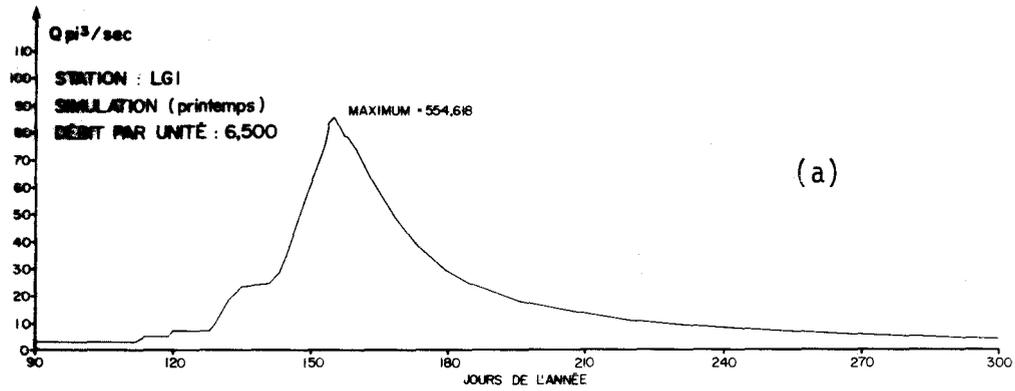


Figure 6.6: Hydrogrammes de crue maximale probable de printemps simulés avec un stock de neige réduit (22" équivalent-eau) et une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande

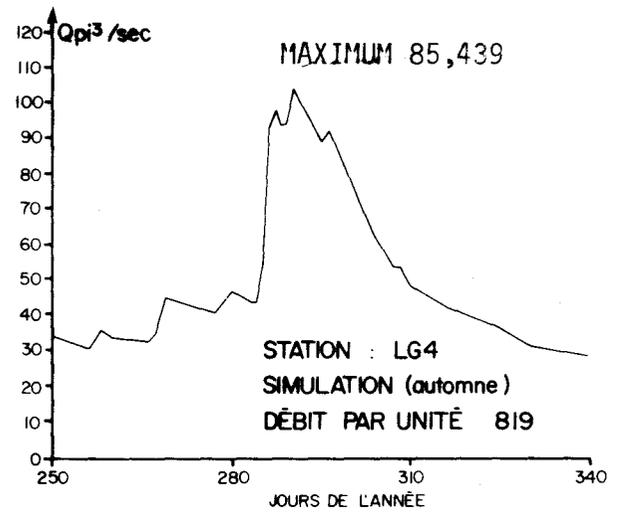
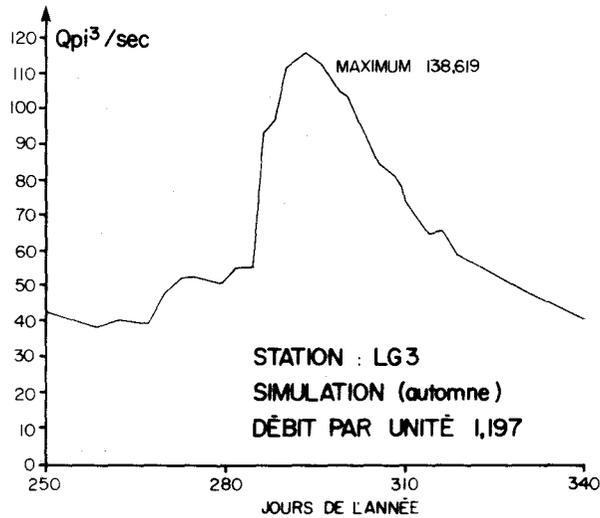
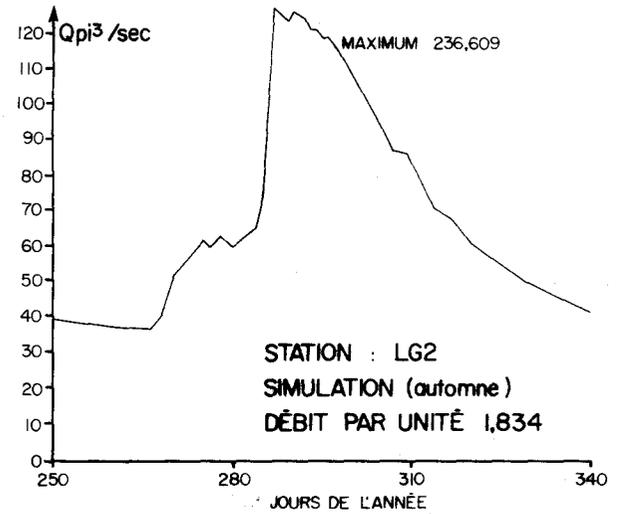
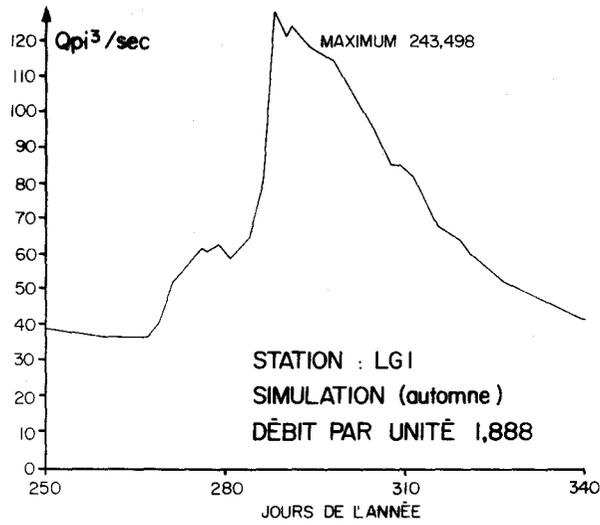


Figure 6.7: Hydrogrammes de crue maximale probable d'automne simulés avec une précipitation estimée sur l'ensemble du bassin La Grande

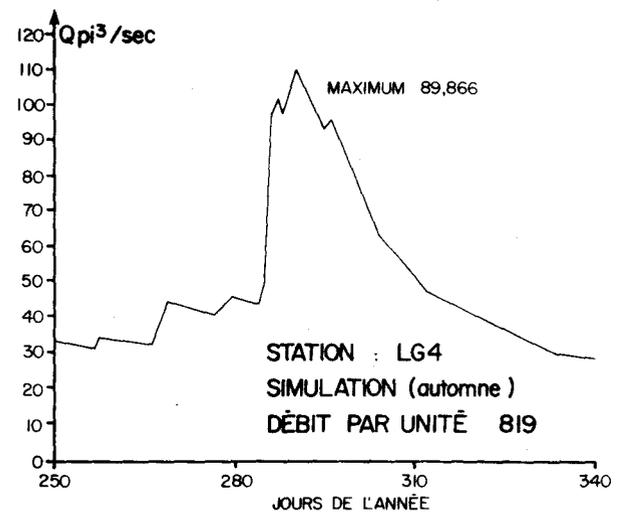
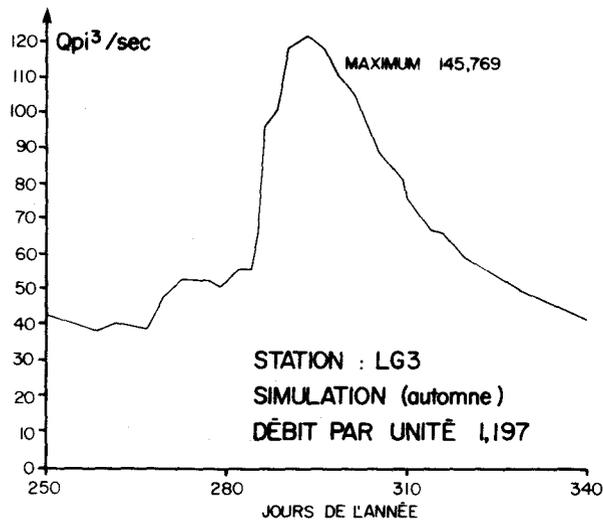


Figure 6.8: Hydrogrammes de crue maximale probable d'automne simulés avec une précipitation estimée pour le sous-bassin limité à l'aval par le site LG3.

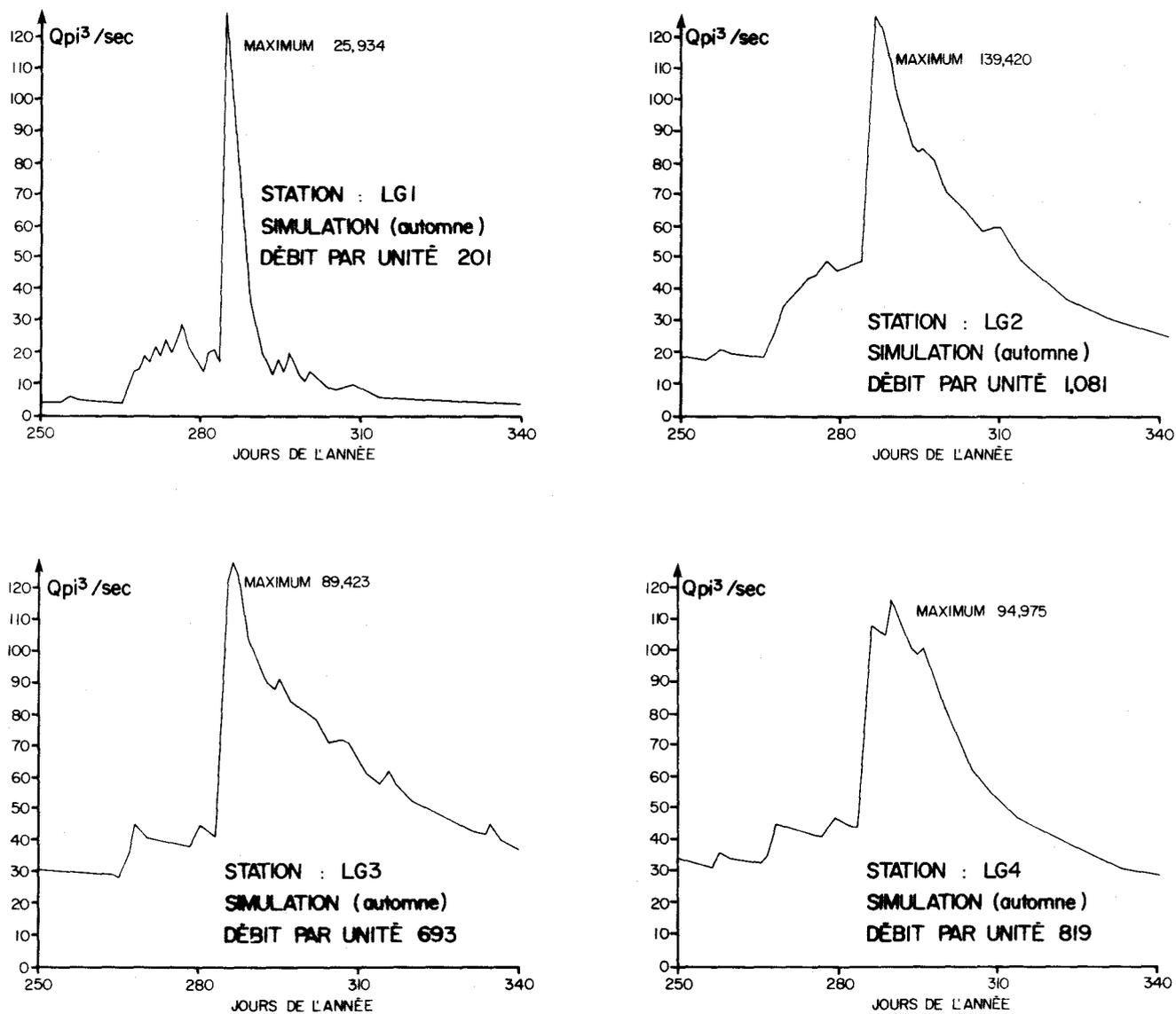


Figure 6.9: Hydrogrammes de crue maximale probable d'automne simulés avec une précipitation estimée sur les parties de bassin comprises entre les sites de barrage.

CONCLUSION

Tels que définis dans l'introduction, les buts visés par cette étude ont été atteints:

- i) faire ressortir l'insuffisance actuelle des méthodes statistiques dans le calcul de la crue maximale probable. Cette situation est attribuable à l'insuffisance de données observées sur le phénomène des crues de la Grande (chap. 2).
- ii) établir l'aptitude du modèle HC02000 (version adaptée du modèle CEQUEAU) à reproduire les séquences de débits en différents points du bassin, en particulier pour les phénomènes de crues de moyenne et de grande amplitude dues à l'effet combiné de la pluie et de la fonte de la neige (chap. 5).
- iii) étudier le comportement du modèle soumis préliminairement à des conditions météorologiques arbitraires d'une extrême sévérité (chap. 6.1.1.1 et annexe A3). Ces essais nous ont conduits à introduire quelques modifications, en particulier pour l'infiltration. La dernière étape de l'étude consistait à soumettre le modèle à des conditions météorologiques extrêmes estimées par le service de la météorologie du M.R.N. Les résultats de la simulation apparaissent au chapitre 6.

Il va de soi que cette méthodologie d'évaluation d'un événement extrême ne nous permet pas d'attribuer une probabilité aux valeurs simulées. Ceci tient au fait que les données d'entrées sont estimées à partir des séries de données de natures diverses dont on connaît mal les interrelations, par exemple, la pluie et la température. On peut dire, cependant, que cette méthodologie est très sécuritaire puisqu'une meilleure connaissance de ces interrelations nous conduirait à une évaluation plus faible ou tout au plus, semblable de l'événement extrême.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENSON, M.A. (1968). Uniform flood-frequency estimating methods for federal agencies. Water Resources Research V.4, No. 5. pp. 891, 908.
- BERNIER, J. et VERON, R. (1963). Sur quelques difficultés rencontrées dans l'estimation d'un débit de crue de probabilité donnée. Société hydrotechnique de France (mémoires et travaux). Suppl. 1 au volume 2. pp. 23, 46.
- BOBEE, B. (1973). Sample error of T-years events computed by fitting a Pearson type III distribution. Water Resources Research. Vol. 9, No. 5. pp. 1264 - 1270.
- BOBEE, B. (1974). Méthode d'ajustement de la loi Log-Pearson type III. INRS-Eau. Rapport technique No.27.
- BOROVIKOVA, L.N. and Yu. M. DENISOV (1971). Mathematical Modeling of the Formation of River Run-off in Mountain Drainage Basins. Symp. int. sur les modèles mathématiques en hydrologie, A.I.H.S., Varsovie 26-31 juillet, Article 5/8.
- BURNASH, R.J.C. and FERRAL, R.L. (1971). A generalized streamflow simulation system. Symp. int. sur les modèles mathématiques en hydrologie, A.I.H.S., Varsovie 26-31 juillet, Article 6/6.
- CHANDER, S. (1971). Representation of a Catchment by a Network of Reservoirs. Symp. int. sur les modèles mathématiques en hydrologie, A.I.H.S., Varsovie 26-31 juillet, Article 4/9.
- CHARBONNEAU, R. (1969). Modèle mathématique de crues dues à la fonte de la neige. Le naturaliste canadien, No. 96.

- CRAWFORD, N.H. and LINSLEY, R.W. (1962). The Synthesis of continuous Stream-flow Hydrographs on a Digital Computer. Dept. of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, Cal. Tech. Report No. 12, p. 121.
- FORTIN, J.P. et GIRARD, G. (1970). Modèle budgétaire de crue estivale. Ministère des Richesses Naturelles du Québec, Pub. H-12.
- GIRARD, G. (1970). Un modèle mathématique pour crues de fonte de neige et son application au Québec. Cahiers ORSTOM, Serv. hydrol., Vol. VII, No. 1.
- GIRARD, G., FORTIN, J.P. et CHARBONNEAU, R. (1971). Un modèle hydrométéorologique simplifié et quelques applications régionales. Symp. int. sur les modèles mathématiques en hydrologie, A.I.H.S., Varsovie 26-31 juillet, Article 5/5.
- GIRARD, G., CHARBONNEAU, R. et MORIN, G. (1972). Modèle hydrophysiographique. Symp. int. sur les techniques de modèles mathématiques appliqués aux systèmes de ressources en eau. Environnement Canada, Ottawa 9-12 mai, p. 190-204.
- GIRARD, G., MORIN, G. et CHARBONNEAU, R. (1972). Modèle précipitation - débits à discrétisation spatiale. Cah. ORSTOM, Serv. hydrol., Vol. IX, No. 4, p. 35-52.
- GIRARD, G., MORIN, G. et CHARBONNEAU, R. (1973). Utilisation d'un modèle de fonte de neige à mailles physiographiques. Bull. A.I.H.S. XVIII, 1, 3/1973, p. 27-32.
- GRENIER, F., BUSSIERES, P., CLIBBON, P.B., DORION, H., HAMELIN, P.R. et HUFFY, A. (1971). Géographie contemporaine - Le Québec. Ed. du Renouveau pédagogique, Montréal, 81 p.
- HARTER, H.L. (1969). A new table of percentage points of the Pearson type III distribution. Technometrics VII, No. 1, pp. 177-187.

- RAMASESHAN, S. and ANANT, Ravi Shanker (1971). A Multiple Input System Model for the Hydrologic Basin. Symp. int. sur les modèles mathématiques en hydrologie, A.I.H.S., Varsovie 26-31 juillet, Article 4/10.
- ROCHE, M. (1963). Hydrologie de surface. Gauthier-Villars, Paris.
- SERVICE METEOROLOGIQUE DU CANADA (1971). Climat du Québec, Atlas climatique. 1ère partie.
- VILLENEUVE, J.P. et al. (1971). Rationalisation du réseau hydrométrique du Québec. INRS-Eau. Rapport technique No. 1, 368 p., 6 annexes, 1 résumé (Pour le Ministère de l'Environnement, Canada).

ANNEXE A1BANQUE GENERALE DE DONNEES PHYSIOGRAPHIQUES ET FILIERES D'ACCES

Le volume de "The Shawinigan Engineering Company Limited" donne les instructions nécessaires pour la création et l'utilisation de la banque de données physiographiques créée par Shawinigan Engineering.

Ces données sont contenues sur bandes magnétiques, avec la densité HI et en binaire.

A1-1. La bande de données physiographiques

Ce sont les données purement physiographiques sur chaque carreau entier de 10 km sur 10 km identifié d'après le système de coordonnées UTM (Universal Transverse Mercator):

- (1) I: Numéro de la colonne
- (2) J: Numéro de la ligne
- (3) Zone de référence Mercator
- (4) Identification du carreau dans la zone
- (5) Superficie du carreau
- (6) Superficie de la mer
- (7) Superficie de lacs
- (8) Superficie de forêts
- (9) Superficie de marais
- (10) Population
- (11) Superficie urbanisée

- (12) Altitude au coin sud-ouest
- (13) Altitude moyenne
- (14) Pente
- (15) Azimuth de la pente
- (16) Indicateur
- (17 à 20) Distance à la mer N N-E E S-E
- (21 à 24) Altitude de la barrière en direction du N N-E E S-E $\pi \times 10$
- (25 à 28) Effet bouclier en direction du N N-E E S-E $\pi \times 100$
- (29 à 31) & 34 Pente directionnelle N-E E S-E N
- (32) Carreau de référence gauche
- (33) Carreau de référence droite
- (35) Mot-clé

A1-2. La filière de drainage

Cette filière donne l'organisation du drainage du bassin versant. Elle définit pour chaque carreau partiel le carreau où il se draine et le ou les carreaux partiels qui l'alimentent.

- (1) Numéro de la colonne
- (2) Numéro de la ligne
- (3) Codes des carreaux partiels en aval (alphabétique)
- (4) Codes correspondants du carreau considéré
- (5,7,9,11) Numéros des carreaux partiels en aval correspondant respectivement aux codes de (3)
- (6,8,10,12) Pourcentage du carreau considéré s'y drainant

- (13) Codes du carreau considéré
- (14) Codes correspondants des carreaux partiels se drainant dans le carreau considéré
- (15,16,17,18,19)
Numéros des carreaux partiels en amont correspondant aux codes de (14)
- (20) Mot-clé

A1-3. La filière Index

Cette filière donne l'adresse pour accès direct d'un record I et J pour les banques de physiographie et de drainage. Si I et J existent, l'index nous donne son adresse.

Par exemple pour le Québec, on a :

nombre maximal de colonnes 210

nombre maximal de lignes 215

Si on cherche l'adresse de I = 21 et J = 32

$$N = 245 \cdot (21 - 1) - 32 = 4332$$

En lisant le 4332^{ième} mot de la filière Index, on trouve 1868, c'est-à-dire que l'on peut trouver les données physiographiques ou de drainage du carreau (21,32) à l'adresse 1868.

A1-4. La filière HGRID ou "Hydrologic Grid File Record layout".

Cette filière est créée par le programme HGRID et doit être construite pour chaque bassin versant étudié.

A partir d'un carreau donné, on regroupe tous les carreaux partiels qui font partie du bassin versant en amont.

Cette filière est créée à partir des 2 filières précédentes.

Elle donne pour chaque carreau partiel:

- | | | |
|-----|-------------------------------|---|
| (1) | numéro de la station A4 | } Il s'agit de la station définissant les bassins versants. |
| (2) | numéro de la station A2 | |
| (3) | numéro du record | |
| (4) | code du record (A, B, C ou D) | |
| (5) | pourcentage du record. | |

ANNEXE A2BANQUES DE DONNEES PHYSIOGRAPHIQUES, HYDROMETRIQUES ET METEOROLOGIQUES
UTILISEES PAR LE MODELE

Un programme permet de créer la bande de données que l'on utilisera pour construire les zones et faire tourner le modèle HCO2000.

Cette bande est créée à partir des quatre filières définies dans l'Annexe A1.

Elle donne en ordre:

- 1) I vecteur MARR (30 valeurs chacun) qui donne les informations générales.
- 2) N vecteurs MARR (30 valeurs) qui donnent les informations physiographiques des N parcelles de carreau entrant dans le bassin versant étudié.
- 3) I matrice MACE (NE,8) ou NE nombre de carreaux entiers, donnant les informations des carreaux entiers.
- 4) I matrice MACP (NP,8) ou NP nombre de carreaux partiels donnant les informations des carreaux partiels.
- 5) une matrice IJS donnant les caractéristiques des NPT postes de météo possibles sur le bassin.
- 6) NDIM un chiffre donnant la dimension des DOT à suivre.
- 7) Les DOT de dimension NDIM. Le premier DOT donne les informations générales, telles que l'année de début, l'année de fin, le numéro de station, etc...

A2-1. Le premier MARR: informations générales

- MARR (1) NP: nombre de carreaux partiels
- MARR (2) NE: nombre de carreaux entiers
- MARR (3) Nombre de carreaux sur le chemin de plus long
- MARR (4) Nombre de stations hydrométriques
- MARR (5 à 14) No des stations hydrométriques
- MARR (16 à 25) No des records sur lesquels se situent les stations hydrométriques réelles et fictives
- MARR (26) NPR: nombre de postes météorologiques possibles sur le bassin.
- MARR (27) = 1 si I et J conformes
= 2 si I et J non conformes
- MARR (28,29,30) Rien

A2-2. N vecteurs MARR

Le vecteur MARR contient trente (30) éléments définissant les valeurs de caractéristiques physiographiques du carreau partiel et certaines valeurs:

- MARR (1) = Numéro du carreau entier, auquel il appartient, défini par la filière SHAWINIGAN.
- MARR (2) = Code du carreau (A - B - C ou D).
- MARR (3) = Superficie du carreau partiel en Km².
- MARR (4) = I définissant l'abscisse du carreau entier.
- MARR (5) = J définissant l'ordonnée du carreau entier.

- MARR (6) = Numéro de liste du carreau partiel vers lequel se dirige le drainage de ce carreau. Cette numérotation, de 1 pour le carreau partiel de sortie du bassin à NB pour le carreau le plus éloigné hydrologiquement de l'exutoire, représente l'ordre dans lequel doivent se faire les calculs pour chaque carreau lors du transfert.
- MARR (7) - MARR (8) - MARR (9) - MARR (10) - MARR (11) =
Représentent chacun d'eux, le numéro du carreau partiel qui alimente directement ce carreau, ou bien zéro (0) si ce carreau est un carreau ne recevant pas d'alimentation. Chaque carreau peut recevoir au plus un apport de cinq (5) carreaux.
- MARR (12) = Indice de position dans la liste MACE des caractéristiques du carreau entier auquel il appartient.
- MARR (13) = Superficie des lacs et eau libre en Km².
- MARR (14) = Superficie boisée en Km².
- MARR (15) = Superficie marécageuse en Km².
- MARR (16) = Élévation moyenne du carreau en dizaine de pieds.
- MARR (17) = Pente moyenne du carreau en %.
- MARR (18) = Azimuth de la pente en degré.
- MARR (19) = Distance à la mer, direction nord, en milles.
- MARR (20) = " " " nord-est, en milles.
- MARR (21) = " " " est, en milles.
- MARR (22) = " " " sud-est, en milles.
- MARR (23) = Superficie totale du bassin à la sortie de ce carreau exprimée en Km².

- MARR (24) = Superficie totale des lacs du bassin à la sortie de ce carreau exprimée en 1/100 de Km².
- MARR (25) = Superficie en Km² du carreau entier.
- MARR (26) = Superficie totale des marécages du bassin à la sortie de ce carreau exprimée en 1/100 de Km².
- MARR (27) = Surface en Km² du sol nu ou cultivé.
- MARR (28) = $I \times 1000 + J$ (I J transformés).
- MARR (29) = Rien
- MARR (30) = Rien.

A2-3. La matrice MACE

Matrice de dimension (NE, 8) où NE est le nombre de carreaux entiers lu dans MARR (2).

Donne pour chaque carreau K (K varie de 1 à NE),

- MACE (K, 1) = Surface des lacs.
- MACE (K, 2) = Surfaces boisées.
- MACE (K, 3) = Surfaces en marécage.
- MACE (K, 4) = Elévation moyenne.
- MACE (K, 5) = Pente moyenne.
- MACE (K, 6) = Azimuth de la pente.
- MACE (K, 7) = Rien.
- MACE (K, 8) = $(I * 1000) + J$.

A2-4. La matrice MACP

Matrice de dimension (NP, 8) où NP est le nombre de carreaux partiels
Iu dans MARR (1).

Donne pour chaque carreau partiel K (K varie de 1 à NP),

- MACP (K, 1) = Pourcentage de superficie de la parcelle.
- MACP (K, 2) = Indice K de MACE.
- MACP (K, 3) = Surface (Km²) en amont.
- MACP (K, 4) = Surface des lacs (Km² *1000) en amont.
- MACP (K, 5) = Nombre de carreaux qui alimentent ce carreau.
- MACP (K, 6) = Surface des marais (Km² *1000) en amont.
- MACP (K, 7) = Rien.
- MACP (K, 8) = Rien.

A2-5. La matrice IJS

- IJS (K, 1) = Nom (A10).
- IJS (K, 2) = No. Provincial de la station.
- IJS (K, 3) = No. Fédéral (A7) de la station.
- IJS (K, 4) = Latitude de la station.
- IJS (K, 5) = Longitude de la station.
- IJS (K, 6) = I du carreau où se situe la station.
- IJS (K, 7) = J du carreau où se situe la station.
- IJS (K, 8) = Altitude de la station.
- IJS (K, 9) = Moyenne inter-annuelle des précipitations.

K varie de 1 à NPM.

A2-6. Le premier DOT Vecteur de dimension NDIM.

DOT (1) : Année début.

DOT (2) : Année fin.

DOT (3) : NP nombre de postes météo disponibles.

DOT (4) : NH nombre de stations hydrométriques disponibles.

DOT (5 à 4 + NP): Numéro provincial des postes météo.

DOT (4 + NP + 1 à 4 + NP + NH): Numéro des stations hydrométriques.

A2-7. Les autres DOT

DOT (1 à NP) : Température maximale.

DOT (NP + 1 à 2 NP) : Température minimale.

DOT (2NP + 1 à 3 NP) : Précipitation liquide.

DOT (3NP + 1 à 4 NP) : Précipitation solide.

DOT (4NP + 1 à 4 NP + NH) : Débit journalier aux NH postes hydrométriques.

ANNEXE A3SIMULATIONS PRELIMINAIRES

Les simulations présentées dans cette annexe ont été effectuées dans un premier temps, à partir des conditions météorologiques critiques de la Baie James, fournies par le Service de la météorologie du ministère des Richesses naturelles.

Nous exposons brièvement, sans toutefois présenter les résultats, les simulations ayant servi à déterminer l'intensité des données critiques ainsi que la date de leur occurrence.

A3.1 DONNEES DE STOCK DE NEIGE INITIAL

Le MRN a fourni des valeurs du stock de neige maximal probable au sol pour certaines stations météorologiques de la Baie James et en particulier aux stations de Nitchequon et du Poste de la Baleine. Les valeurs pour ces deux stations apparaissent dans le tableau A3.1.

DATE	STOCK DE NEIGE MAXIMAL EN EQUIVALENT-EAU (pouces)	
	à Nitchequon	au Poste de la Baleine
28 février	64"	60.6"
31 mars	56.3"	63.8"
30 avril	54"	64.5"
31 mai	12.4"	6"

TABLEAU A3.1

La SEBJ a demandé d'utiliser un stock de neige de 30 pouces (équivalent-eau) au début de la fonte comme base de départ pour les simulations. Cette valeur a été employée dans la première série de simulations dans le but de déterminer une date optimale pour laquelle toutes les conditions (impulsions de température et de pluie) pourront être réunies pour conduire à un événement extrême.

A3.2 DONNEES DE TEMPERATURE

Le MRN a préparé une série de figures donnant les régimes thermiques maximaux probables pour différentes stations.

On y retrouve la moyenne et l'écart-type des températures maximales quotidiennes à la station d'Amos, ainsi que les températures maximales moyennes probables pour des périodes de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 jours consécutifs.

<u>DUREE DE LA PERIODE CONTINUE</u>	<u>DATE</u>	<u>NOMBRE D'ECARTS-TYPES</u>
1 jour	12 avril 1945	3.23
2 jours	11 et 12 avril 1945	3.10
3 jours	10 au 12 avril 1945	2.98
4 jours	25 au 28 mars 1920	2.87
5 jours	24 au 28 mars 1920	2.77
6 jours	25 au 30 mars 1920	2.70
7 jours	22 au 28 mars 1920	2.63

TABEAU A3.2

La séquence de température utilisée dans cette simulation a été établie comme suit :

On suppose que les nombres d'écart-types établis pour la station d'Amos (Tableau A3.2) sont aussi applicables aux trois autres stations.

La température moyenne journalière est obtenue en soustrayant à la température moyenne maximale pour 1 jour 3.23 fois l'écart-type correspondant.

Alors on superpose à la température moyenne journalière une impulsion de température de durée fixée, fonction de la journée de son début et calculée en tenant compte de sa durée.

Différentes dates de débuts ont été essayées et cela pour différentes durées de l'impulsion afin de déterminer dans une première approche la date et la durée de l'impulsion donnant le maximum de fonte.

On reconnaît ici un des avantages du modèle HC02000, qui permet de suivre l'évolution des sortants en fonction d'entrants variables.

A3.3 DONNEES DE PRECIPITATIONS

Le MRN a fourni aussi les pluies maximales observées et les pluies maximales probables pour des durées de 6, 12, 18, 24, 48, 54 et 90 heures en fonction de différentes superficies.

On dispose d'autre part, d'une courbe donnant pour la station d'Amos, la variation annuelle relative de la valeur modale des pluies maximales de 24 heures.

De plus, on a procédé à une analyse des séquences pluvieuses pour la station de Nitchequon où nous disposons de 10 ans de données, afin de déterminer les principales caractéristiques statistiques des séquences sèches et humides.

La méthode utilisée est exposée dans l'Annexe A5.

Les caractéristiques suivantes ont été déterminées :

- Probabilité de pluie : .36 ($\alpha = .236$)
- Probabilité de jour sec : .64 ($\beta = .411$)

A3.4 SIMULATIONS EFFECTUEES

On a choisi finalement une impulsion de température de 30 jours et déterminé la date de début fournissant la plus grande crue. Ensuite on a superposé différentes séquences et intensités de précipitations, pour voir la réaction du bassin versant à certains types de précipitations extraordinaires.

Les différents essais ont été les suivants :

- Simulation avec une pluie totale de 6.5" pour une durée de 10 jours consécutifs.
- Simulation avec une pluie de 3.2" dans les 3 jours, pour l'ensemble du bassin.
- Simulation identique, mais en considérant seulement les sous-bassins, avec une intensité corrigée pour tenir compte des superficies.
- Simulation sans pluie pour étudier l'évolution du débit provenant uniquement de la fonte.

- Simulation avec une pluie de 6.5" pour l'ensemble du bassin et ce pour une durée de 7 jours, suivie d'une séquence sèche de 7 jours et ainsi de suite.

Enfin, on a effectué quelques essais avec précipitations sans stock de neige, c'est-à-dire, avec des conditions de crues d'automne.

CONCLUSION

Bien que ces essais ont permis de bien roder le modèle, ils ont été très importants dans l'évaluation de la sensibilité du modèle aux déplacements temporels des impulsions, ainsi qu'à la variation de leur intensité.

ANNEXE A4SIMULATIONS SANS BLOCAGE DE L'INFILTRATION

Comme nous l'avons exposé dans la section 6.2, nous avons effectué une première série de simulations sans blocage de l'infiltration; En effet, la limite imposée à l'infiltration n'étant pas nécessaire dans le cas de crues moyennes, le modèle n'avait pas prévu cette éventualité. On a introduit ce blocage sur les recommandations de la S.E.B.J., car l'infiltration de 10" semblait trop importante.

On présente donc dans cette annexe, les résultats obtenus sans blocage de l'infiltration.

Les caractéristiques de cet hydrogramme ainsi que l'état des réservoirs et le bilan en moyenne sur le bassin sont fournis dans les tableaux A4.1, A4.2, A4.3 et A4.4.

Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
C	C	C	C	C
13235	23883	483522	429582	169705
13113	24293	575046	409936	166271
12995	23318	605057	392999	162959
12889	23229	618686	377346	159761
12851	23165	649928	362042	156672
12769	23243	664687	347664	153685
12623	23449	667730	334541	150796
12488	24063	669772	322457	148000
12364	25778	678029	311236	145291
12252	31756	687195	300755	142665
12158	39888	701540	290927	140119
12088	46837	707349	281686	137648
12039	52067	711877	272978	135250
11999	56816	712693	264758	132920
11958	62824	717479	256989	130656
11911	65964	706306	249635	128454
11879	67821	691697	242666	126313
11874	74213	676873	236054	124230
12420	82382	663974	229773	122201
12903	91122	652552	223800	120225
12552	106669	635010	218112	118300
12537	123521	615326	212690	116424
13147	136596	594889	207516	114594
15828	151888	577035	202572	112809
17664	171467	561965	197843	111068
16764	201388	546235	193315	109368
16153	234244	525311	188975	107709
17183	265138	503564	184811	106087
18659	293083	480074	180812	104504
21877	337299	452783	176967	102956
	377361		173268	101442
.41	3.15	18.56	8.20	4.02

Tableau A4.1 : Hydrogramme de crue maximale probable de printemps simulé sans blocage de l'infiltration (à LG1)

à LG1

maximum	717,479
date	15 juin
lame	avril .41
	mai 3.25
	juin 18.56
	juillet 8.20
	août 4.02

Tableau A4.2 : Maximum de crue et lames d'eau printanières pour la simulation sans blocage de l'infiltration

Jour Réerves	Jour													
	108	120	130	135	140	145	151	156	161	166	171	176	181	
stock neige	44.69	44.09	42.56	40.65	37.36	31.33	21.34	12.26	4.79	2.47	.86	.09	0	
nappe profonde	.30	1.20	1.98	2.90	4.04	5.43	7.13	8.48	9.52	9.92	9.80	9.40	9.08	
sol	2.63	2.91	2.91	2.96	3.00	3.00	3.00	2.97	2.93	2.69	2.45	2.07	2.39	

Tableau A4.3 : Etat des réserves en moyenne sur le bassin pour la simulation sans blocage de l'infiltration

	avril	mai	juin
- précipitations liquides (pouces)	1.48	6.29	3.77
- précipitations solides (pouces)	1.67	0	0
- évaporation (pouces)	.12	1.79	3.52

Tableau A4.4 : Précipitations et évaporation mensuelles en moyenne sur le bassin pour la simulation sans blocage de l'infiltration

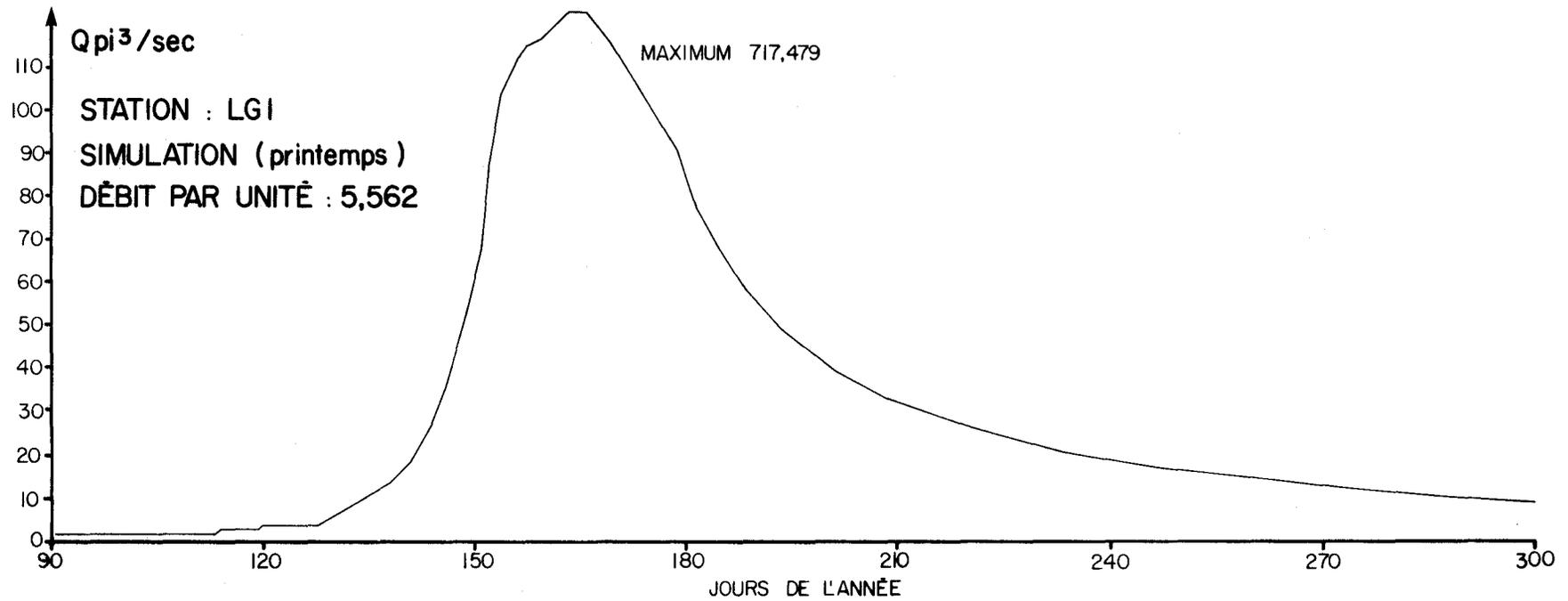


Figure A4.1 : Hydrogramme de crue maximale probable de printemps simulé sans blocage de l'infiltration.

ANNEXE A5 METHODE D'ANALYSE DES SEQUENCES PLUVIEUSES

A5.1 Hypothèse Markovienne

Soit une série d'événements pouvant prendre différents états, si on admet que l'état d'un jour donné ne dépend que de l'état du jour précédent, (ce qui signifie que toute l'information nécessaire est contenue dans l'état du jour précédent), les états successifs forment une chaîne de Markov d'ordre I.

Les probabilités de transition sont supposées homogènes, c'est à dire indépendantes du temps. Dans le cas des précipitations, nous considérons 2 états: état sec (S), état humide (H).

- Etat sec - si la précipitation journalière est inférieure ou égale à une limite c.
 Etat humide - est l'état complémentaire.

La matrice de transition du processus s'écrit

$$\text{Jour } n - 1 \left\{ \begin{array}{c|cc} & \overbrace{\text{S} \quad \text{H}}^{\text{Jour } n} \\ \hline \text{S} & 1 - \alpha & \alpha \\ \hline \text{H} & \beta & 1 - \beta \end{array} \right. \text{ avec: } \begin{array}{l} \alpha = \text{Pr} [x_n = \text{H} / x_{n-1} = \text{S}] \\ \beta = \text{Pr} [x_n = \text{S} / x_{n-1} = \text{H}] \end{array}$$

Le processus homogène et discret est alors représenté par l'équation:

$$Q_n = Q_{n-1} \cdot P$$

où

\underline{P} est la matrice de transition;
 $Q_n = \left[\underline{\text{Pr}} [x_n = S] \ ; \ \underline{\text{Pr}} [x_n = H] \right]$
 Q_n est la matrice des probabilités totales.

Si Q_n tend vers une limite Q^* quand n devient grand, le processus converge vers un processus stationnaire, la matrice $Q^* = [\pi_0, \pi_1]$ est définie par

$$\begin{cases} Q^* = Q^* \underline{P} \\ \pi_0 + \pi_1 = 1 \end{cases}$$

on a alors:

$$\pi_0 = \lim_{n \rightarrow \infty} \underline{\text{Pr}} [x_n = S] = \frac{\beta}{\alpha + \beta}$$

$$\pi_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} \underline{\text{Pr}} [x_n = H] = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

A5.2 Lois de probabilité des séquences
sèches et humides

Soient X et Y la durée d'une séquence sèche et d'une séquence humide

Soient N_{1J} = durée de la séquence sèche d'ordre J ;

N_{2J} = durée de la séquence humide d'ordre J .

LLamas et Siddique (1969) montrent que:

N_{1J} et N_{2J} sont indépendants, les N_{1J} sont identiquement distribués, les N_{2J} sont identiquement distribués, on a donc:

$$\begin{aligned} \Pr [X = k] &= \Pr [N_{1J} = k] \\ \Pr [Y = k] &= \Pr [N_{2J} = k] \end{aligned} \quad \text{quel que soit } J.$$

Soient x_i les événements de la séquence des précipitations, x_i peut prendre les états sec (S) ou humide (H), on a en utilisant les relations précédentes (pour $J = 1$):

$$\begin{aligned} \Pr [X = k] &= \Pr [N_{11} = k] \\ &= \Pr [N_{11} = k/x_1 = S \text{ ou } x_1 = H] \\ &= \Pr [N_{11} = k/x_1 = S] \cdot \Pr [x_1 = S] \\ &\quad + \Pr [N_{11} = k/x_1 = H] \cdot \Pr [x_1 = H] \end{aligned}$$

En supposant que la séquence forme une chaîne de Markov d'ordre 1 on montre que:

$$\underline{\text{Pr}} [N_{11} = k/x_1 = S] = \alpha (1 - \alpha)^{k-1}$$

$$\underline{\text{Pr}} [N_{11} = k/x_1 = H] = \alpha (1 - \alpha)^{k-1}$$

Dans ce dernier calcul, on envisage toutes les positions possibles de la première journée sèche de la séquence N_{11} de durée k .

$$\text{De plus, } \underline{\text{Pr}} [x_1 = H] + \underline{\text{Pr}} [x_1 = S] = 1$$

Donc:

$$\underline{\text{Pr}} [X = k] = \alpha (1 - \alpha)^{k-1} \quad (\text{Loi géométrique})$$

on démontre de la même manière que la loi de probabilité des durées de séquences humides est donnée par:

$$\underline{\text{Pr}} [Y = k] = \beta (1 - \beta)^{k-1} \quad (\text{Loi géométrique})$$

Donc si l'on suppose que la séquence des états est distribuée suivant une chaîne Markovienne d'ordre 1, les probabilités des séquences sèches (ou humides) de durée k sont distribuées suivant des lois géométriques.

A5.3 Détermination des probabilités cumulées

Soit $p_k = \Pr [X = k] = \alpha (1 - \alpha)^{k-1}$

on a :

$$\Pr [X < k] = \sum_{j=1}^{j=k-1} p_j$$

$$\Pr [X < k] = \sum_{j=1}^{j=k-1} \alpha (1 - \alpha)^{j-1}$$

$$\Pr [X < k] = \alpha \sum_{j=1}^{j=k-1} (1 - \alpha)^{j-1}$$

$$\Pr [X < k] = \alpha \frac{1 - (1 - \alpha)^{k-1}}{1 - (1 - \alpha)}$$

Donc $\Pr [X < k] = 1 - (1 - \alpha)^{k-1}$

puisque

$$\Pr [X \geq k] = 1 - \Pr [X < k]$$

On en déduit :

$$p_k = \Pr [X \geq k] = (1 - \alpha)^{k-1}$$

Ce qui détermine la probabilité que la durée d'une séquence sèche soit supérieure ou égale à k jours. On montre de la même manière pour les séquences humides que:

$$G_k = \Pr [Y \geq k] = (1 - \beta)^{k-1}$$

A partir des valeurs observées des probabilités cumulées, il sera possible d'examiner la validité de la Loi géométrique, en effet on a:

$$\frac{P_{k+1}}{P_k} = (1 - \alpha) \quad k = 1, 2, \dots$$

Ce rapport est indépendant de k .

A5.4 Estimation des paramètres des Loïs géométriques

On raisonne ici sur les jours secs (le même raisonnement s'applique pour les jours humides) la probabilité d'avoir une séquence sèche de durée k exactement est:

$$p_k = \alpha (1 - \alpha)^{k-1}$$

On peut démontrer que:

La moyenne de la distribution est $\mu = \frac{1}{\alpha}$;

la variance de la distribution est $\sigma^2 = \frac{1 - \alpha}{\alpha^2}$.

Si n_k est le nombre de séquences sèches observées de durée k , le nombre total de séquences sèches observées est N tel que:

$$N = \sum_{k=1}^K n_k$$

La moyenne observée est:

$$\hat{\mu} = \sum_{k=1}^K k \frac{n_k}{N}$$

En pratique les séquences observées ont une durée inférieure à une certaine valeur K .

a) Méthode des moments

Pour estimer α on peut appliquer la méthode des moments, qui consiste ici à égaler la moyenne théorique et la moyenne observée, on a:

$$\frac{1}{\alpha} = \sum_{k=1}^K k \frac{n_k}{N}$$

b) Méthode du maximum de vraisemblance

La fonction de vraisemblance est:

$$L = \text{Log } p_1^{n_1} p_2^{n_2} \dots p_k^{n_k} = \sum_{k=1}^K n_k \text{Log } p_k$$

$$L = \sum_{k=1}^K n_k \text{Log } [\alpha(1 - \alpha)^{k-1}]$$

$$L = N \text{Log } \alpha + (\text{Log } (1 - \alpha)) \left[\sum_{k=1}^K k n_k - \sum_{k=1}^K n_k \right]$$

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha} = \frac{N}{\alpha} - \frac{1}{1 - \alpha} \left[\sum_{k=1}^K k n_k - N \right]$$

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha} = 0 \quad \text{conduit à:}$$

$$\frac{1}{\alpha} = \sum_{k=1}^K \frac{k n_k}{N} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K k n_k$$

Donc la méthode de maximum de vraisemblance donne le même résultat que la méthode des moments.

A5.5 Signification physique des paramètres

Si on considère pour une période donnée la succession des états secs (S) et humides (H), $\sum_{k=1}^K n_k$ représente le nombre total de jours secs dans la série, donc dans l'hypothèse de la Loi géométrique, la signification de α est:

$$\alpha = \frac{N}{\sum_{k=1}^K n_k} = \frac{\text{nombre de séquences sèches dans la série}}{\text{nombre total de jours secs dans la série}} \quad (1)$$

Dans le cas de l'hypothèse Markovienne (qui est plus restrictive que l'hypothèse de la Loi géométrique), α est défini à partir de la matrice de transition:

$$\alpha = \text{Pr} \left[\text{Jour } k = \text{H} / \text{Jour } (k-1) = \text{S} \right]$$

$$\alpha = \frac{\text{nombre de groupes (SH) dans la série}}{\text{nombre de jours secs dans la série}} \quad (2)$$

Mais chaque fois que l'on a un groupe SH dans la série cela signifie que la séquence sèche se termine donc:

$$\text{nombre de groupes SH} = \text{nombre total de séquences sèches}$$

et:

$$\alpha = \frac{\text{nombre total de séquences sèches dans la série}}{\text{nombre de jours secs dans la série}}$$

On retrouve le résultat obtenu dans le cas de la Loi géométrique ce qui est logique puisque l'hypothèse Markovienne conduit à la Loi géométrique.

Le paramètre β relatif aux séquences humides est défini de manière similaire.

En conclusion, la meilleure estimation de α est donnée par (1) quand on suppose que la durée des séquences sèches suit une Loi géométrique, si l'on suppose de plus que la succession des états secs et humides forme une chaîne de Markov d'ordre 1, les relations (1) et (2) sont équivalentes et conduisent à la meilleure estimation de α .