

**Record Number:** 870  
**Author, Monographic:** Charbonneau, R.//Fortin, J. P.//Morin, G.//Potvin, L.//Sochanska, W.  
**Author Role:**  
**Title, Monographic:** Simulation des débits de la rivière Eaton  
**Translated Title:**  
**Reprint Status:**  
**Edition:**  
**Author, Subsidiary:**  
**Author Role:**  
**Place of Publication:** Québec  
**Publisher Name:** INRS-Eau  
**Date of Publication:** 1977  
**Original Publication Date:**  
**Volume Identification:**  
**Extent of Work:** viii, 83  
**Packaging Method:** pages  
**Series Editor:**  
**Series Editor Role:**  
**Series Title:** INRS-Eau, Rapport de recherche  
**Series Volume ID:** 87  
**Location/URL:**  
**ISBN:** 2-89146-085-5  
**Notes:** Rapport annuel 1977-1978  
**Abstract:** Rapport rédigé pour Environnement Canada  
15.00\$  
**Call Number:** R000087  
**Keywords:** rapport/ ok/ dl

Simulation des débits de la rivière Eaton

INRS-Eau  
Université du Québec  
C.P. 7500, Sainte-Foy  
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 87  
1977

Rapport rédigé pour  
Environnement Canada

par

R. Charbonneau, J.P. Fortin, G. Morin, L. Potvin, W. Sochanska

ISBN 2-89146-085-5

DEPOT LEGAL 1977

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

© 1977 - Institut national de la recherche scientifique

## Simulation des débits de la rivière Eaton

### Résumé

Après avoir procédé à la formation des banques de données météorologiques, hydrologiques et physiographiques, on a effectué un premier ajustement du modèle à discrétisation spatiale CEQUEAU sur le bassin étudié, dans le but d'analyser le comportement du modèle dans le cas où peu de données physiographiques sont prises en compte.

Dans l'ensemble, les simulations des écoulements du bassin de la rivière Eaton sont satisfaisantes tenant compte du fait que le modèle a utilisé une fonction de production uniforme sur chacun des sous-bassins et que l'ajustement des paramètres a été fait de façon globale et non particulière aux sous-bassins.

Il apparaît évident que les bassins de la rivière Eaton ont des comportements hydrologiques très différents qui semblent liés à des caractéristiques géologiques, pédologiques et topographiques variables d'un bassin à l'autre.

La prise en compte de ces caractéristiques permettra d'obtenir une plus grande précision des résultats de simulation, d'augmenter la transposabilité du modèle CEQUEAU et d'accroître les performances éducationnelles de cet outil de recherche. A long terme, on vise à expliciter la nature des liens entre les paramètres du modèle et ces caractéristiques mesurables.

### Mots-clé

simulation, débit, rivière, Eaton, bassin, modèle, déterministe, CEQUEAU, écoulement, paramètre, donnée, physiographie, comportement, représentatif, carreau, grille, matriciel, variation, découpage, production, transfert, drainage, hydrométrie, calage

Référence:

Charbonneau, R., Fortin, J.P., Morin, G., Potvin, L. et Sochanska, W. (1977).  
Simulation des débits de la rivière Eaton. INRS-Eau, rapport scientifique no 87, 83 pp.

## TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
RESUME	i
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
1. INTRODUCTION	1
2. MODELE CEQUEAU	5
2.1 Fonction de production	10
2.1.1 Précipitations et températures	14
2.1.2 Fonte des neiges	15
2.1.3 Evapotranspiration	17
2.1.4 Vidange du réservoir-sol	19
2.1.5 Vidange et recharge de la nappe profonde	19
2.1.6 Vidange des lacs	20
2.2 Fonction de transfert	20
2.2.1 Coefficient de transfert	21
3. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON	23
3.1 Présentation du bassin versant	25
3.2 Topographie	25
3.3 Géologie	29
3.3.1 Incidence de la géologie sur l'écoulement	29
3.3.2 Géologie des roches consolidées	31
3.3.3 Géologie des dépôts meubles	32
3.4 Végétation forestière	45
4. DONNEES POUR LE MODELE DE SIMULATION	49
4.1 Données physiographiques	51
4.2 Données sur le drainage	52

4,3	Données météorologiques	52
4.4	Données hydrométriques	54
5.	RESULTATS DE LA SIMULATION DES DEBITS	59
5.1	Calage du modèle	61
5.2	Simulation de la rivière Eaton	62
5.2.1	Eaton à la station 030234	63
5.2.2	Eaton à la station 030242	69
5.2.3	Eaton Nord à la station 030239	73
5.2.4	Clifton à la station 030238	77
5.3	Discussion générale sur les résultats des simulations	77
5.4	Conclusion	82
	BIBLIOGRAPHIE	89

## LISTE DES TABLEAUX

		<u>PAGE</u>
3.1	Bassin de la Eaton. Sommaire des caractéristiques topographiques	26
3.2	Distribution quantitative de la superficie des divers types de dépôts meubles pour les sous-bassins de la rivière Eaton	40
4.1	Stations météorologiques du bassin versant de la rivière Eaton	55
4.2	Données hydrométriques	57
5.1	Résultats des simulations	81

## LISTE DES FIGURES

		<u>PAGE</u>
2.1	Création des "carreaux entiers" par superposition d'une grille sur la région étudiée	8
2.2	Subdivisions des carreaux entiers en "carreaux partiels" en fonction des sous-bassins	9
2.3	Schéma général de la "fonction production"	11
2.4	Schéma de production	13
3.1	Caractéristiques topographiques du bassin versant de l'Eaton	27
3.2	Courbes hypsométriques des bassins versants de l'Eaton et de ses affluents	28
3.3	Dépôts meubles	33
3.4	Nature des dépôts meubles dans quelques sections exposées sur les berges	35
3.5	Carte index des coupes	42
3.6	Coupes Eaton "A", "E", "H", Clifton "C"	43
3.7	Stratigraphie de la vallée de la rivière Clifton	44
3.8	Sous-bassin de la rivière Clifton	46
4.1	Bassin versant de la rivière Eaton	53

4.2	Position géographique des 25 stations météorologiques et des quatre stations hydrométriques utilisées dans les simulations	58
5.1	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton (1973, station 30234)	64
5.2	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton (1974, station 30234)	65
5.3	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton (1975, station 30234)	66
5.4	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton (1973, station 30238)	70
5.5	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton (1974, station 30238)	71
5.6	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton (1975, station 30238)	72
5.7	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton Nord (1973, station 30239)	74
5.8	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton Nord (1974, station 30239)	75
5.9	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton Nord (1975, station 30239)	76
5.10	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton (1973, station 30242)	78

5.11	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton (1974, station 30242)	79
5.12	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton (1975, station 30242)	80
5.13	Isohyètes annuelles en pouces d'eau pour 1973 calculés par la méthode d'interpolation optimale de L. S. Grondin.	83
5.14	Isohyètes annuelles en pouces d'eau pour 1974 calculés par la méthode d'interpolation optimale de L.S. Grondin	84
5.15	Isohyètes annuelles en pouces d'eau pour 1975 calculés par la méthode d'interpolation optimale de L.S. Grondin	85
5.16	Répartition des lames d'eau observées, précipitées et écoulées en centimètres pour chacun des sous-bassins de la rivière Eaton	86

CHAPITRE -1-

INTRODUCTION

Dans le cadre du Programme de subvention à la recherche sur les ressources en eau, Environnement Canada a subventionné ce projet qui a pour titre "*Utilisation des données du bassin représentatif de la rivière Eaton dans le but d'adapter le modèle déterministe CEQUEAU à l'analyse quantitative des répercussions sur l'écoulement, occasionnées par les modifications physiques des bassins versants*".

L'objectif à long terme du projet est d'explicitier la nature des liens entre les paramètres du modèle et les données physiographiques mesurables. Après avoir procédé à la formation des banques de données météorologiques, hydrologiques et physiographiques, nous avons effectué un premier ajustement du modèle à discrétisation spatiale CEQUEAU sur le bassin étudié, dans le but d'analyser le comportement du modèle dans le cas où peu de données physiographiques sont prises en compte. Dans cette étape, les seules caractéristiques retenues au niveau des carreaux d'une grille de 2 x 2 km de côté sont:

- le pourcentage de couverture forestière;
- la surface occupée par des lacs et marais;
- l'altitude moyenne du carreau.

On n'a pas tenu compte de l'information géologique et des différents types de couverture végétale pour cette première simulation.

Les résultats de la simulation sont présentés aux quatre sites où nous possédons des débits observés pour la période 1973 à 1975.

CHAPITRE -2-

MODELE CEQUEAU

Le modèle CEQUEAU est un modèle déterministe matriciel extrêmement souple, qui prend en compte les multiples caractéristiques physiques du bassin avec leurs variations dans l'espace et dans le temps.

Les modèles globaux considèrent le bassin versant comme un tout alors que les modèles matriciels considèrent le bassin versant comme un ensemble d'éléments (sous-bassins) interreliés. Bien que plus complexe que les modèles globaux, c'est parce qu'il est matriciel que le modèle CEQUEAU peut faire une utilisation plus rationnelle de l'information physiographique, géologique et météorologique. La division du bassin versant en plusieurs éléments permet de prendre en compte d'une manière plus efficace les variations spatio-temporelles de l'écoulement et des caractéristiques physiographiques.

Le découpage du bassin versant peut être très varié en forme et en densité. Pour le modèle CEQUEAU, on a adopté un découpage en carreaux, ce qui se traduit par la superposition d'une grille délimitant des éléments de surface qui sont appelés "carreaux entiers" (figure 2.1).

La dimension des mailles de cette grille est définie en fonction de la surface du bassin versant et de l'information météorologique disponible.

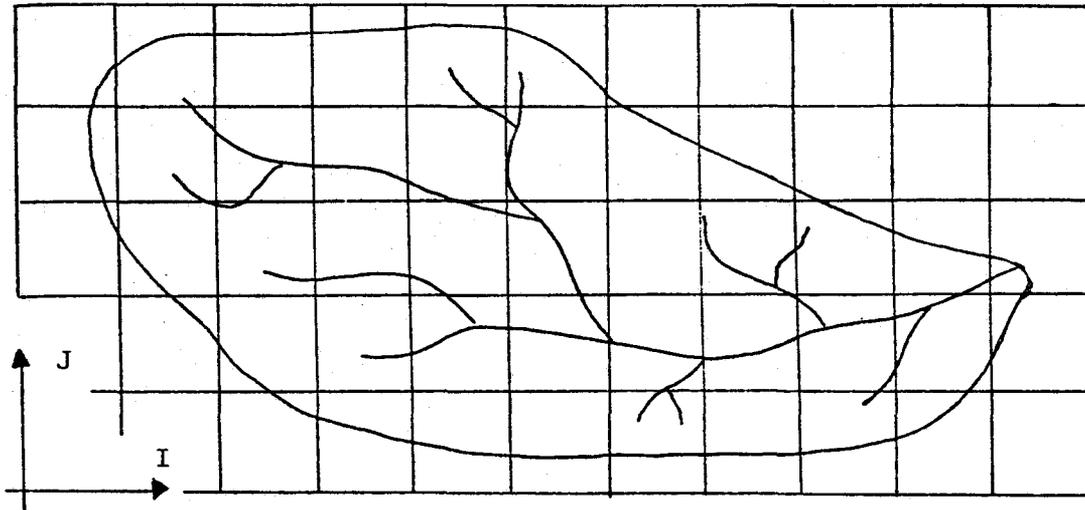


FIGURE 2.1 Création des "carreaux entiers" par superposition d'une grille sur la région étudiée.

Pour chaque "carreau entier", on évalue toutes les caractéristiques physiographiques nécessaires au bon fonctionnement du modèle, (par exemple: l'altitude du carreau, sa pente moyenne, l'azimuth de cette pente, la surface boisée, la surface couverte de lacs, etc.).

Chaque carreau entier résultant du premier découpage est subdivisé en "carreaux partiels" par les lignes de partage des eaux des sous-bassins. Les seules caractéristiques physiques liées à ce carreau partiel sont la superficie et le sens de l'écoulement d'un carreau partiel à l'autre (figure 2.2).

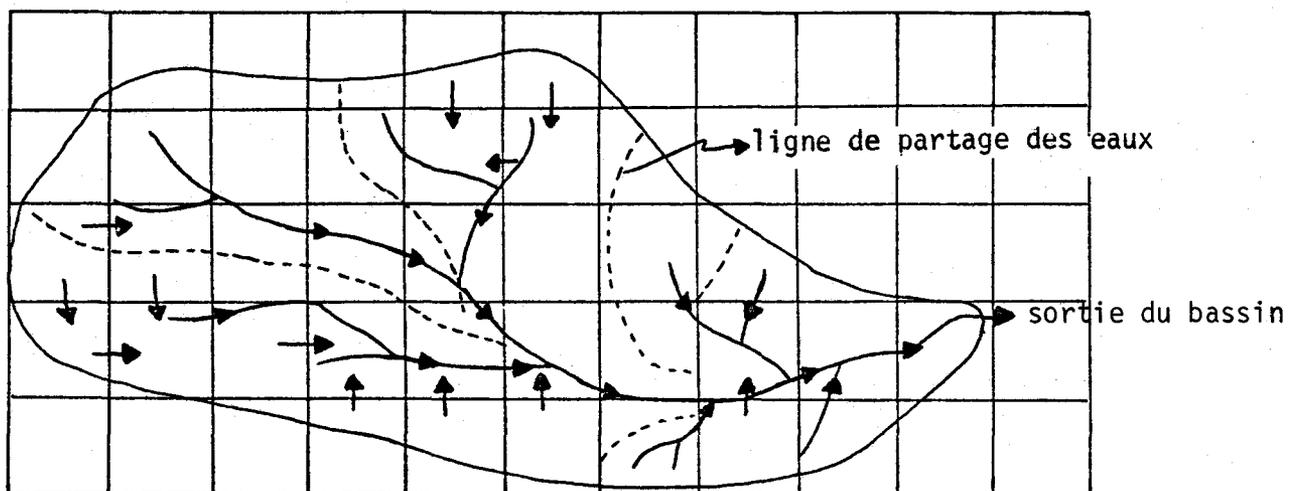


FIGURE 2.2 Subdivisions des carreaux entiers en "carreaux partiels" en fonction des sous-bassins.

Ces deux découpages permettent au modèle hydrophysiographique CEQUEAU de:

- suivre dans l'espace et dans le temps la formation et l'évolution des écoulements d'eau;
- introduire toute modification artificielle de l'écoulement dans les cours d'eau;
- fournir des débits en n'importe quel point du réseau de drainage.

Le modèle comporte deux parties principales visant à décrire le mieux possible l'écoulement de l'eau vers l'exutoire d'un bassin. La première concerne l'écoulement vertical de l'eau, en incluant les principaux phénomènes dont la précipitation (pluie et fonte de neige), l'évaporation, l'infiltration et le jeu des réserves superficielles et profondes. On désigne cette schématisation par le terme "fonction de production". La deuxième partie concerne le transfert de l'écoulement dans le réseau de drainage. Les processus hydrologiques compris dans cette étape tiennent compte de 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, les algorithmes de calcul sont liés aux caractéristiques physiographiques des bassins étudiés.

## 2.1 Fonction de production

Les 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 en disponibilité pour l'écoulement et en fonction des conditions antécédentes de réserve, cette eau sera soumise à divers processus physiques qui auront une influence directe sur la formation de l'onde d'écoulement. La figure 2.3 schématise un tel ensemble du processus qui est considéré comme la fonction de production.

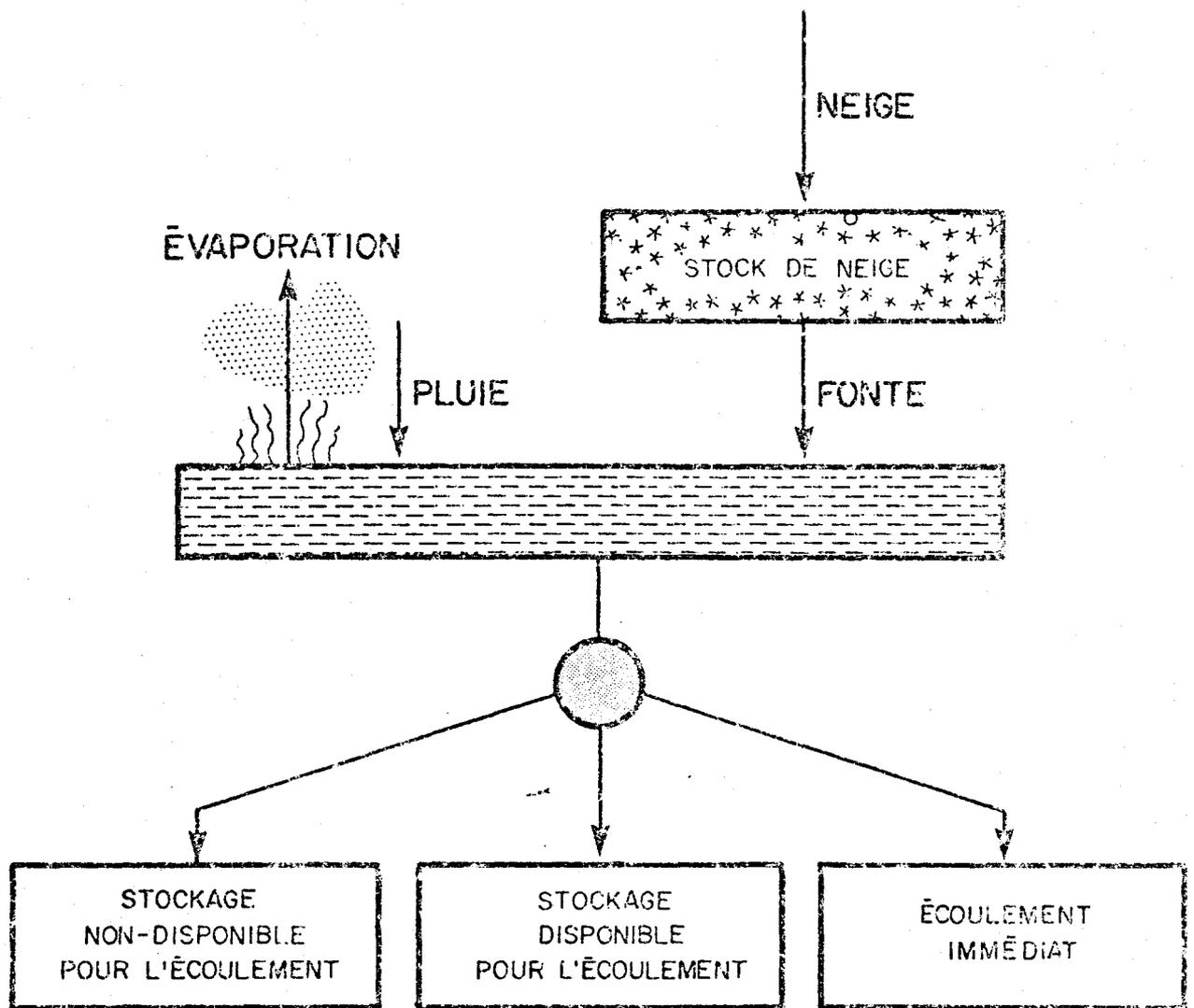


Figure 2.3 Schéma général de la "fonction production"

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 grandement facilité la schématisation de la fonction pour qu'elle réponde à tous les cas possibles et a permis l'évaluation expérimentale de ces lois (Girard, Morin et Charbonneau, 1972).

La fonction production utilise le carreau entier comme unité de surface. Chaque carreau, dont on connaît la physiographie moyenne, est considéré comme homogène et nous l'assimilons à un réservoir possédant des orifices tels que sous l'action des précipitations, de la température et de l'évaporation, l'écoulement issu de ce carreau soit comparable à l'écoulement issu d'un bassin isolé de mêmes caractéristiques.

Pour un intervalle de temps donné ( $t_1 - t_0$ ) et pour chaque carreau, nous devons calculer le bilan hydrologique schématisé à la figure 2.4 et formulé de la façon suivante:

$$\sum_{t_0}^{t_1} P_t = \sum_{t_0}^{t_1} ET_t + \sum_{t_0}^{t_1} Q_t + (HS_{t_1} - HS_{t_0}) + (HN_{t_1} - HN_{t_0})$$

où:

- P = précipitation (cm);
- ET = évapotranspiration (cm);
- Q = débit issu des zones superficielles ou profondes ( $m^3/sec$ );
- HS = lame d'eau stockée dans le sol et soumise aux échanges avec l'atmosphère (cm);
- HN = lame d'eau stockée dans la nappe profonde (cm).

Cette équation de bilan ne tient pas compte explicitement de l'infiltration vers la nappe profonde; cependant, la figure 2.4 illustre cet aspect du problème.

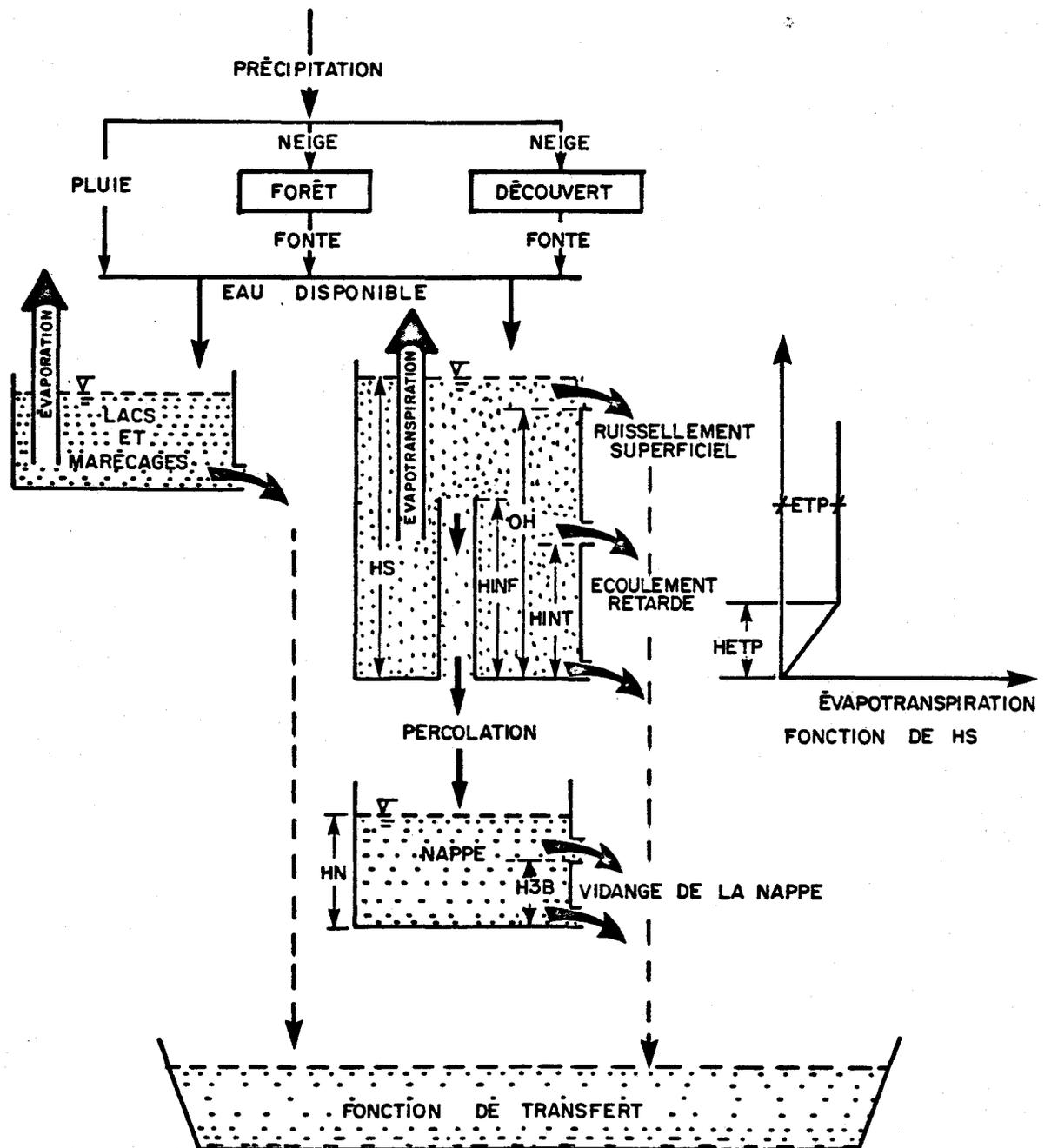


Figure 2.4 Schéma de production

### 2.1.1 Précipitations et températures

Ces deux données météorologiques sont disponibles en quelques points sur le bassin versant. On doit donc évaluer à partir de ces points (stations) la température et la précipitation sur chaque carreau.

Pour effectuer cette évaluation, on dispose au choix de deux méthodes. La première consiste en une adaptation de la méthode des polygones de Thiessen. Dans la seconde, l'estimation des variables météorologiques sur chacun des carreaux entiers résulte de la pondération en fonction de la distance des valeurs observées aux  $n$  ( $n = 2, 3 \dots$ ) stations météorologiques les plus rapprochées.

Dans les deux cas, l'affectation se fait de façon automatique. Enfin, aux valeurs ainsi obtenues, il y a lieu de faire une correction tenant compte des différences d'altitude entre la station (ou les stations) et l'altitude moyenne du carreau. Les corrections applicables à la température et aux précipitations sont obtenues par des méthodes différentes.

#### *Précipitations*

Etant donné la variabilité spatiale et temporelle des précipitations, il est impossible de déterminer de façon précise la hauteur des précipitations sur chaque carreau. Pour tenir compte de l'accroissement annuel moyen des précipitations avec l'altitude, nous appliquons des corrections systématiques aux valeurs des précipitations journalières. Cette correction est liée à la différence d'altitude entre le carreau concerné et la station à laquelle il est affecté. La valeur de cette correction doit être calculée à partir d'une étude régionale des postes pluviométriques disponibles.

### *Température de l'air*

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

- la nature solide ou liquide de la précipitation;
- l'évaporation;
- la fonte.

La détermination de la valeur de la température sur chacun des carreaux est précédée du calcul du gradient vertical de température pour chaque jour de simulation. Ce gradient est établi par la méthode des moindres carrés appliquée aux données d'altitude et de températures journalières des stations météorologiques utilisées.

Connaissant, d'une part, l'équation décrivant la variation de la température en fonction de l'altitude et, d'autre part, l'altitude de chacun des carreaux, on en déduit la température moyenne du carreau.

#### 2.1.2 Fonte des neiges

Le sous-modèle de fonte mentionné à la figure 2.2 repose sur une méthode de degrés-jours tenant compte de l'influence:

- de la présence ou de l'absence de forêt;
- de la répartition de la neige en fonction de l'altitude des carreaux et de la localisation des stations météorologiques;
- du déficit calorifique du stock de neige;
- du mûrissement du stock;
- du pourcentage d'heures d'ensoleillement;
- des précipitations liquides;
- de la variabilité spatiale de la température.

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 égale à la lame d'eau de fonte potentielle. 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.

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

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; ensuite, le mûrissement du stock, qui se traduit par une augmentation graduelle de sa densité.

La température moyenne du stock de neige au jour (j) est déterminée à partir de la température moyenne de l'air et de la température du stock le jour précédent.

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

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. 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. Sinon, l'eau gèlera dans le stock et l'équivalent-eau sera augmenté de l'eau de pluie.

Notons que l'eau libérée au jour (j) par la fonte du stock de neige est introduite dans le schéma de production au même titre que la précipitation liquide en été. Cette eau de fonte pourra donc servir à combler le déficit en eau des zones superficielles du sol et de la nappe souterraine.

### 2.1.3 Evapotranspiration

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

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

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

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

où:

ETP = évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite (pouce);

T = température moyenne de la journée considérée (<sup>o</sup>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 est calculée par l'équation:

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

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 pondérée en fonction du stock d'eau disponible dans le réservoir-sol.

#### 2.1.4 Vidange du réservoir-sol

Lorsqu'en raison d'un apport d'eau suffisant provenant de la pluie ou de la fonte de neige, le niveau du réservoir supérieur (sol) a dépassé le premier seuil de rétention (HINT), une partie de l'excédent d'eau devient disponible pour le ruissellement retardé (figure 2.4); ensuite, lorsque le niveau atteint le second seuil (OH), l'excédent est disponible pour le ruissellement superficiel.

#### 2.1.5 Vidange et recharge de la nappe profonde

La vidange de la nappe profonde dépend de la hauteur du stock d'eau disponible dans le réservoir inférieur. Les coefficients de vidange sont évalués à partir de l'observation du tarissement.

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

La recharge de la nappe s'effectue par percolation du réservoir supérieur au réservoir "nappe" et est calculée à l'aide de la relation suivante:

$$I = XINF \times (HS - HINF)$$

où:

XINF = coefficient d'infiltration;

HINF = seuil d'infiltration;

HS = niveau du réservoir-sol.

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

### 2.1.6 Vidange des lacs

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

$$HL = P - E$$

où:

HL = la hauteur de la retenue;  
P = la pluie;  
E = l'évaporation potentielle.

L'équation de vidange des lacs s'écrit de la façon suivante:

$$V = (HL - HSEUIL) \times COEMA$$

où:

V = vidange du lac;  
HSEUIL = niveau en dessous duquel il n'y a pas de vidange;  
COEMA = coefficient de vidange des lacs.

### 2.2 Fonction de transfert

La fonction de transfert est le processus qui permet de déplacer le volume d'écoulement d'un carreau partiel amont vers un carreau partiel aval.

Pour un carreau partiel donné, ce volume d'écoulement est constitué de l'eau provenant des carreaux partiels amont (transfert amont) qui s'ajoute au stock d'eau initial et aux apports propres au carreau partiel (production).

De l'aval vers l'amont, le même processus de transfert est appliqué à chaque carreau partiel pour réaliser le bilan en eau dans l'espace et dans le temps.

### 2.2.1 Coefficient de transfert

Le coefficient de transfert d'un carreau partiel à l'autre varie selon les caractéristiques mêmes du carreau.

Pour un carreau partiel dans lequel la portion du réseau ne comporte aucun réservoir de stockage (lac et marais) autre que celui défini par le lit naturel de la rivière, le coefficient de transfert dans ces conditions sera voisin de l'unité et constant si l'on admet l'hypothèse d'isochronisme.

Supposons maintenant qu'il y ait un grand lac dans le réseau de ce carreau. Il se produit alors un stockage important lors d'une crue et d'est alors que le coefficient de transfert prend toute son importance.

Nous postulons actuellement que la forme de variation du coefficient de transfert est la suivante:

$$XKT_i = a \left( 1 - e^{-b \left( \frac{SBV_i}{SL_i} \right)} \right)$$

où:

$SBV_i$  = surface amont du bassin dont l'exutoire est le carreau partiel (i);

$SL_i$  = surface des lacs du carreau, y compris celle du réseau hydrographique de transfert;

a et b = paramètres d'ajustement.

Si un lac recouvre plus d'un carreau, on alloue la surface totale du lac au carreau contenant l'exutoire. Cette technique consiste à concentrer la superficie d'un grand lac sur le carreau partiel le plus en aval de ce lac. Ceci a pour effet d'accélérer le transfert sur les carreaux amputés et de le ralentir sur le carreau le plus en aval du lac.

CHAPITRE -3-

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN  
VERSANT DE LA RIVIERE EATON

### 3.1 Présentation du bassin versant

La rivière Eaton est un tributaire de la rivière Saint-François qui se déverse dans le Saint-Laurent, près de Sorel. Le bassin versant de la rivière Eaton dont la superficie est évaluée à 643 km<sup>2</sup> (250 mi.<sup>2</sup>) s'étend approximativement entre les longitudes ouest 71°15' et 71°42' et les latitudes nord 45°12' et 45°27' et occupe une bonne partie du comté de Compton, dans la région des Cantons de l'Est. Ce bassin est bordé au nord-est par le bassin de la rivière aux Saumons et au sud-ouest par celui de la rivière Ascot. La rivière Eaton coule vers le nord-ouest sur une longueur de 45 km (27 milles). L'altitude du bassin qui atteint 705 mètres (2325 pieds) à la frontière américaine s'abaisse jusqu'à 186 mètres (615 pieds) à son confluent avec la rivière Saint-François, à East-Angus. Les principaux tributaires de la rivière Eaton sont les rivières Eaton-Nord et Clifton.

### 3.2 Topographie

Le bassin de la rivière Eaton appartient à la région physiographique des Appalaches et présente un relief assez accentué. L'altitude maximale est de 705 mètres et l'altitude minimale de 186 mètres au-dessus du niveau de la mer, ce qui représente une dénivellation de 518 mètres.

A l'examen de la carte topographique, on constate que la partie en aval du bassin versant présente une pente relativement faible, offrant ainsi l'aspect d'une plaine.

Les principales caractéristiques topographiques du bassin ont été étudiées par Cartier et Leclerc (1964) et par Tremblay (1976) et le sommaire de ces caractéristiques est exposé au tableau 3.1. On constate que l'altitude moyenne du sous-bassin de la Eaton-Nord (451 mètres) est supérieure à celle des sous-bassins de la Eaton supérieure (442 mètres) et de la Clifton (430 mètres). Quant à la pente, elle est plus faible dans le bassin de la Eaton-Nord (14 m/km) que dans ceux de la Eaton supérieure et de la Clifton (16 m/km). La figure 3.1 illustre les caractéristiques topographiques du bassin alors que sur la figure 3.2 apparaissent les courbes hypsométriques des bassins versants de la Eaton et de ses affluents.

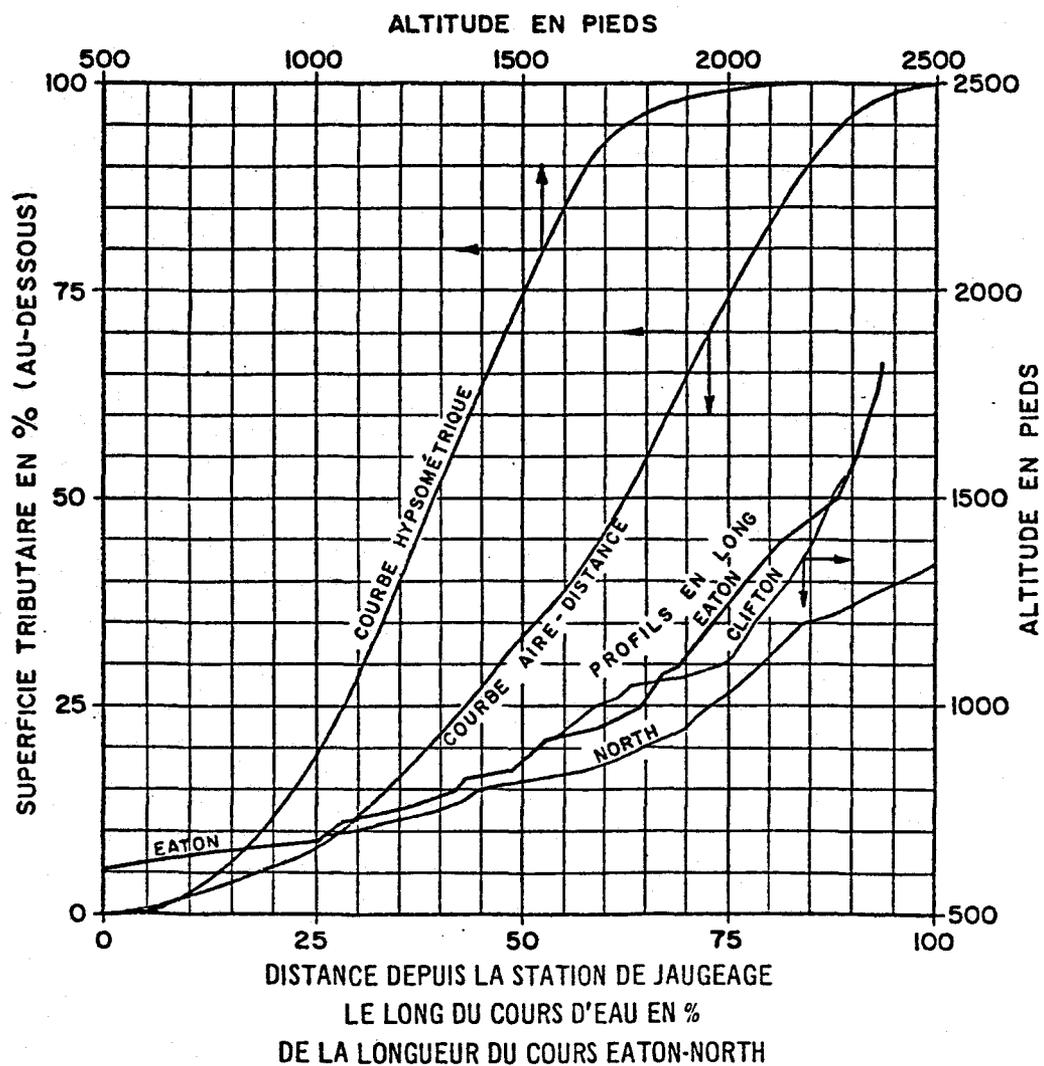
TABLEAU 3.1

BASSIN DE LA EATONSOMMAIRE DES CARACTERISTIQUES TOPOGRAPHIQUES

Bassin versant	Aire (km <sup>2</sup> )	Pente du bassin (m/km)	Altitude moyenne (m)	Couvert forestier (%)	Longueur du cours d'eau (km)	Pente du cours d'eau (m/km)
Eaton supérieure à la station 030238	86	15.9	442	69	19.3	10.5
Eaton supérieure et la Clifton à la station 030242	192	15.9	430	67	23.2	10.1
Eaton Nord à la station 030239	267	14.0	451	87	30.3	6.7
Eaton totale à la station 030234	642	13.1	402	74	48.3	8.3

Source: Tremblay (1976) et Cartier, Leclerc (1964).

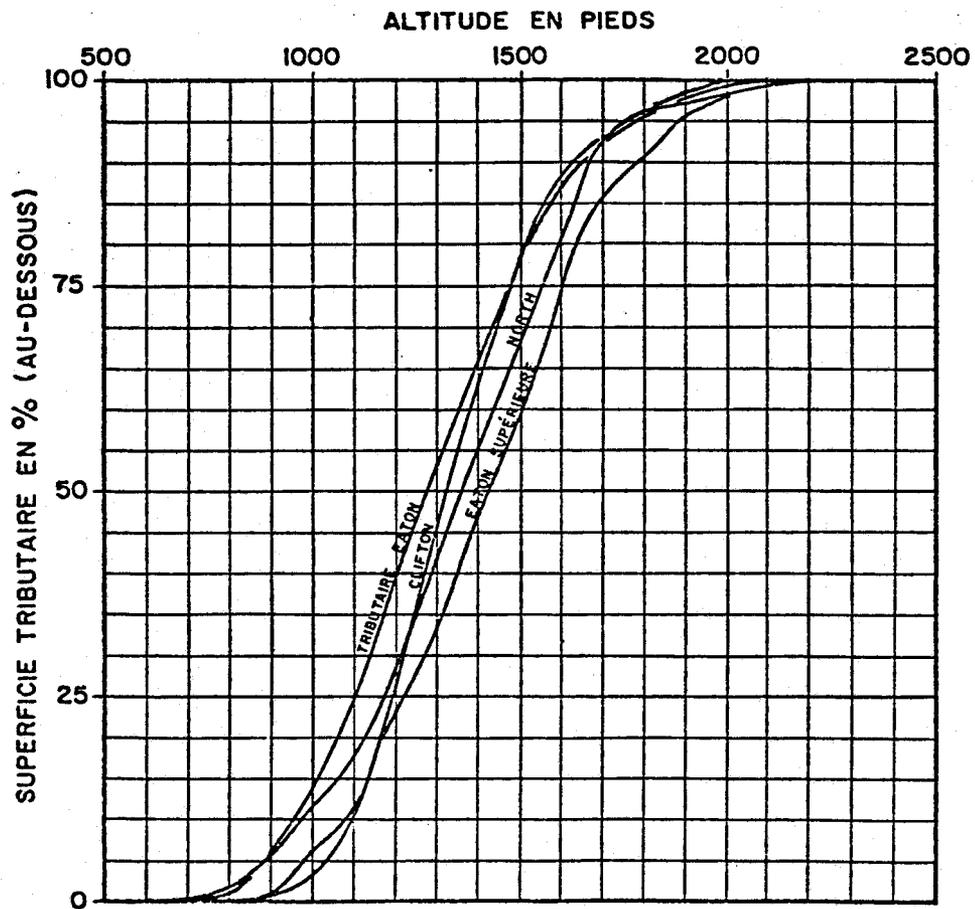
# CARACTÉRISTIQUES TOPOGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT DE L'EATON



Tiré de Cartier et Leclerc (1964)

FIGURE 3.1

# COURBES HYPSONOMÉTRIQUES DES BASSINS VERSANTS DE L'EATON ET DE SES AFFLUENTS



Tiré de Cartier et Leclerc (1964)

FIGURE 3.2

### 3.3 Géologie

#### 3.3.1 Incidence de la géologie sur l'écoulement

Selon Saint-Martin (1967), l'étude des facteurs géologiques qui conditionnent l'écoulement comprend deux aspects principaux: la lithologie (i.e. les propriétés physico-chimiques des roches) et la structure des formations géologiques (consolidées et meubles). Le premier aspect influence plus particulièrement le stockage et la restitution des eaux souterraines au cours d'eau tandis que le deuxième agit sur le ruissellement de surface et la capacité d'infiltration des sols.

La lithologie et la structure des formations consolidées ont d'abord influencé le patron et la densité du réseau hydrographique par la résistance différentielle des roches à l'érosion et par l'exploitation des axes de faiblesse par les cours d'eau (Dubois, 1973).

Les zones de roches perméables et surtout les zones de discontinuités telles que failles, fractures, joints, litages et de broyages sont importantes à localiser parce qu'elles offrent un terrain idéal aux mouvements des eaux souterraines et au stockage de ces eaux.

De façon plus locale, la schistosité a un rôle à jouer au niveau des mouvements plus lents des eaux. Il est à noter que la schistosité est presque à  $90^{\circ}$  sur la majorité des formations de l'est des Cantons de l'Est (Dubois, 1973).

Dans les roches consolidées, le stockage des eaux et leur

infiltration sont surtout influencées par la structure, dans les Cantons de l'Est. Au niveau, des dépôts meubles, cependant, c'est la perméabilité des formations qui prime ainsi que la position des dites formations. Selon Saint-Martin (1967) la perméabilité des formations meubles est "une mesure de la facilité avec laquelle l'eau circule à travers l'aquifère. Elle dépend de la porosité, de la forme et de la distribution des grains ainsi que du degré de compaction du terrain. De façon générale, la perméabilité croît de l'argile au gravier, bien que dans une même formation baptisée silt, sable ou gravier, le coefficient varie beaucoup entre les extrêmes, suivant le degré de tassement et l'irrégularité de la taille des grains".

Dans les Cantons de l'Est, les seuls bons aquifères se situeraient donc dans les dépôts fluvio-glaciaires ou lacustro-glaciaires des versants de vallée ou de fond de vallée puisque les interfluves sont plaqués de moraine de fond (till) qui possède une capacité de rétention très faible. Les meilleurs aquifères se situent donc dans des formations fluvio-glaciaires et lacustro-glaciaires en position particulière, c'est-à-dire dans des anciennes vallées pré-glaciaires remblayées.

Dans le cas du bassin de la rivière Eaton, on estime que de 30 à 40% de la lame d'eau précipitée est infiltrée. Nous allons constater que les deux principaux facteurs expliquant la circulation et le stockage des eaux dans ce bassin sont:

- la fracturation de la roche en place;
- la présence d'une vallée pré-glaciaire.

(Dubois, 1973)

### 3.2.206 Géologie des roches consolidées

Le bassin de la rivière Eaton appartient à la province géologique des Appalaches qui est constituée de roches sédimentaires. Les roches sont fortement plissées et fissurées ce qui favorise la circulation de l'eau à l'intérieur des formations et explique le relief relativement accentué de la région.

Selon McDonald (1969), le bassin contient des schistes ardoisiers, des calcaires et des grauwackes du groupe Saint-François, datant du Dévonien inférieur. Les formations rocheuses sont orientées vers le nord-est alors que les rivières s'écoulent en direction nord-ouest, c'est-à-dire à travers la direction des couches rocheuses.

La roche en place est presque entièrement recouverte d'une couche de moraine de fond quasi-imperméable; toutefois celle-ci s'amincit considérablement sur les sommets des interfluves de sorte qu'il ne reste que des placages discontinus entre lesquels l'eau s'infiltré. Cette infiltration est favorisée par la schistosité des formations rocheuses qui est quasi verticale, soit de 90° environ (Dubois, 1973).

Simard (1970) affirme qu' "aucune des formations géologiques de la région n'ayant la perméabilité intrinsèque voulue pour permettre à l'eau d'y circuler, l'écoulement s'effectue à travers des fissures et des fractures. Cette caractéristique rend la roche très perméable. Il est à noter que le degré de fissuration semble plus intense sur les hauts plateaux que dans les vallées".

### 3.3.3 Géologie des dépôts meubles

Selon Simard (1970) la géologie des dépôts meubles est fort complexe puisque cette partie des Cantons de l'Est a été soumise à au moins trois avancées glaciaires mises en évidence par la présence de trois tills et de trois séquences de dépôts interglaciaires.

#### 3.3.1 Distribution des dépôts meubles

L'étude de McDonald (1969) donne de précieux renseignements sur la géologie des dépôts meubles du bassin. La distribution des dépôts de surface est représentée à la figure 3.3. On constate que les dépôts d'origine glaciaire recouvrent une grande partie du bassin. Ces dépôts sont généralement assez épais dans les vallées alors que sur les interfluves; ils sont très minces. Même si par endroit, la rivière coule sur la roche de fond, notamment près de son embouchure (figure 3.3), une épaisseur de plus de 61 mètres de dépôts glaciaires a été déjà mesurée, le long de la rivière Eaton, en aval de son confluent avec la Eaton-Nord. Dans cette section, la faible pente du cours inférieur de la Eaton a permis le développement d'une large plaine d'alluvions récentes.

On présente ici, à partir de l'étude de McDonald (1969), une description de chacun des principaux types de dépôts meubles rencontrés sur le bassin:

#### a) Le till de surface

A l'examen de la figure 3.3, on constate que le till glaciaire est très répandu à la surface du bassin. Les

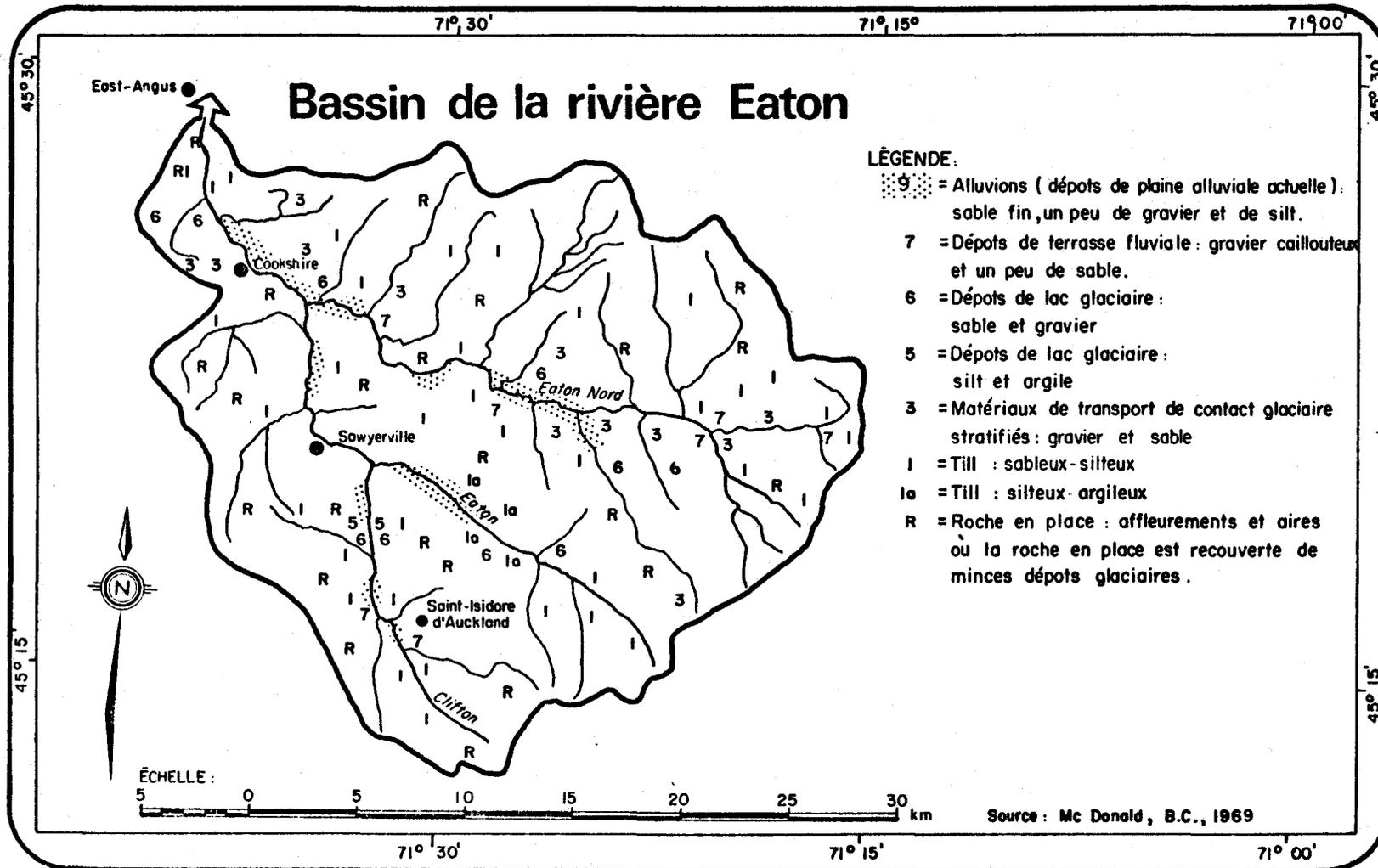


Figure 3.3 . Dépôts meubles .

aires désignées sur la figure 3.3 comme "roche en place" sont en réalité des aires où la roche en place est recouverte d'une mince couche de till dont l'épaisseur est inférieure à 2 mètres. Dans ces aires, on rencontre toutefois de nombreux affleurements de roche-mère. L'épaisseur de la couverture de till est généralement plus grande dans les vallées que sur les interfluves. La section exposée où le till de surface présente la plus grande épaisseur soit 23 mètres, est située sur la Eaton-Nord, près de l'embouchure des ruisseaux West-Ditton et Christmas (figure 3.4, section 4).

Dans la vallée du ruisseau Lyon (figure 3.4, sections 1 et 2), McDonald a prélevé des échantillons représentatifs de till de surface typique contenant des galets dont le volume est estimé à 5% de celui du till. Les blocs erratiques sont également associés au till. Des blocs pouvant atteindre 0.6 mètres de diamètre se rencontrent assez fréquemment dans les tills de surface. Plusieurs de ces blocs erratiques proviennent de l'anticlinal des Montagnes Vertes (Monts Stoke) situées au nord-ouest de la rivière Saint-François. Notons que le pourcentage de blocs erratiques dans le till décroît vers le sud-est: de 35 à 50% dans les environs de East-Angus, il atteint moins de 15% près de la frontière américaine.

Le till de surface offre généralement une texture sablo-silteuse; comme il dérive d'une roche de fond calcaire, il est gris et calcaireux lorsqu'il est frais et de couleur chamois lorsqu'il est lessivé et oxydé. Un autre faciès de till, désigné sous le nom de "till silteux argileux" apparaît le long du cours principal de la Eaton (figure 3.3, unité 1a).

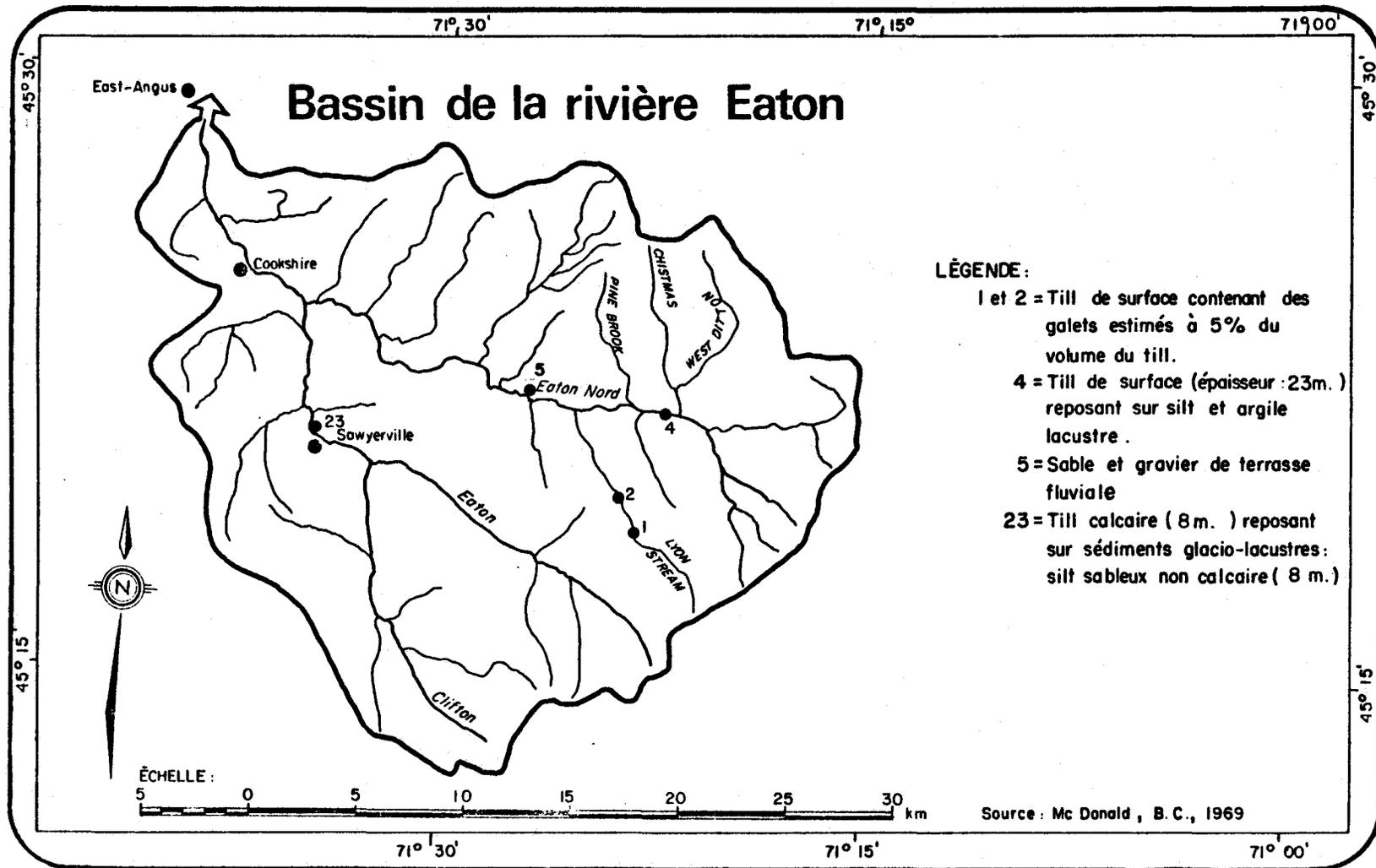


Figure 3.4 . Nature des dépôts meubles dans quelques sections exposées sur les berges .

*b) Les matériaux de transport de contact glaciaire stratifiés*

On retrouve ces dépôts dans des zones de front glaciaire. La plus importante de ces zones est la moraine d'interlobe des monts Stoke située dans la partie nord-ouest du bassin à l'ouest de Cookshire (figure 3.4). Il s'agit d'une crête de contact glaciaire constituée de gravier et de sable d'une épaisseur de 61 mètres, d'une largeur moyenne de 1.6 km et d'une longueur de 18 km.

*c) Les sédiments glacio-lacustres*

Des lacs pro-glaciaires sont formés aussi de l'est du front glaciaire lors de son retrait. Les sédiments de ces lacs pro-glaciaires sont distribués sur le bassin de façon éparpillée. Ils sont généralement appuyés contre les moraines et se présentent sous deux faciès:

- faciès de sable et gravier: de grandes surfaces sont recouvertes de sables et graviers glacio-lacustres à l'ouest de Cookshire (voir figure 3.3). A l'exception des aires deltaïques, la couverture sableuse a en moyenne moins de 3 mètres d'épaisseur.
- faciès de silt et argile: ce faciès n'est pas très répandu à la surface du bassin.

Des sédiments glacio-lacustres placés stratigraphiquement sous le till de surface sont souvent exposés le long des berges des rivières. Ces sédiments lacustres stratifiés correspondent aux périodes inter-glaciaires et séparent les unités de till. Ils sont constitués de sable, de silt et d'argile.

A quelques kilomètres en aval de Sawyerville, le long des berges de la rivière Eaton (figure 3.4, section 323), on peut voir des sédiments glacio-lacustres consistant en une formation de 8,6 mètres de silt sableux non-calcaire sous-jacente à une formation de 7,6 mètres de till calcaire.

*d) Les dépôts de terrasse fluviale*

Ces dépôts consistent en gravier caillouteux avec un peu de sable. On les retrouve sous les terrasses bordant les vallées fluviales actuelles. Ces terrasses peuvent avoir une hauteur allant jusqu'à 48 mètres au-dessus de la rivière actuelle, (ex.: la section 5 située entre New Mexico et le ruisseau Lyon indiquée à la figure 3.4). Ces sédiments sont habituellement stratifiés et ont été déposés par des cours d'eau coulant dans la même direction que ceux qui occupent actuellement les vallées. Les dépôts de terrasse ne sont pas très répandus. On les rencontre généralement à un niveau inférieur à 15 mètres du niveau du cours d'eau actuel. Des graviers de terrasse fluviale d'une épaisseur aussi grande que 9 mètres ont déjà été mesurés.

*e) Les alluvions récentes (ou dépôts de plaine alluviale actuelle)*

Elles sont présentes dans toutes les vallées mais sont plus importantes le long des rivières principales. Ces dépôts sont constitués de sable fin, d'un peu de

gravier et de silt et renferment ordinairement des matières organiques. De nombreuses terrasses contiennent des alluvions récentes jusqu'à 3.6 mètres au-dessus du niveau du cours d'eau actuel. Les plaines alluviales sont larges et bien développées par endroits, notamment, le long de la Eaton-Nord et du cours inférieur de la Eaton. Leur largeur s'échelonne entre 0 et 1 km. Il est possible que les plaines alluviales soient plus larges là où les matériaux facilement érodés occupent des vallées qui existaient avant l'avancée glaciaire et que les plaines soient plus étroites là où les matériaux ont été superposés après la glaciation, sur des matériaux plus résistants qui n'étaient peut-être pas dans les anciennes vallées. Ainsi, la distribution des alluvions récentes pourrait servir d'indice dans la recherche d'anciennes vallées enfouies.

#### Perméabilité des dépôts meubles

Les dépôts qui présentent la plus grande perméabilité et par conséquent un potentiel aquifère plus grand sont les dépôts silteux-sableux à sableux et les dépôts sableux accompagnés de graviers et galets. Les dépôts à texture plus fine, tels que les dépôts silteux et argileux, ont une plus faible perméabilité.

Dans le bassin de la rivière Eaton, les dépôts considérés comme perméables sont les suivants:

- les dépôts de lac glaciaire (unité 6, figure 3.3);
- les dépôts de terrasse fluviale (unité 7, figure 3.3).
- les matériaux de transport de contact (unité 3, figure 3.3);

- les alluvions récentes (unité 9, figure 3.3).

Toutefois, la perméabilité des unités 7 et 9 peut être localement réduite à cause du silt pouvant être mélangé et interstratifié au sable et au gravier. Les aires morainiques qui présentent des dépôts étendus et épais de sables lacustres (unité 3) et de sables et graviers de contact glaciaire (unité 3) offrent une plus grande perméabilité et un plus grand potentiel aquifère. De plus, les zones de dépôts de front glaciaire ont un potentiel en eau souterraine plus élevé non seulement à cause de la présence de sédiments perméables localement très étendus en surface, mais aussi parce que ce sont des aires où généralement une réavancée glaciaire mineure a déposé du till sur les sables et graviers pro-glaciaires déjà existants. Ces sédiments enterrés sous le till peuvent constituer de bons aquifères.

Le tableau 3.2, tiré de l'étude de Tremblay (1976), donne la distribution quantitative de la superficie des divers types de dépôts meubles pour les sous-bassins de la rivière Eaton. On constate que le sous-bassin de la Eaton supérieure (i.e. la Eaton en amont de son confluent avec la Clifton et le sous-bassin de la Clifton) comptent les plus grands pourcentages d'affleurements rocheux ou d'aires où la roche en place n'est recouverte que de minces dépôts glaciaires (soit plus de 50% du bassin). Par ailleurs, le sous-bassin de la Eaton-Nord comporte le plus grand pourcentage de superficie recouverte de till ou de dépôts sableux limoneux qui sont des dépôts plutôt perméables.

TABLEAU 3.2. Distribution quantitative de la superficie des divers types de dépôts meubles pour les sous-bassins de la rivière Eaton.

Dépôts meubles	Eaton supérieure	Eaton sup. et Clifton	Eaton Nord	Eaton Total
Roche en place (%)	50.9	52.6	21.9	35.7
Till, dépôts sablo-limoneux	40.6	40.6	65.6	47.6
Till et gravier d'ablation (%)	—	—	2.0	1.0
Matériaux de transport de contact glaciaire stratifiés: gravier et sable (%)	4.4	2.0	4.9	4.7
Dépôts de lac glaciaire, silt et argile (%)	—	0.8	0.7	0.5
Dépôts de lac glaciaire, sable et gravier (%)	3.3	2.3	3.0	3.6
Dépôts de terrasse fluviale (%)	—	0.8	0.5	0.6
Dépôts de marais, f tourbe (%)	—	—	—	0.1
Alluvions (%)	0.9	1.0	1.3	1.5

Source: Tremblay, 1976

La caractéristique majeure du bassin est la présence d'une ancienne vallée pré-glaciaire sous-jacente à la vallée actuelle. Cette dernière caractéristique joue un rôle très important dans l'écoulement. Les anciens chenaux enfouis sous les vallées actuelles sont, en effet des sources possibles de réservoir d'eau souterraine.

Comme on l'a vu plus haut, les expositions dans les vallées de sédiments stratifiés sous le till de surface associées aux affleurements rocheux des interfluves laissent supposer que les cours d'eau modernes ont réoccupé des vallées qui dataient d'avant la dernière glaciation. G. Simard souligne que les glaciations successives ont considérablement dérangé le réseau hydrographique dans cette région. Il ajoute que "généralement les vallées pré-glaciaires sont situées sous les vallées actuelles. Là où la rivière est encaissée dans le roc, il s'agit d'un lit post-glaciaire,

indice certain de la présence de la vallée pré-glaciaire dans le voisinage". L'ancien lit de la Eaton se situe donc à moins d'un demi-kilomètre du lit actuel. Cet ancien lit renferme principalement des nappes captives dans les dépôts lacustro-glaciaires (inter-glaciaires) perméables (sable et gravier) situés entre des tills d'âge différent comme le montrent les figures de coupe de la rivière Eaton: "A.E.H.C." (figures 3.5 et 3.6) tirées de l'étude de Simard. De plus, une certaine capacité de stockage se situe presque en surface dans des nappes libres de dépôts de terrasses fluviales ou d'alluvions récentes.

### 3.3.3 Hydrogéologie de la rivière Clifton

L'hydrogéologie du sous-bassin de la rivière Clifton a été étudiée d'une façon plus intensive que celle des autres sous-bassins et plusieurs forages y ont été effectués.

Des coupes stratigraphiques de la vallée de la rivière Clifton tirées de l'étude McDonald sont représentées à la figure 3.7. Deux coupes (nos 10 et 11) révèlent la présence d'un second till. Simard suppose que ce till est présent partout dans la vallée et qu'il existe dans l'axe de la vallée pré-glaciaire des sables et des graviers sous-jacents à ce till. Le sondage 56 de la rivière Clifton (figure 3.6) recoupe une zone de sable et gravier sous-jacente au second till et se termine par un matériau très compact, sans doute un troisième till.

Toujours selon Simard, une faible partie des précipitations s'infiltré dans le sol de la vallée de la Clifton. Cette eau d'infiltration vient recharger les deux grandes formations

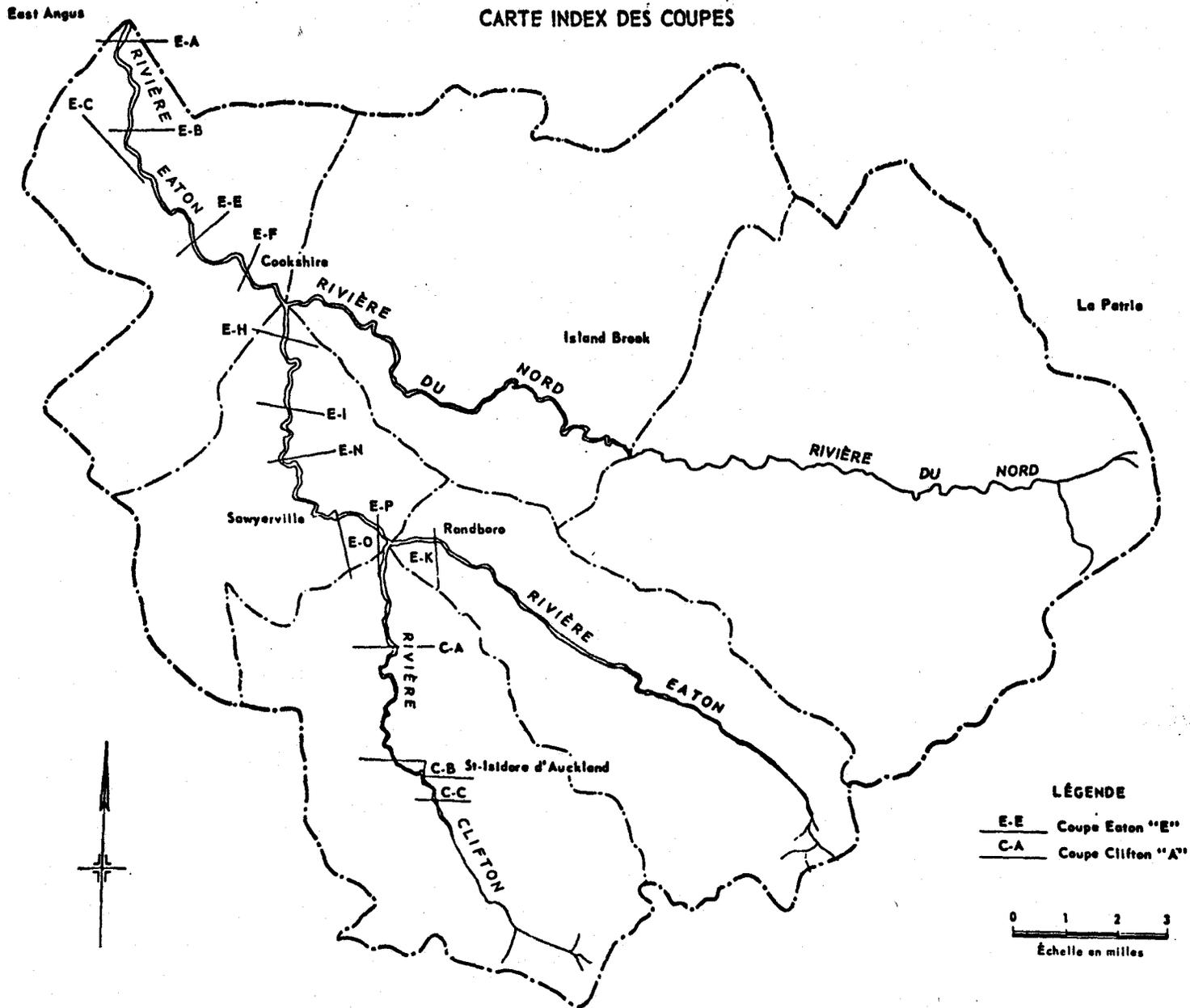


Figure 3.5

Tiré de: Simard, 1970.

M.R.N. 1969  
H-633

COUPES EATON "A", "E", "H", CLIFTON "C"

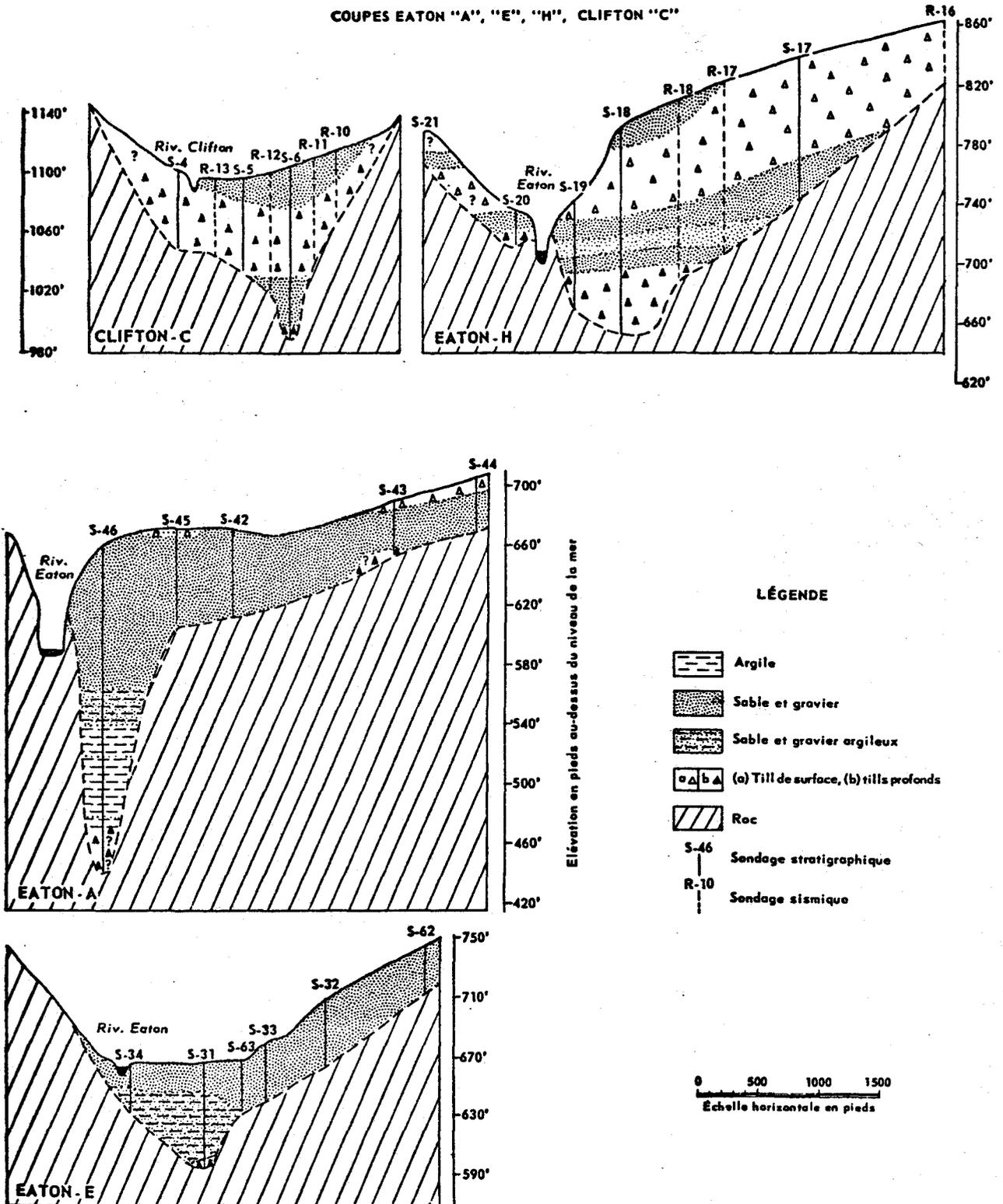


Figure 3.6 Tiré de Simard (1970)

M.R.N. 1969  
H-433

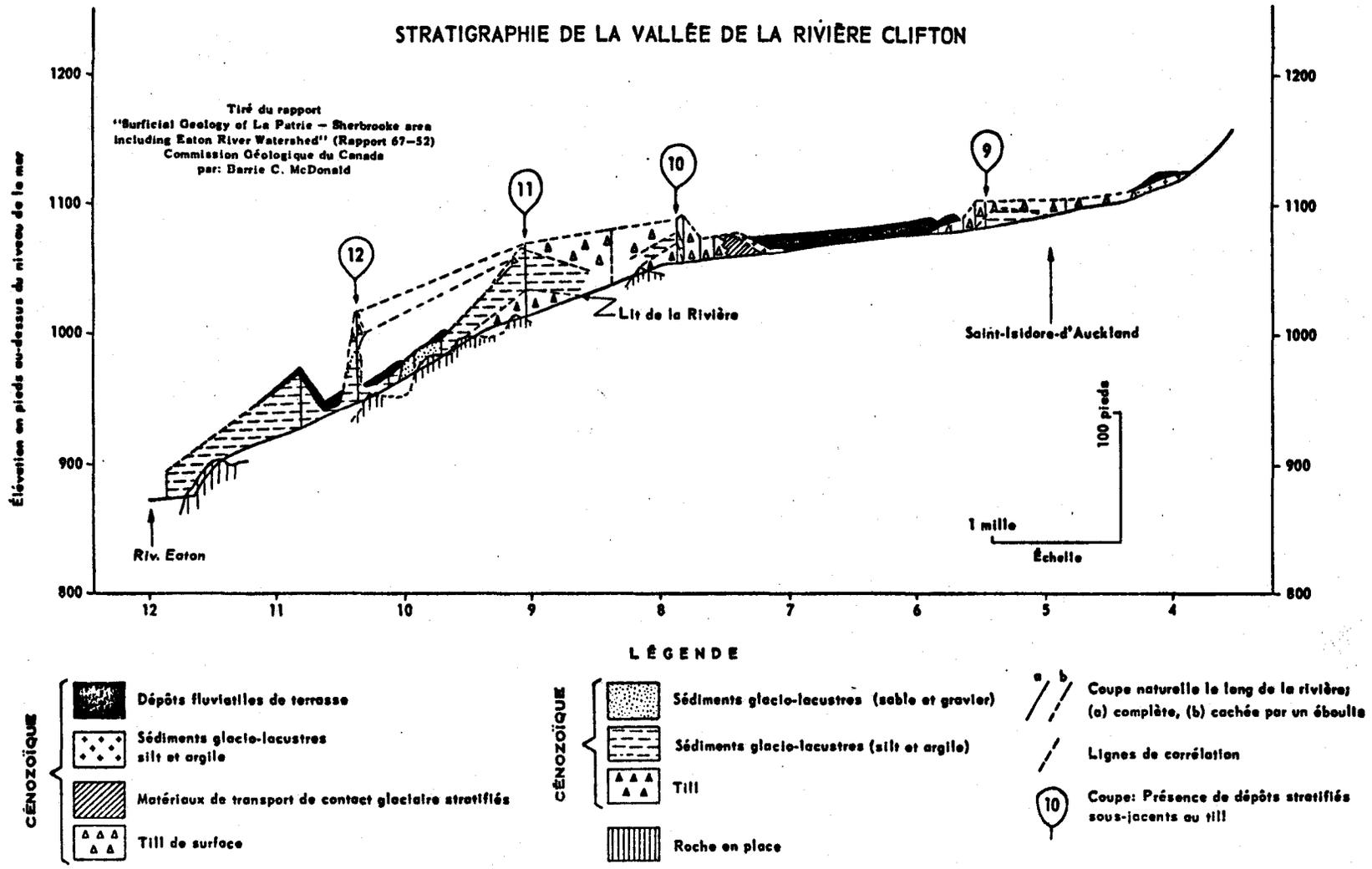


Figure 3.7

Tiré de Simard (1970)

aquifères de cette vallée, soit les alluvions qui constituent la nappe libre et les sables et graviers qui constituent la nappe captive (figure 3.8).

La nappe libre comprend des alluvions graveleuses sableuses plus ou moins perméables selon la teneur en silt et d'une épaisseur maximale de 9 mètres. La nappe captive contient des sables et graviers profonds contenant une nappe en forte charge.

Selon Simard, les sables et graviers semblent continus sous le till glaciaire partout dans cette vallée. Si cette nappe captive est continue, nous serions donc en présence d'un bassin non étanche, c'est-à-dire que l'eau dans cette nappe s'écoulerait de l'amont vers l'aval et sortirait en dehors du sous-bassin.

### 3.4 VÉGÉTATION 3.4 Végétation forestière

La couverture forestière du bassin est estimée à environ 70% de la superficie totale. Les aires défrichées sont généralement concentrées dans les vallées le long des cours d'eau principaux et correspondent en gros aux municipalités de Cookshire, Sawyerville, Newport (Island Brook), Saint-Isidore-d'Auckland et leurs environs. Le sous-bassin de la Eaton Nord possède un plus grand pourcentage de superficie boisée que les autres sous-bassins bien que pour l'instant nous ne puissions quantifier ce pourcentage. La végétation forestière climacique de la région est l'érablière à bouleau jaune.

Une étude détaillée et précise de la végétation forestière du bassin pourrait être réalisée à l'aide de Cartes de l'Inventaire forestier du ministère des Terres et Forêts. Ces cartes à

SOUS-BASSIN DE LA RIVIÈRE CLIFTON

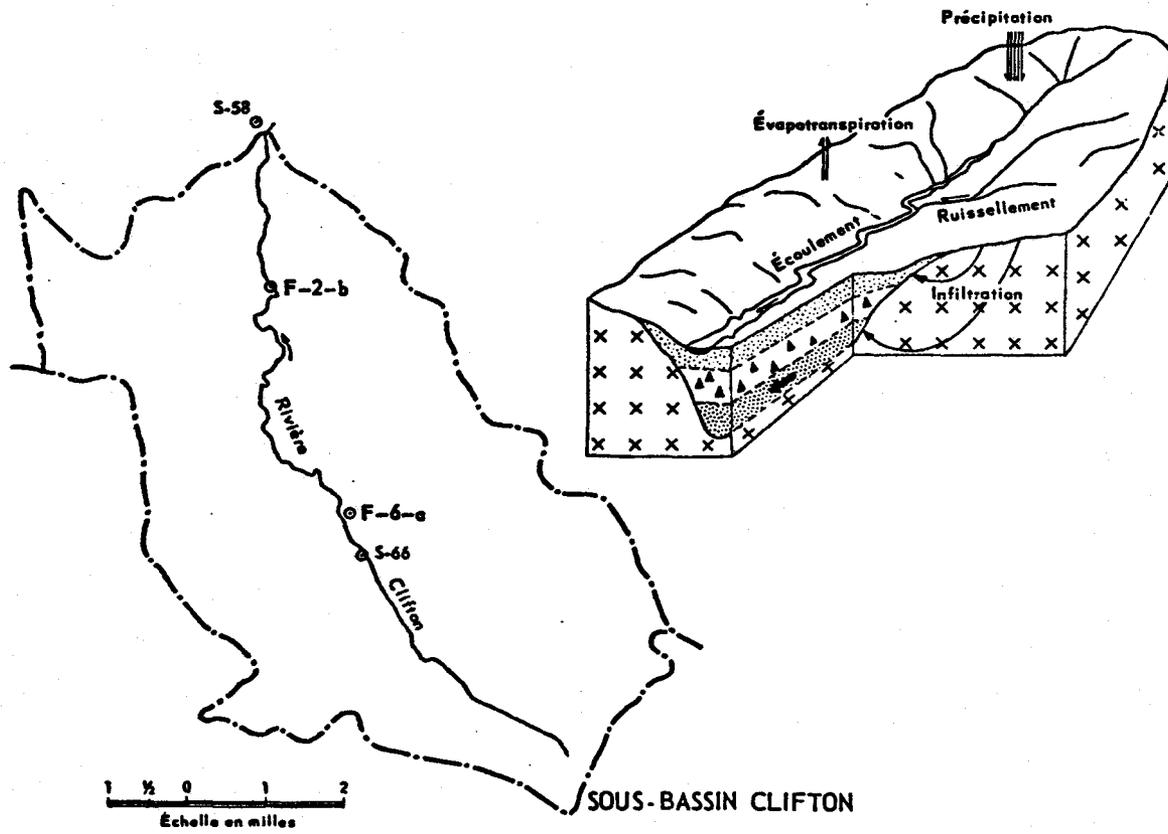
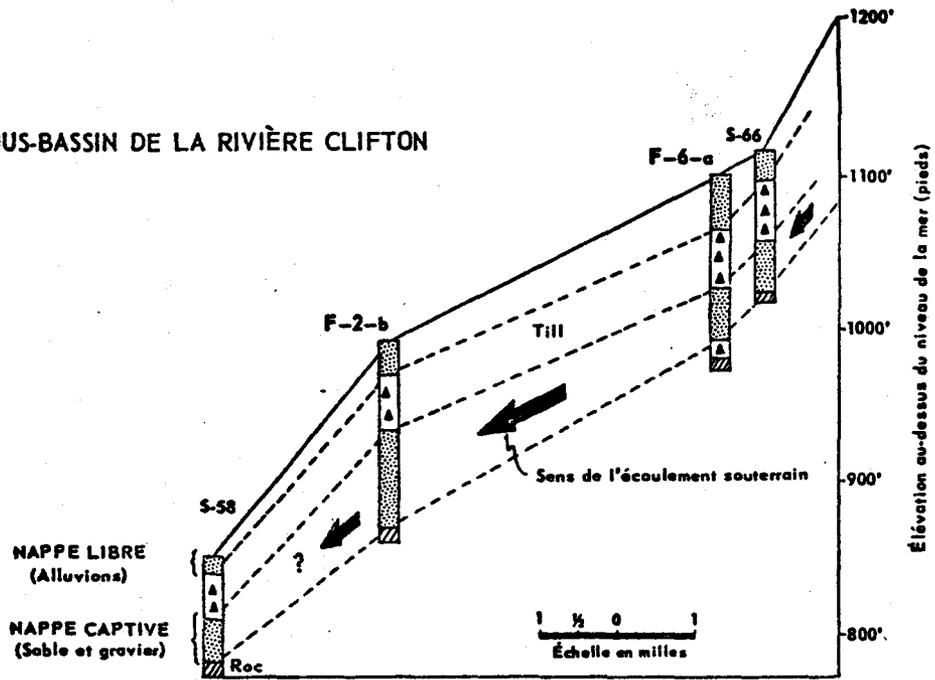


Figure 3.8

Tiré de Sfard (1970)

M.R.N. 1969  
N-633

l'échelle de 1:20,000 permettraient d'identifier les différents types de peuplements forestiers et d'évaluer (par planimétrie) la superficie couverte par chacun d'eux dans les sous-bassins de la rivière Eaton. Une telle étude s'avère essentielle car le couvert forestier exerce une influence sur le régime d'écoulement. Les pertes par évapotranspiration sont déterminées par la nature, la densité et l'importance du couvert forestier et celui-ci a des répercussions sur l'infiltration et la rétention surtout au niveau du sol.

CHAPITRE -4-

DONNEES POUR LE MODELE DE SIMULATION

Comme on l'a vu précédemment (chapitre 2), le modèle CEQUEAU utilise différentes données d'entrée pour évaluer les débits issus de chaque carreau. On peut séparer les données d'entrée du modèle en trois types :

- physiographiques;
- de drainage;
- météorologiques.

A ces trois types de données, il faut ajouter les données hydrométriques (débits) qui sont utilisées pour le contrôle du calage du modèle.

#### 4.1 Données physiographiques

Ces données sont utilisées pour évaluer les paramètres du modèle qui tiennent compte de la physiographie du bassin versant dans le calcul de l'écoulement et servent aussi au calcul des données météorologiques sur chaque carreau. Ces données qui varient dans l'espace et peuvent aussi être modifiées dans le temps sont définies sur chaque carreau de la grille recouvrant le bassin. C'est l'ensemble de ces données qui constitue la banque de données physiographiques.

Dans le cas du présent rapport, on a choisi une grille de 2 x 2 km, et les données physiographiques qui ont été utilisées sont les suivantes:

- pourcentage de forêts;
- pourcentage de lacs;
- élévation moyenne du carreau;
- pourcentage de marais.

m

Ces données ont été extraites des cartes topographiques à l'échelle de 1:50,000 sur laquelle on avait tracé la grille déterminant les carreaux.

#### 4.2 Données de drainage

Le modèle CEQUEAU simule le processus d'écoulement en rivière en transférant l'eau du carreau partiel amont vers le carreau partiel aval.

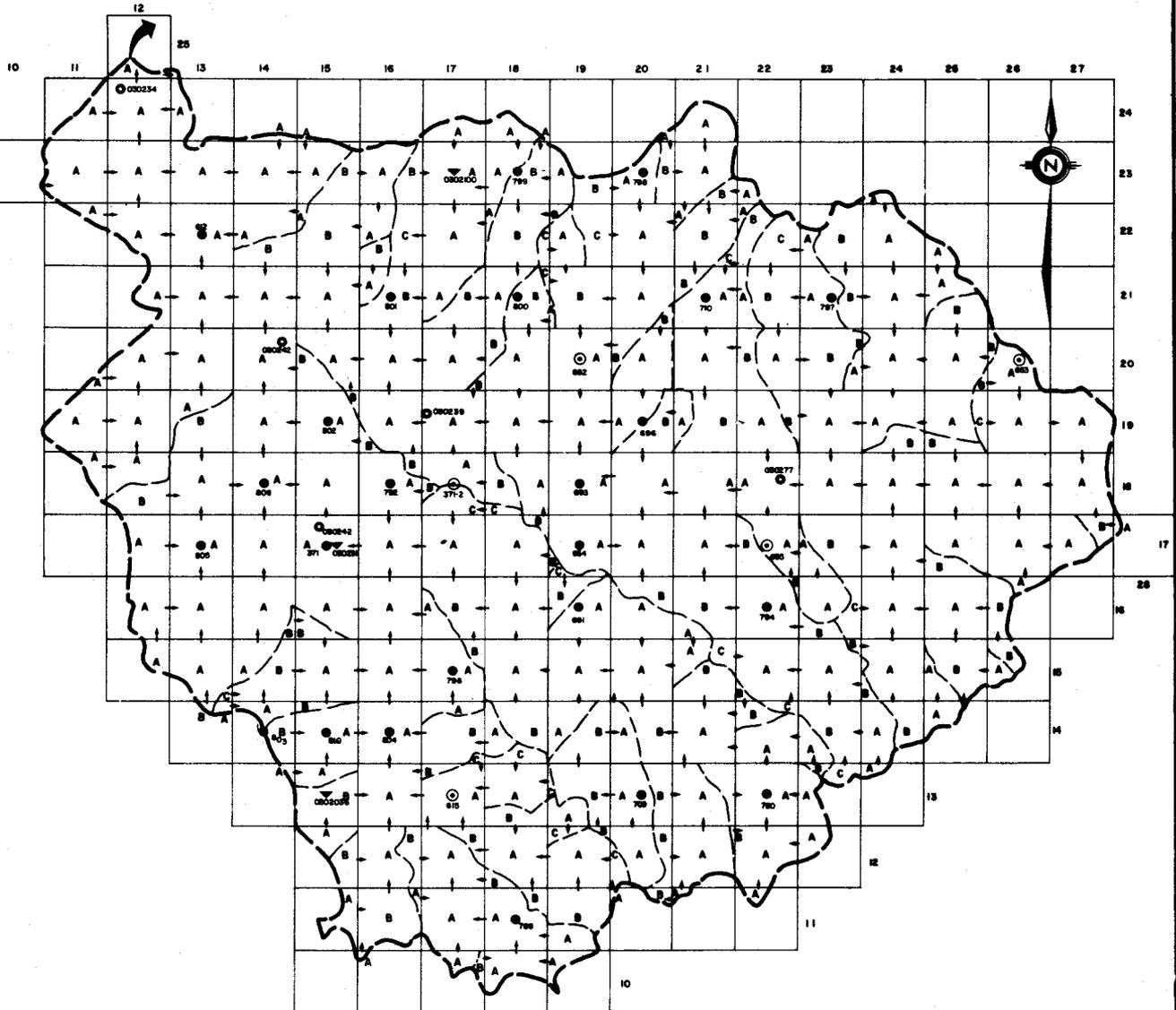
Un carreau partiel est le résultat de la subdivision d'un carreau entier en un maximum de quatre éléments définis par les lignes de partage des eaux. Cette subdivision permet de mieux tenir compte de l'influence de la topographie sur le sens de l'écoulement. Pour chaque carreau partiel, on conserve deux informations qui sont la superficie du carreau partiel et le numéro du carreau partiel dans lequel il se vidange.

Ce numéro indique donc le sens d'écoulement pour chaque carreau partiel. C'est l'ensemble de ces informations que l'on appelle la banque de drainage. La schématisation de l'écoulement apparaît à la figure 4.1.

#### 4.3 Données météorologiques

Le modèle est l'interface qui transforme la précipitation en débit; les données de précipitation constituent par conséquent l'entrée directe du modèle. Cette donnée varie journalièrement et c'est d'elle que dépend la modulation du débit.

Les 30 stations météorologiques du bassin versant de la rivière Eaton sont listées au tableau 4.1. Les traits pleins indiquent les périodes pour lesquelles



LEGENDE

- BENS DE L'ÉCOULEMENT
- ▲ COTE DU CARREAU
- STATION MÉTÉOROLOGIQUE
- ⊙ STATION MÉTÉOROLOGIQUE AVEC PLYVIOGRAPHE
- ▽ STATION NIVÉTRIQUE
- ⊙ STATION HYDROLOGIQUE

ÉCHELLE  
0 1000 2000 3000 4000 mètres

Figure 4.1

nous possédons les données sur bandes magnétiques de Malheur. Par conséquent, le reste des données n'existe que sur forme de manuscrits. Un travail imposant reste à faire au niveau de la perforation et de la validation des données perforées. Les présents essais de simulation utilisent les données à 25 stations (indiquées au tableau 4.1) pour les années 1973 à 1975 inclusivement. Parmi ces stations, on a détecté des anomalies qui peuvent expliquer certains problèmes lors des simulations. Comme la critique de ces données fait l'objet d'un rapport distinct, nous ne l'aborderons pas ici; toutefois, nous relèverons certaines de ces anomalies lors des discussions des résultats de la simulation.

Des 30 stations, neuf seulement recueillent des mesures de température en plus des mesures de précipitation.

#### 4.4 Données hydrométriques

Les données hydrométriques sont utilisées pour comparer les résultats obtenus par simulation aux valeurs observées pour une même période.

Cette comparaison permet d'ajuster les paramètres du modèle en se basant sur une courte période d'observation. Les données alors utilisées sont appelées données de calage.

Le calage 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.

Lorsque le calage est effectué et que l'on dispose de

TABLEAU 4.1 Stations météorologiques du bassin versant de la rivière Eaton

NUMERO FEDERAL	NOM	PRECIPITATION	TEMPERATURE	PERIODE																						RETENU POUR LA SIMULATION	
				52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73		74
702BCOE	Eaton	x																									x
702GGR7	Sawyer Brook	x																									x
702HACH	Sherman Brook North	x																									x
702HBHA	Statton Brook North	x																									x
702HBHG	Sucker Pond North	x																									x
702K302	Eaton River North	x																									x
7020785	Birchton	x																									x
7021460	Christmas Brook North	x																									x
7021718	Clifton River	x																									x
7021719	Clifton River South	x																									x
7021918	Cookshire	x	x																								x
7022288	East Clifton North	x																									x
7022306	Eaton Second Branch	x	x																								x
7022374	Flanders	x																									x
7023312	Island Brook	x	x																								x
7023313	Island Brook North	x																									x
7024263	Lawrence	x	x																								x
7024270	Learned Plain	x																									x
7024623	Maple Leaf	x	x																								x
7024624	Maple Leaf East	x	x																								x
7024625	Maple Leaf South	x																									x
7025425	New Mexico	x																									x
7026005	Petit Lac	x																									x
7026048	Pine Brook North	x																									x
7026345	Randboro South	x																									x
7027372	St-Isidore d'Auckland	x	x																								x
7027550	St-Mathias	x																									x
7027800	Sawyer ville	x																									x
7027802	Sawyer ville North	x	x																								x
7028906	West Ditton	x	x																								x

données supplémentaires, on les utilise à titre de données de vérification de la qualité du calage établi.

Les observations de débit disponibles sur le bassin versant de la rivière Eaton sont résumées dans le tableau 4.2.

La figure 4.2 localise les 25 stations météorologiques utilisées ainsi que les quatre bassins versants qui ont servi à l'ajustement et aux vérifications des simulations.

TABLEAU 4.2 Données hydrométriques

NUMERO	NOM	PERIODE																							B.V. MI. <sup>2</sup>	UTILISATION POUR LES SIMULATIONS
		53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75		
030234	Eaton à 0.4 mi. de la Saint-François	-----																							248	x
030238	Eaton à 0.7 mi. en amont de la Clifton													-----											33.2	x
030239	Eaton Nord à 4.2 mi. de la Eaton														-----										102	x
030242	Eaton en aval du pont-route à Sawyerville															-----									76	x
030243	Eaton à 0.8 mi. en amont de la Eaton Nord																	+							93.9	
030253	Ruisseau Birchton à 0.1 mi. de la Eaton																			+ + + +					8.86	
030254	Clifton à 2.5 mi. de la Eaton																			+ + +					35.50	
030257	Eaton Nord à 0.4 mi. en amont du ruisseau au Pin																					+ +			47.4	
030277	Eaton Nord à 0.8 mi. en amont du ruisseau au Pin																						+ + +		44.7	

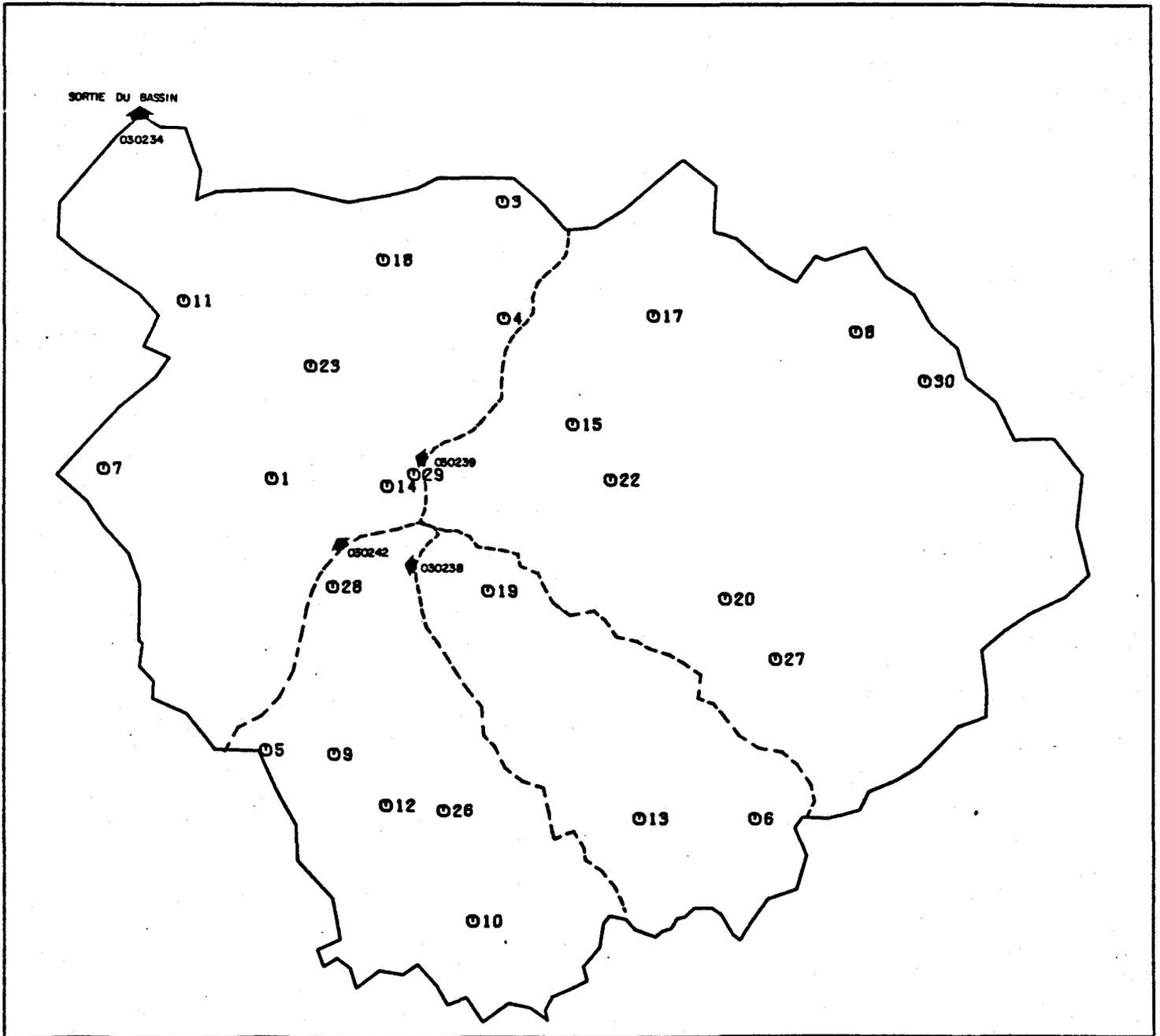


Figure 4.2 Position géographique des 25 stations météorologiques et des quatre stations hydrométriques utilisées dans les simulations.

CHAPITRE -5-

RESULTATS DE LA SIMULATION DES DEBITS

Les simulations des débits de la rivière Eaton ont été obtenues en utilisant les données météorologiques aux vingt-cinq (25) stations montrées à la figure 4.2; nous nous proposons ultérieurement de réduire ce nombre à dix (10) puis à trois (3) et d'en analyser l'influence sur la qualité des simulations.

Lorsqu'il y a des manques d'observations à l'une ou l'autre des stations météorologiques utilisées, la valeur moyenne observée à l'ensemble des autres stations est alors affectée à la dite station. L'importance des manques au niveau des mesures de température (voir le tableau 4.1) peut entraîner des problèmes dans les calculs reliés à l'accumulation et la fonte de la neige.

### 5.1 Calage du modèle

Les paramètres qui ont été ajustés dans l'étape de calage sont essentiellement liés à la fonction de production. Ainsi, nous avons légèrement accéléré le processus de fonte du manteau nival, plus particulièrement en zone forestière, pour tenir compte du type de végétation qui prévaut en moyenne sur le bassin versant. Les forêts dominées par des feuillus se laissent beaucoup plus facilement pénétrer par la radiation solaire. Dans ce premier essai de simulation, nous n'avons pas départagé l'influence de la fonte radiative par sous-bassin; la prise en compte de l'hétérogénéité spatiale de cette influence s'effectuera automatiquement au niveau du découpage en carreaux entiers lorsque l'information sur le type de forêt sera introduite dans la banque physiographique.

Les lames d'eau mesurées à chacun des sous-bassins pour les périodes de simulation sont les suivantes:

ANNEE	LAME D'EAU ECOULEE ANNUELLEMENT (en cm)			
	030234	030238	030239	030242
1973	80.0	78.0	93.2	70.1
1974	87.9	85.3	105.7	75.2
1975	59.7	65.8	--	51.8

On observe de forts écoulements en 1974 et une année sèche en 1975. Il est essentiel d'utiliser une gamme d'écoulement aussi diversifiée que possible lors du calage des paramètres afin d'activer toutes les composantes du modèle. Ainsi, l'année 1975 permet d'analyser le comportement du modèle dans le cas d'étiages sévères et conséquemment d'ajuster l'algorithme qui gouverne la recharge et la vidange des réserves souterraines. Dans le cas de la rivière Eaton, c'est principalement à ce niveau que l'ajustement du modèle a porté.

## 5.2 Simulation de la rivière Eaton

Le modèle CEQUEAU, de par sa structure, simule les débits à la sortie de chacun des carreaux partiels; dans le cas qui nous intéresse, ceci veut dire 306 endroits. Pour les besoins de cette étude, seuls les débits simulés aux emplacements des quatre stations hydrométriques où l'on dispose de débits observés sont présentés.

Le tableau suivant représente les surfaces de bassins et de sous-bassins prises en compte dans les simulations.

STATION	SURFACE (km <sup>2</sup> )	NUMERO
Eaton à 0.4 mi. de la Saint-François	642	030234
Eaton à 0.7 mi. en amont de la Clifton	86	030238
Eaton Nord à 4.2 mi. de la Eaton	264	030239
Eaton en aval du pont-route à Sawyer-ville	197 197	030242

L'emplacement géographique des stations hydrométriques et des stations météorologiques utilisées apparaissent à la figure 4.1.

Les graphiques des résultats de simulation à une station hydrométrique pour chacune des années se divisent en trois parties:

- variations temporelles des débits calculés et observés;
- variations temporelles des températures moyennes sur le bassin ou le sous-bassin drainé par la station hydrométrique;
- variations temporelles des apports d'eau (pluie + fonte) moyens sur le bassin ou le sous-bassin drainé par la station hydrométrique.

#### 5.2.1 Eaton à la station 030234

Les résultats des simulations pour les années 1973, 1974 et 1975 sont donnés dans les figures 5.1, 5.2 et 5.3.

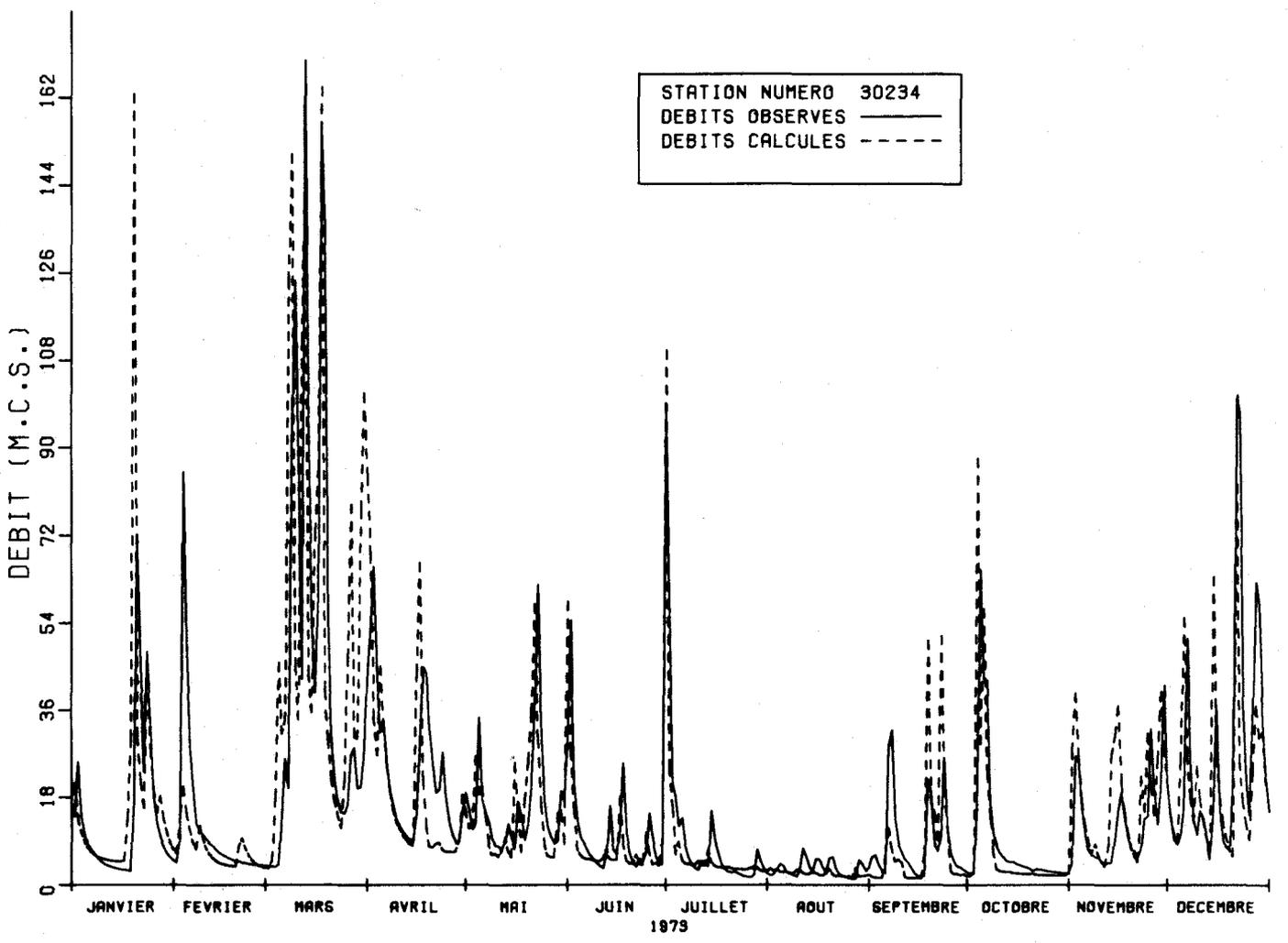
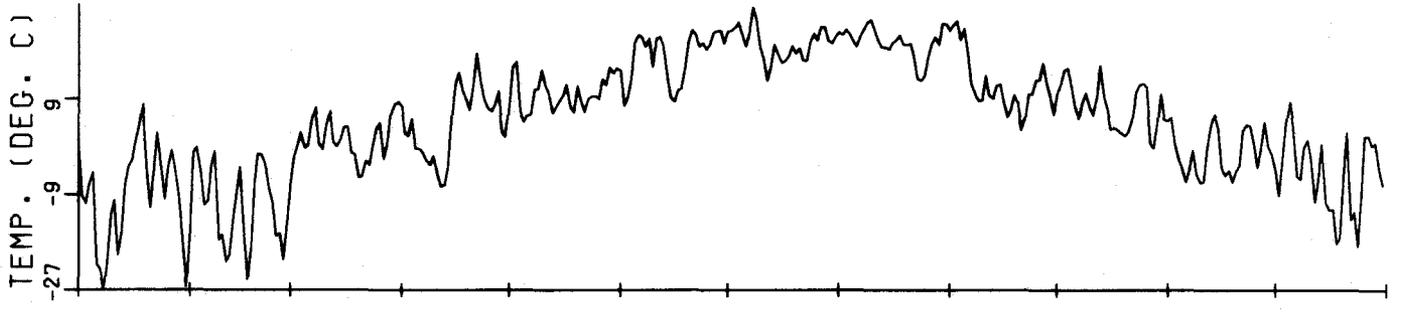
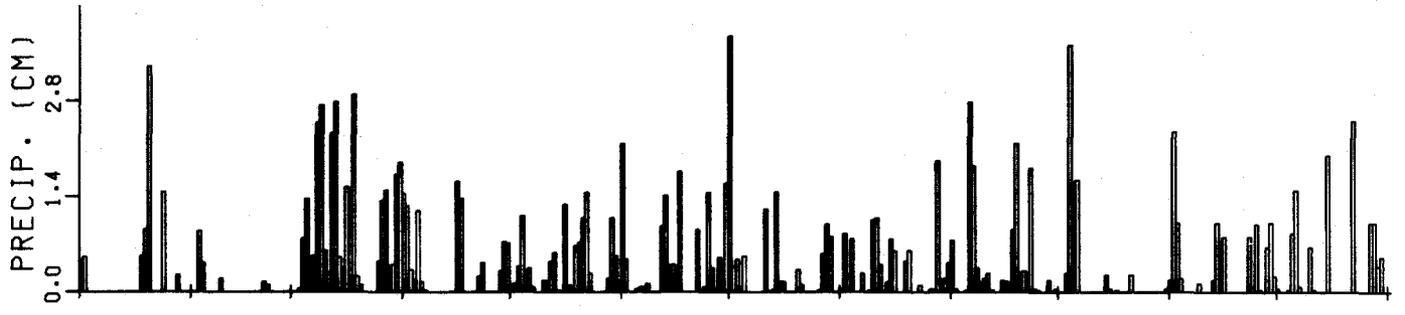


FIGURE 5.1. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON

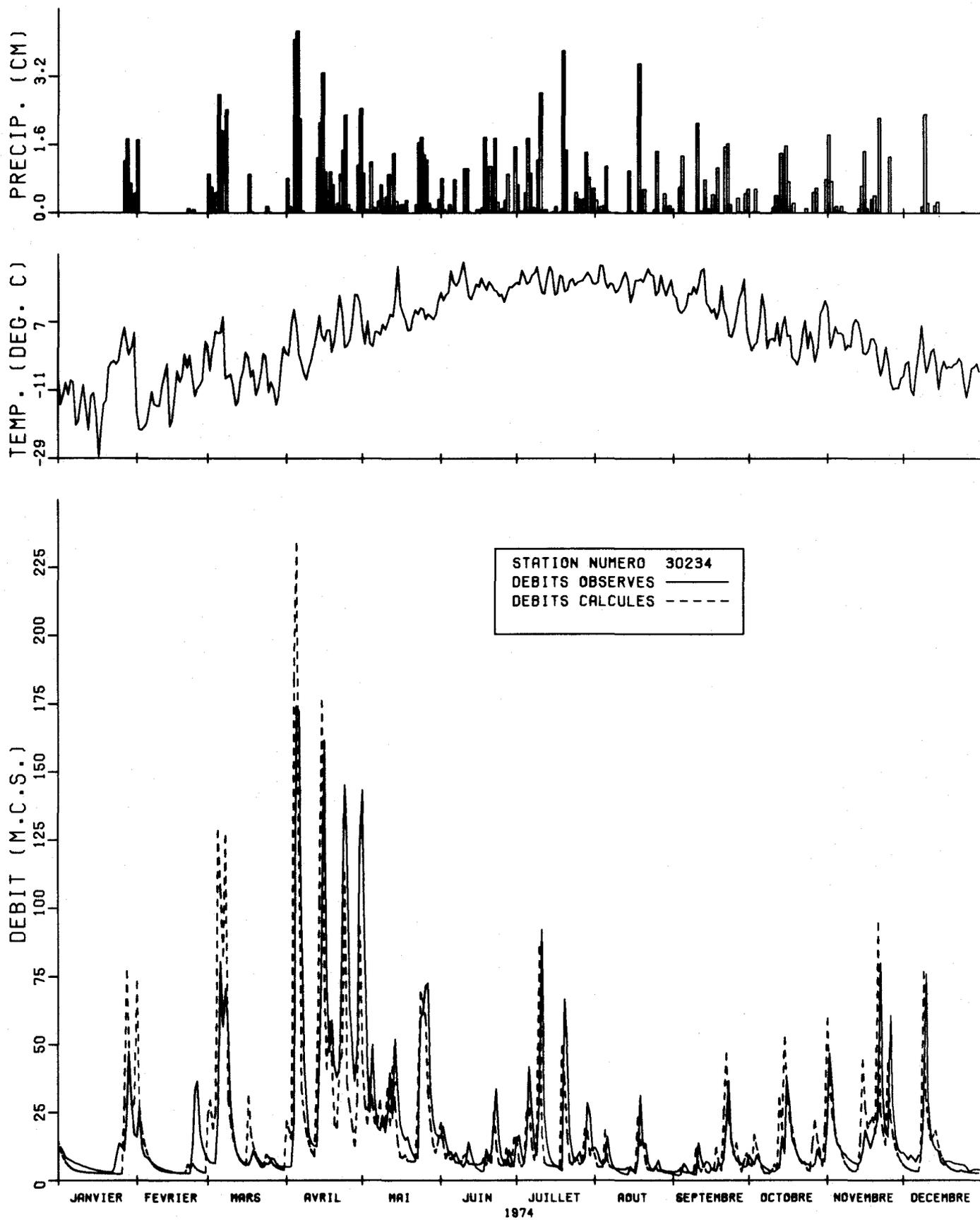


FIGURE 5. 2. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON

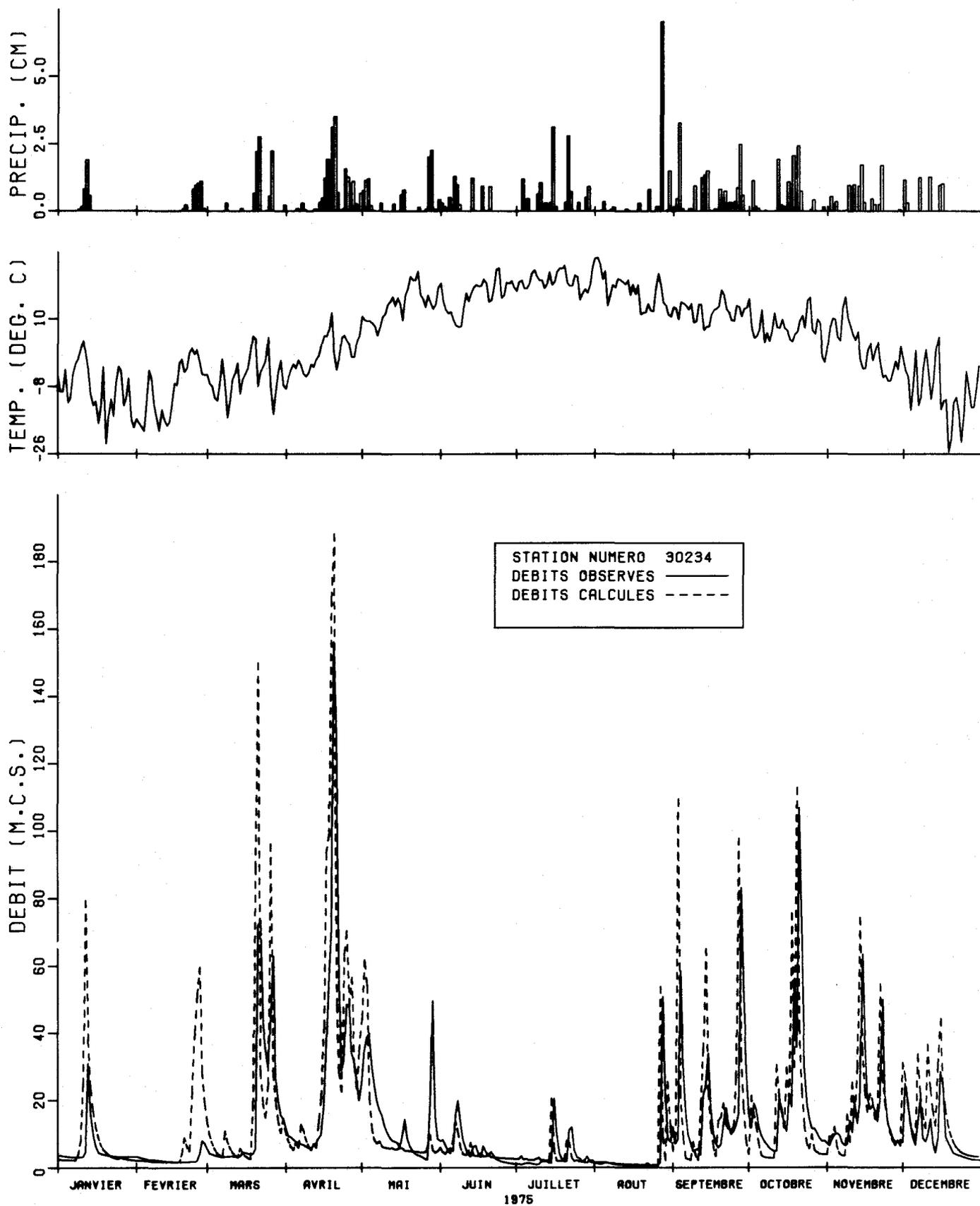


FIGURE 5.3. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON

Les débits calculés des mois de janvier et de février sont généralement trop élevés. Cette anomalie systématique a deux causes possibles:

- une fonte trop hâtive ou
- une mauvaise estimation de la partie de la précipitation qui tombe sous forme de neige ou de pluie.

Si l'anomalie venait d'une fonte trop hâtive, nous épuiserions notre stock de neige avant la fin de la période de fonte ce qui se traduirait par une sous-estimation des débits en fin de fonte; les résultats ne soutiennent pas cette explication. Toutefois, si l'épaisseur du manteau neigeux était surestimé, cette première cause pourrait être retenue. Les stations météorologiques sont souvent situées à des altitudes relativement basses entraînant des problèmes d'estimation de la quantité de précipitation qui tombe sur les surfaces plus élevées ainsi que des problèmes liés au type de précipitation (liquide à la station et solide en altitude). Si la surestimation des crues d'hiver était occasionnée par un mauvais partage entre chute de neige et chute de pluie favorisant cette dernière, on observerait également une sous-estimation des débits en fin de période de fonte. On a déjà mentionné que les résultats ne montrent pas de sous-estimation; ce n'est toutefois pas suffisant pour rejeter cette explication puisqu'une surestimation des équivalents en eau des chutes de neige marquerait les conséquences des erreurs sur le type de précipitation. Il semblerait, en effet, qu'en général, la quantité de neige soit légèrement surestimée. Les correctifs sont de deux ordres soit au niveau du gradient de variation de la précipitation neigeuse avec l'altitude ou au niveau de l'équivalent en eau des chutes de neige qui en occurrence a été considéré systématiquement égal à 0.1. C'est seulement après avoir solutionné le problème du volume d'eau sous forme de neige qu'il sera possible

d'analyser adéquatement le problème de surestimation des crues d'hiver.

La simulation des débits d'été et d'automne ne montre pas d'erreur systématique et on note en particulier que les débits d'étiage sont très bien reconstitués sauf pour quelques petites remontées à l'été de 1973 qui seraient une conséquence d'une définition incomplète des surfaces imperméables.

### 5.2.2 Eaton à la station 030238

Les simulations pour les trois années de 1973 à 1975 sont présentées aux figures 5.4, 5.5 et 5.6. Dans l'ensemble, les résultats sont satisfaisants et demeurent à l'intérieur de la plage d'erreur admissible. La météorologie semble bien représentative sur ce petit bassin de 33 mi.<sup>2</sup> puisque les lames d'eau écoulées annuellement sont très près des lames d'eau calculées.

Les problèmes de surestimation des crues d'hiver identifiés sur le bassin total sont encore présents mais d'une façon moins systématique; en particulier à l'hiver de 1974 il y a même sous-estimation de certaines crues.

Comme pour la station précédente, les crues de printemps, d'été et d'automne sont généralement bien reproduites et on note encore ici la qualité de reproduction des étiages.

On note enfin qu'un ajustement serait nécessaire au niveau de la pente de décrue de l'écoulement retardé; cette remarque s'applique également aux simulations de la station précédente.

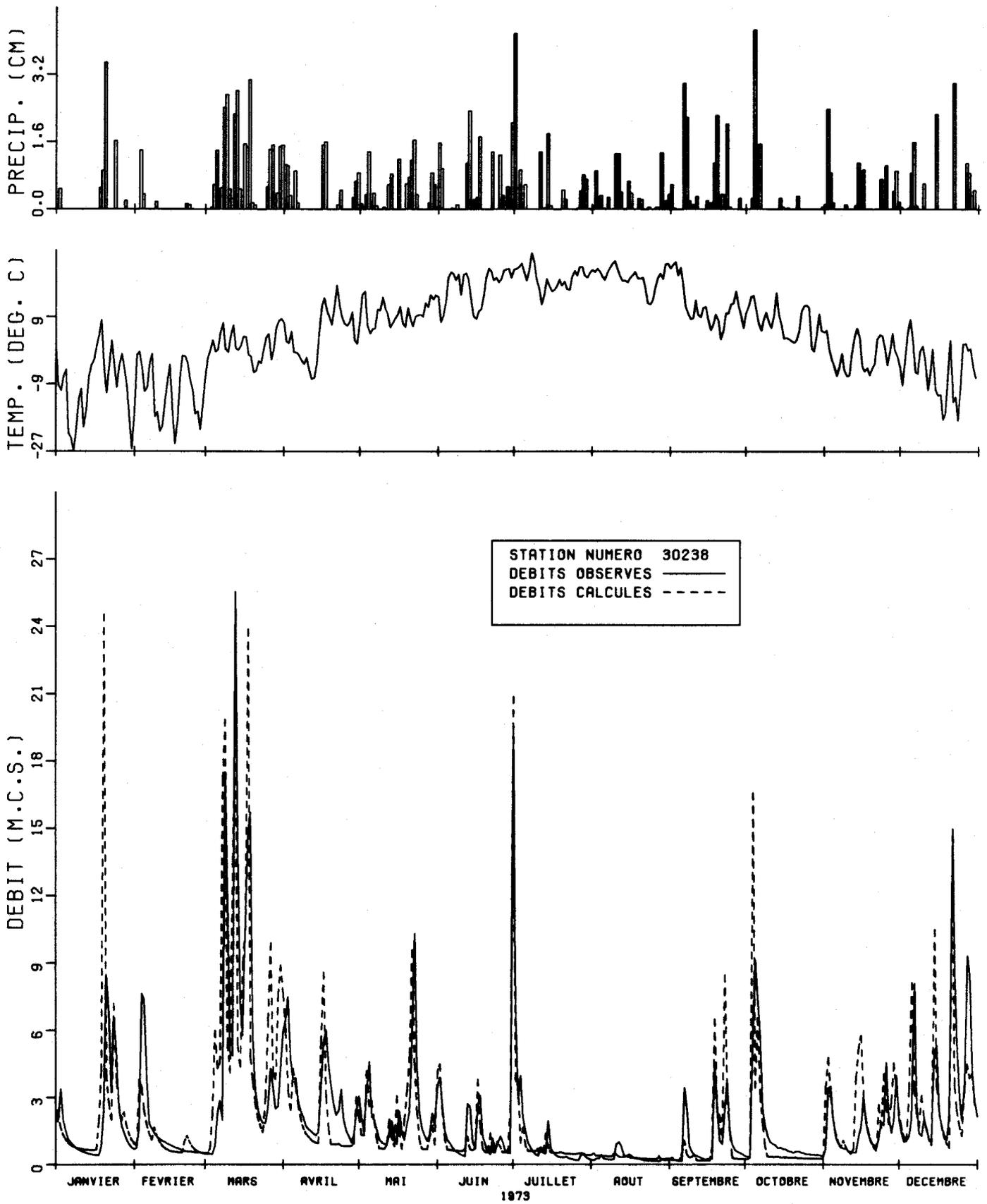


FIGURE 5.4. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON

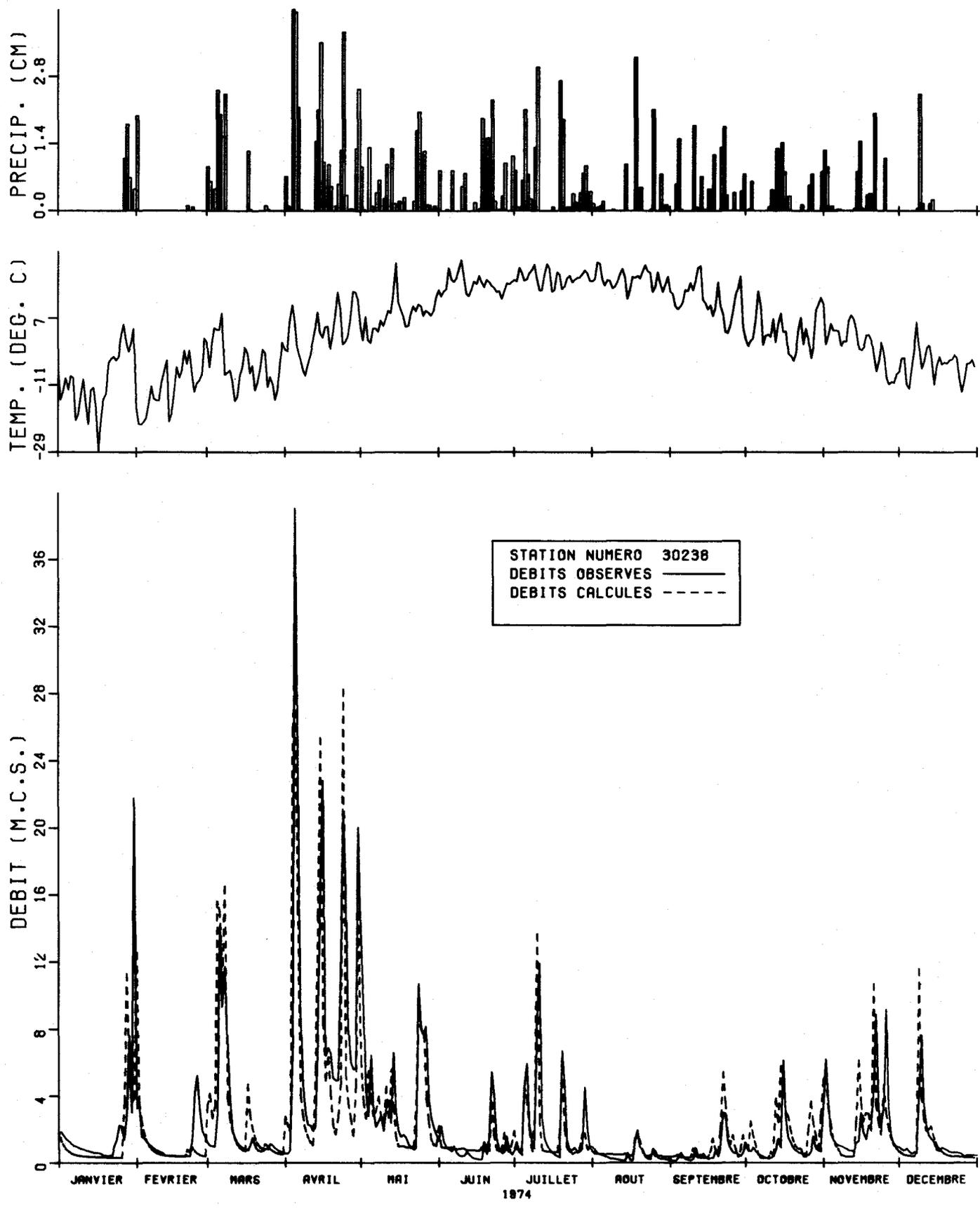


FIGURE 5.5. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON

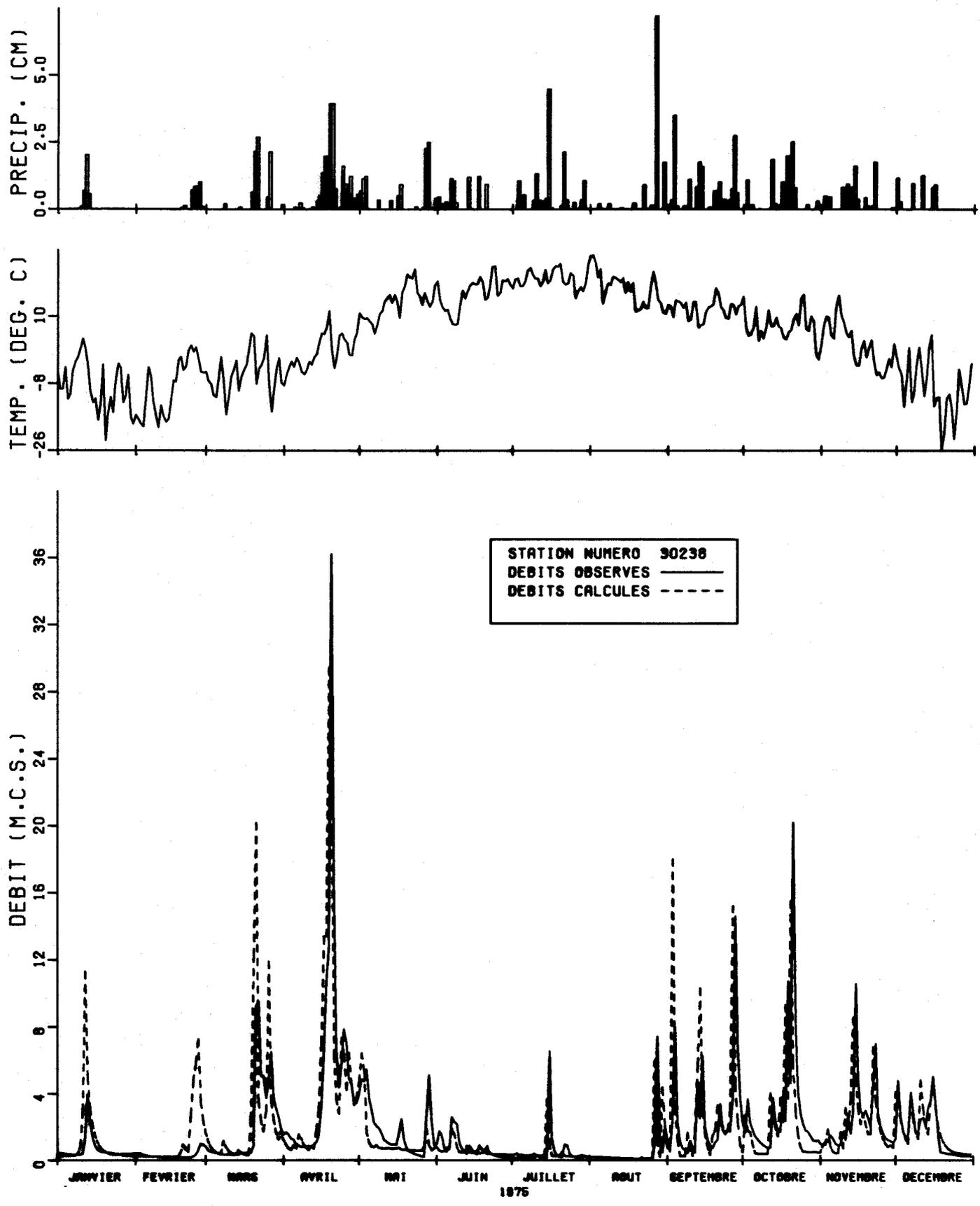


FIGURE 5.6. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON

### 5.2.3 Eaton Nord à la station 030239

Les lames d'eau écoulées annuellement sont nettement supérieures sur ce sous-bassin de 102 mi.<sup>2</sup> comparativement à celles observées sur les autres sous-bassins étudiés. Les lames calculées par le modèle reflète partiellement ce comportement particulier. Comme dans cette première étude de simulation nous avons postulé l'homogénéité spatiale des quelques caractéristiques physiographiques retenues, nous croyons que c'est à ce niveau qu'il faudrait intervenir. Il est toutefois possible que l'information météorologique soit inadéquate.

Si l'on utilise comme critère de fidélité le rapport de l'erreur quadratique moyenne à la variance du débit pour l'année observée, on trouve qu'il est plus fort, ce qui confirme la détérioration dans la qualité de la simulation.

Dans un tel cas de non reproduction des volumes écoulés annuellement, l'analyse fine de la simulation a un intérêt fortement diminué, aussi nous nous limiterons sur ce sous-bassin aux deux remarques générales suivantes: les crues printanières ne sont pas fidèlement reproduites laissant ainsi sous-entendre des difficultés d'évaluation du manteau nival; les crues d'été et d'automne sont généralement bien reproduites; l'étiage d'été semble légèrement trop soutenu même si nos écoulements annuels simulés sont sous-estimés; finalement on retrouve également sur ce sous-bassin les problèmes de crues d'hiver et de vidage trop rapide de zones de stockage dites hypodermiques ou retardées (figures 5.7, 5.8 et 5.9).

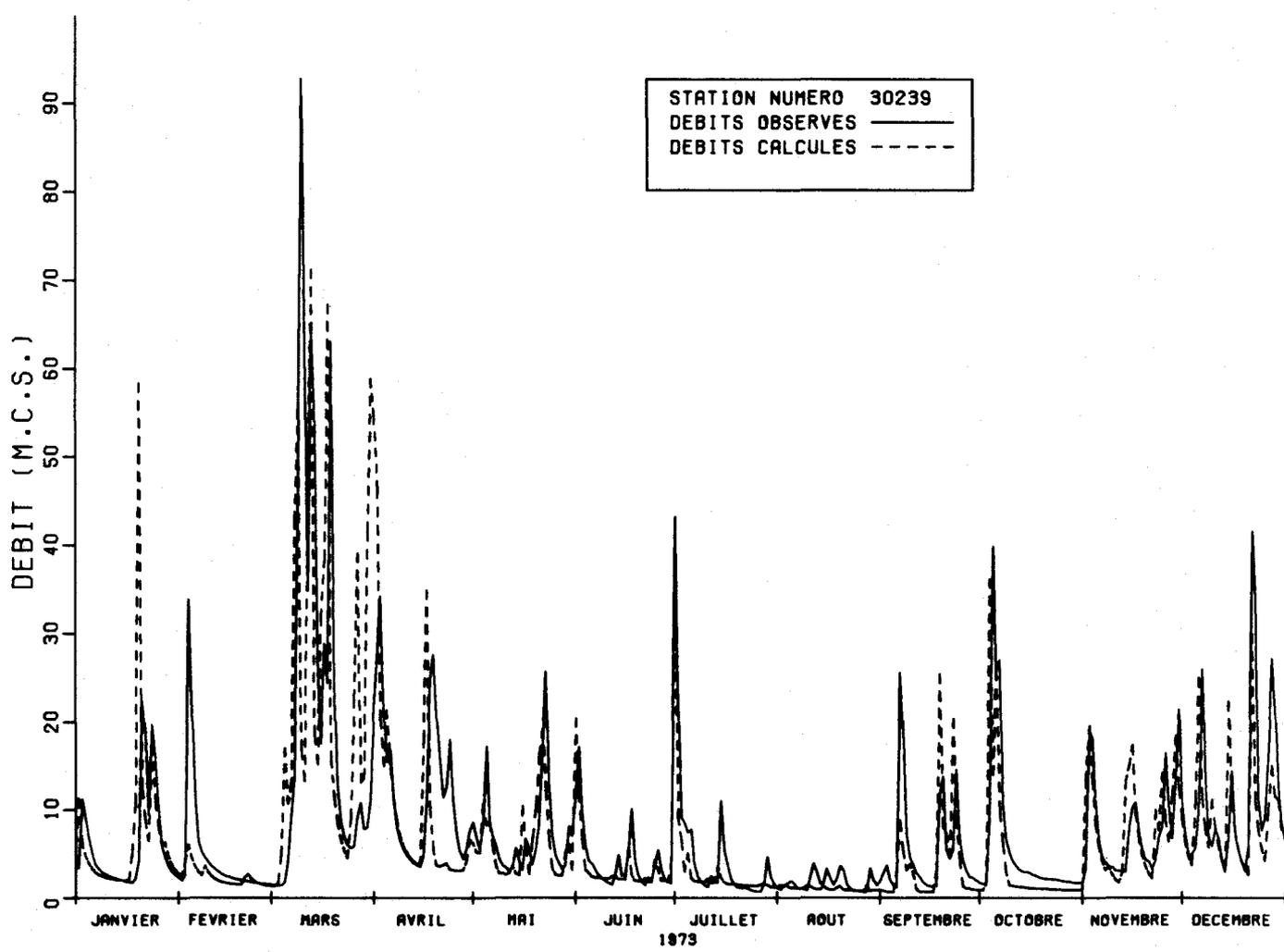
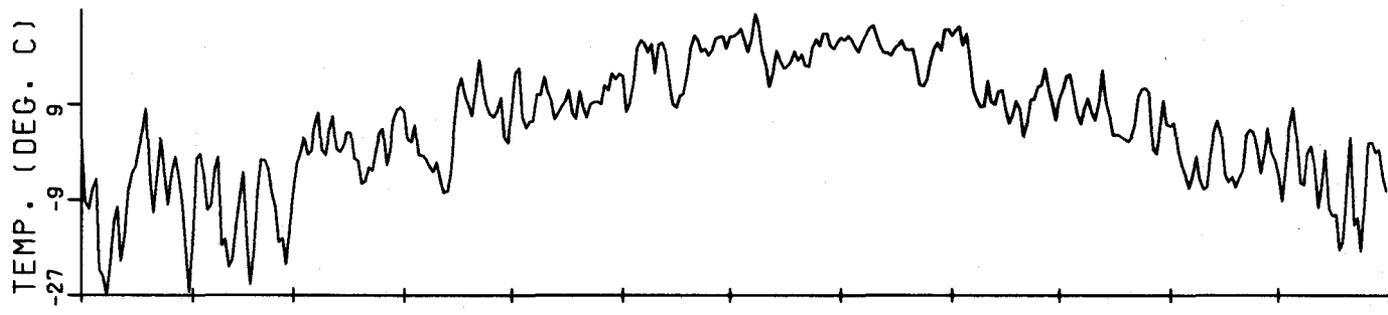
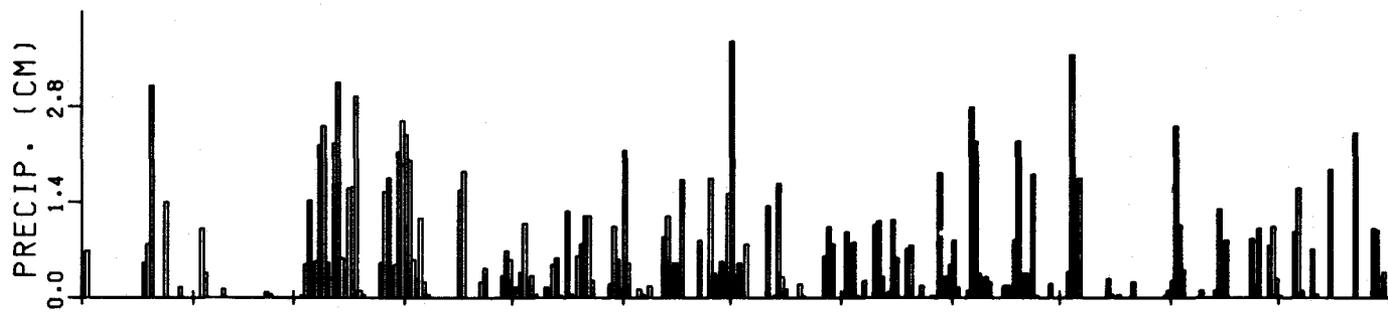


FIGURE 5.7. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON NORD

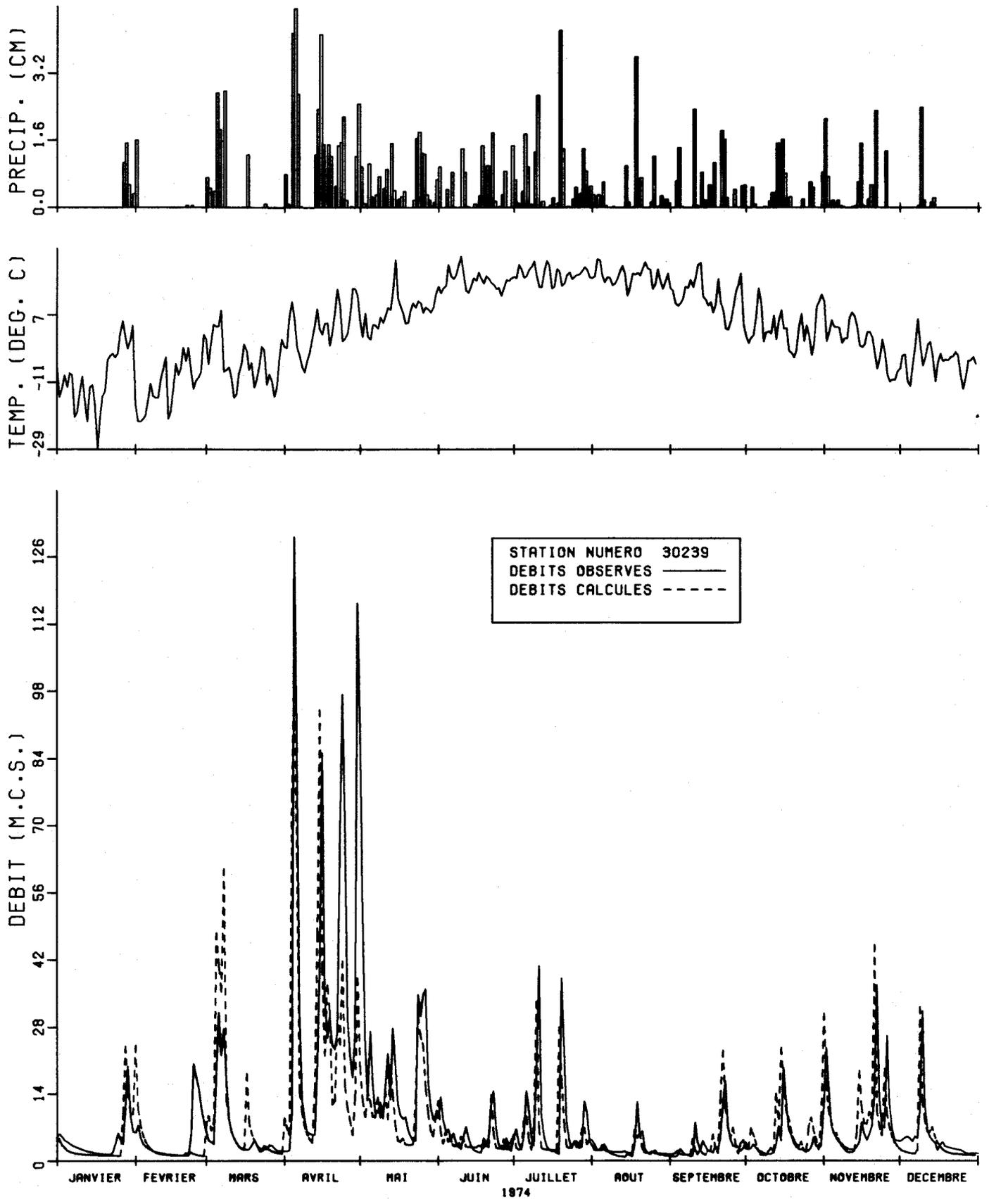


FIGURE 5.8 DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON NORD

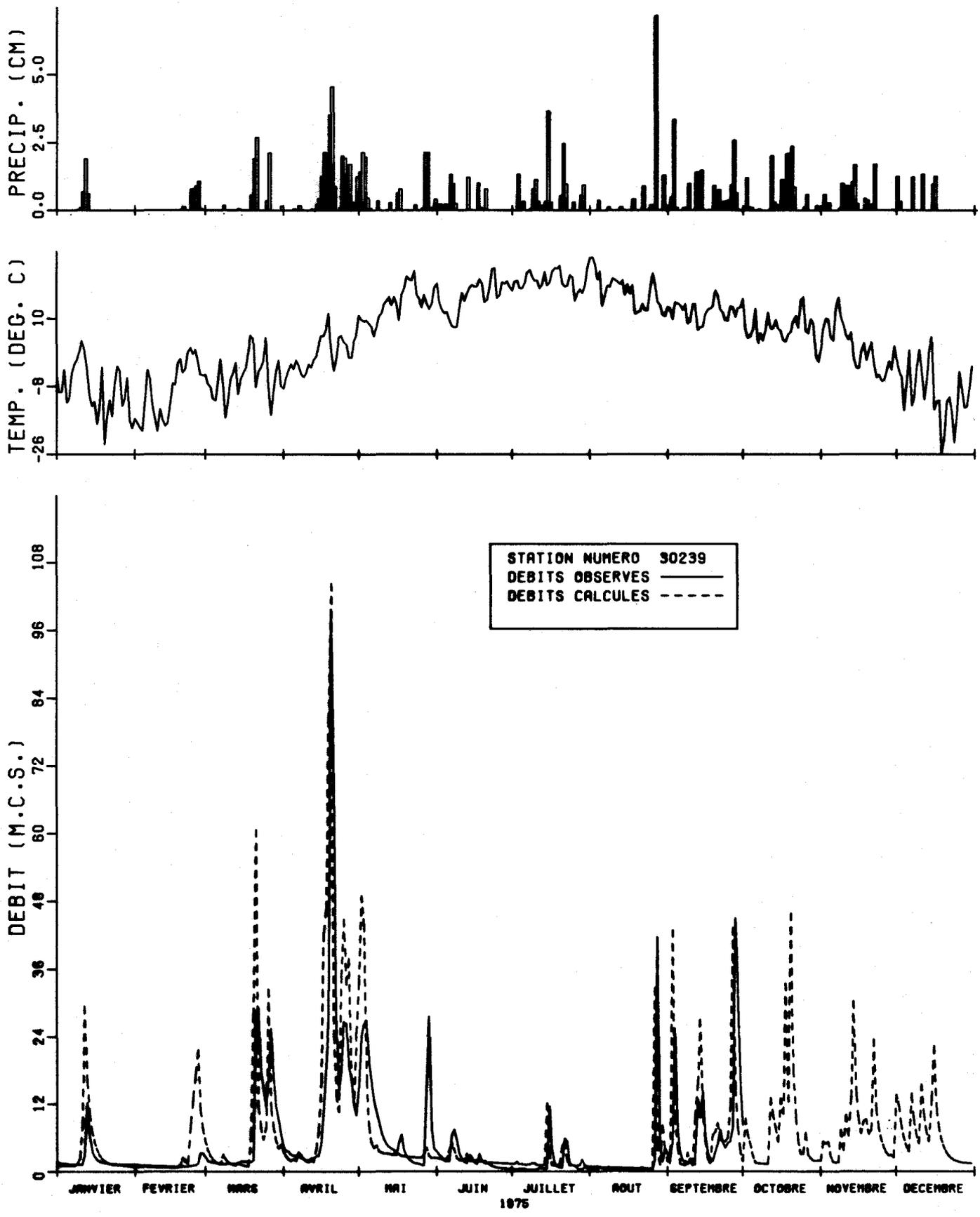


FIGURE 5.9. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON NORD

#### 5.2.4 Eaton à la station 030242

Les figures 5.10, 5.11 et 5.12 présentent les résultats des simulations à cette station hydrométrique.

Ce sous-bassin de 76 mi.<sup>2</sup> englobe le sous-bassin déjà analysé de la station 030238, ce dernier étant très bien simulé y compris au niveau des volumes écoulés annuellement. Comme la simulation des volumes écoulés à la station 030242 sont nettement surestimés, on en conclut que c'est sur le bassin intermédiaire (76 - 33) mi.<sup>2</sup> que surviennent les problèmes.

Autant on pouvait incriminer le postula d'homogénéité spatiale des caractéristiques physiographiques dans le cas des sous-estimations des écoulements à la station 030239, autant on est justifié de le faire pour expliquer la surestimation des écoulements sur ce bassin. Toutefois, contrairement au bassin précédent, les erreurs sont beaucoup plus uniformément réparties sur l'année. Comme pour le bassin précédent (030239) les étiages d'été sont trop soutenus.

#### 5.3 Discussion générale sur les résultats des simulations

L'ajustement des paramètres du modèle de simulation a été fait de façon à reproduire les débits observés de l'ensemble des stations hydrométriques du bassin versant de la rivière Eaton. Les paramètres ont, par conséquent, des valeurs uniformes d'un sous-bassin à l'autre.

Le tableau 5.1 résume le résultat des simulations aux quatre stations hydrométriques du bassin. On constate que les lames

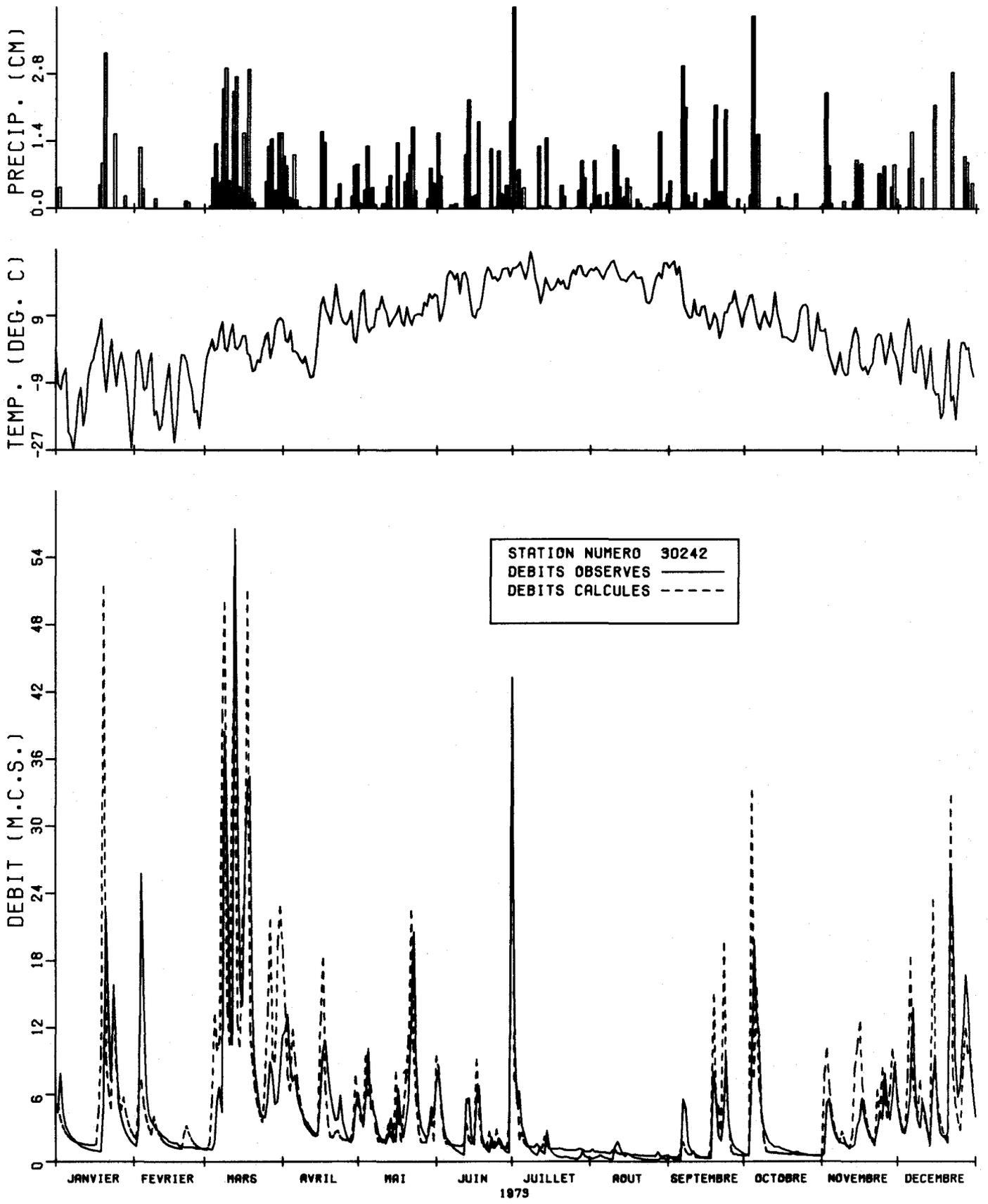


FIGURE 5.10. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON

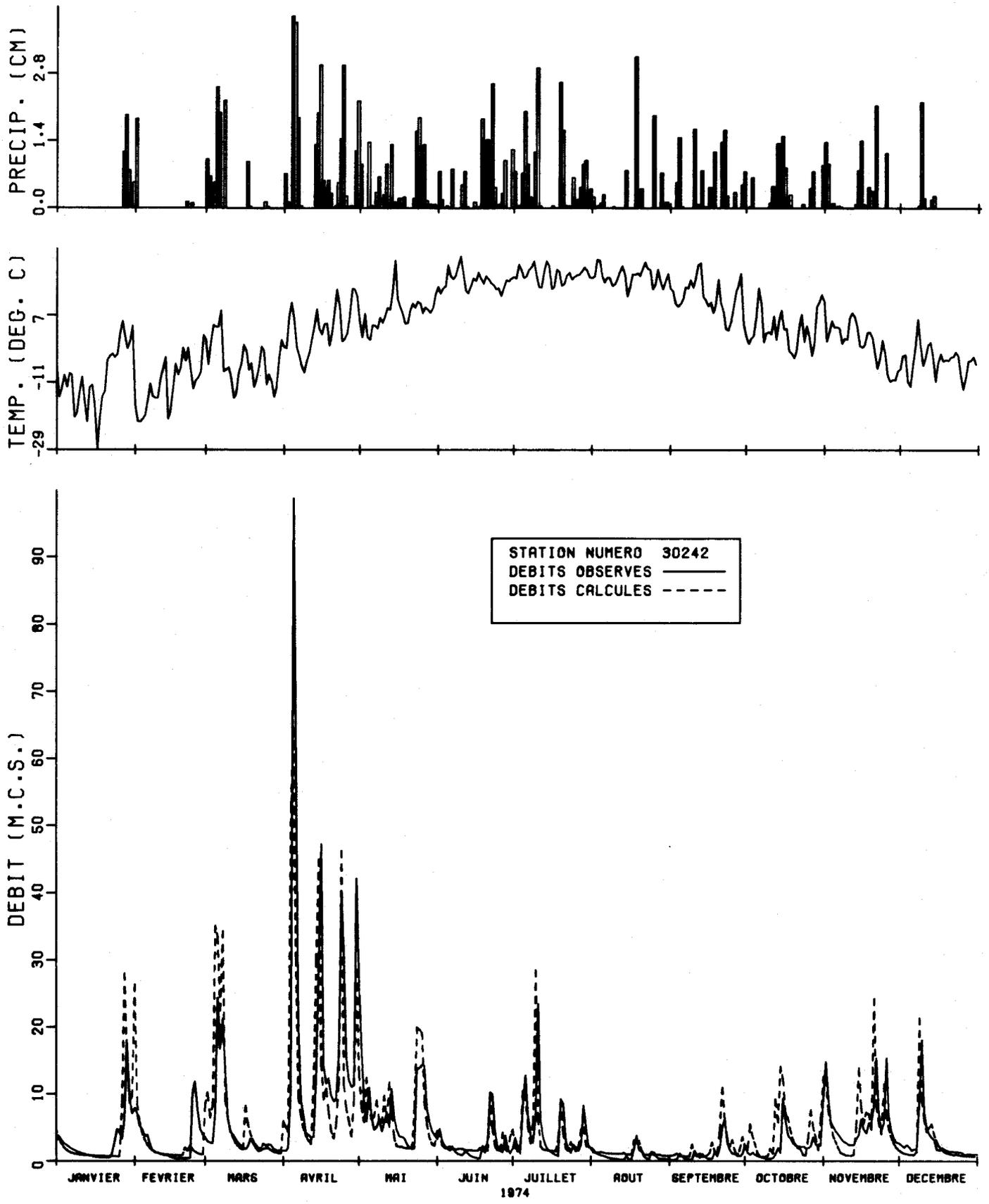


FIGURE 5.11. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON

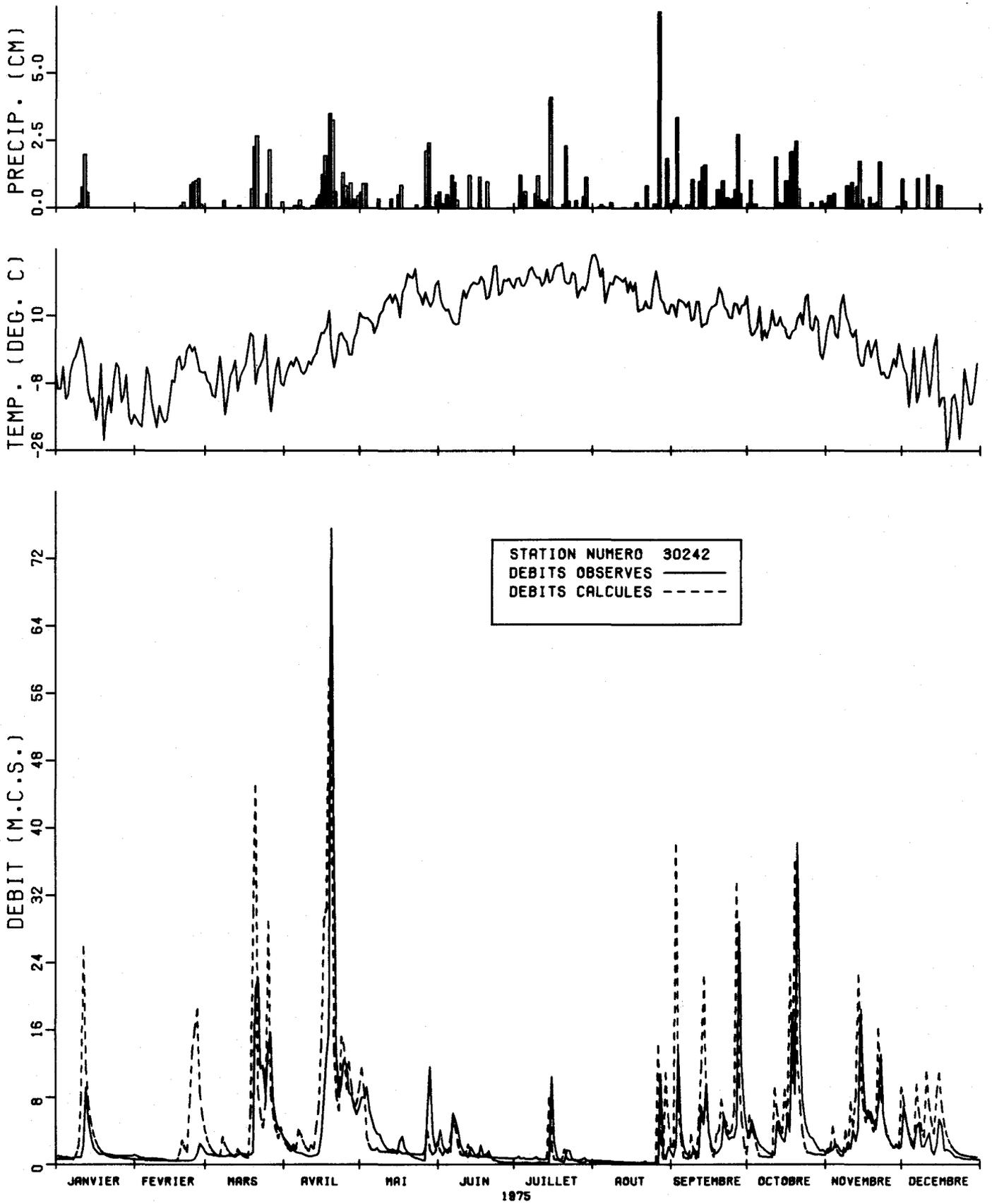


FIGURE 5.12. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON

TABLEAU 5.1 RESULTATS DES SIMULATIONS

		030234 642 km <sup>2</sup>	030242 197 km <sup>2</sup>	030239 264 km <sup>2</sup>	030238 86 km <sup>2</sup>
1973	précip. totale	128.0	124.0	132.0	126.0
	Lame observée	80.0	70.1	93.2	78.0
	Lame calculée	79.8	79.0	84.1	79.3
	Variation	-0.20	+8.9	-9.1	+1.3
	Corrélation	.80	.78	.76	.75
1974	précip. totale	134.6	127.3	139.7	129.8
	Lame observée	87.9	75.2	105.7	85.3
	Lame calculée	84.8	78.5	90.7	82.3
	Variation	-3.1	+3.3	-15.0	-3.0
	Corrélation	.88	.84	.77	.82
1975	précip. totale	121.2	118.1	128.0	119.9
	Lame observée	59.7	51.8	69.1*	65.8
	Lame calculée	70.4	67.6	78.0	67.6
	Variation	+10.7	+15.8	+8.9*	+1.8
	Corrélation	.90	.87	-	.89

\* Valeur estimée (débits observés d'octobre, novembre et décembre manquants).

d'eau écoulées calculées sont différentes d'un bassin à l'autre et suivent ainsi les variations spatiales des précipitations.

Les valeurs moyennes de précipitation présentées au tableau 5.1 ont été obtenues par planimétrage des isohyètes annuelles présentées aux figures 5.13, 5.14 et 5.15. Ces isohyètes ont été calculées par la méthode d'interpolation optimale\* en utilisant les observations des 25 stations météorologiques qui ont servi aux simulations.

Les variations spatiales des précipitations n'expliquent pas à elles seules les variations des lames écoulées d'un bassin à l'autre. En effet, on constate que des variations de précipitation relativement faibles entraînent des écarts d'écoulement importants. La figure 5.16 est très révélatrice des comportements particuliers des bassins de la rivière Eaton. Tremblay (1976) relie cette variation spatiale du comportement hydrologique aux caractéristiques physiques (forêt, topographie et géologie) propres à chacun des bassins. Simard (1970) et St-Martin (1967) ajoutent qu'il y a possibilité d'un écoulement au niveau de nappes captives. Ce phénomène se localiserait plus spécifiquement sur la rivière Clifton, ce qui expliquerait les faibles coefficients d'écoulement observés.

#### 5.4 Conclusion

Dans l'ensemble, les simulations des écoulements du bassin de la rivière Eaton sont satisfaisantes tenant compte du

---

\*Détails de la méthode dans "Analyse des précipitations du bassin versant de la rivière Eaton". Rapport scientifique soumis au ministère des Pêches et de l'Environnement. Décembre 1977.

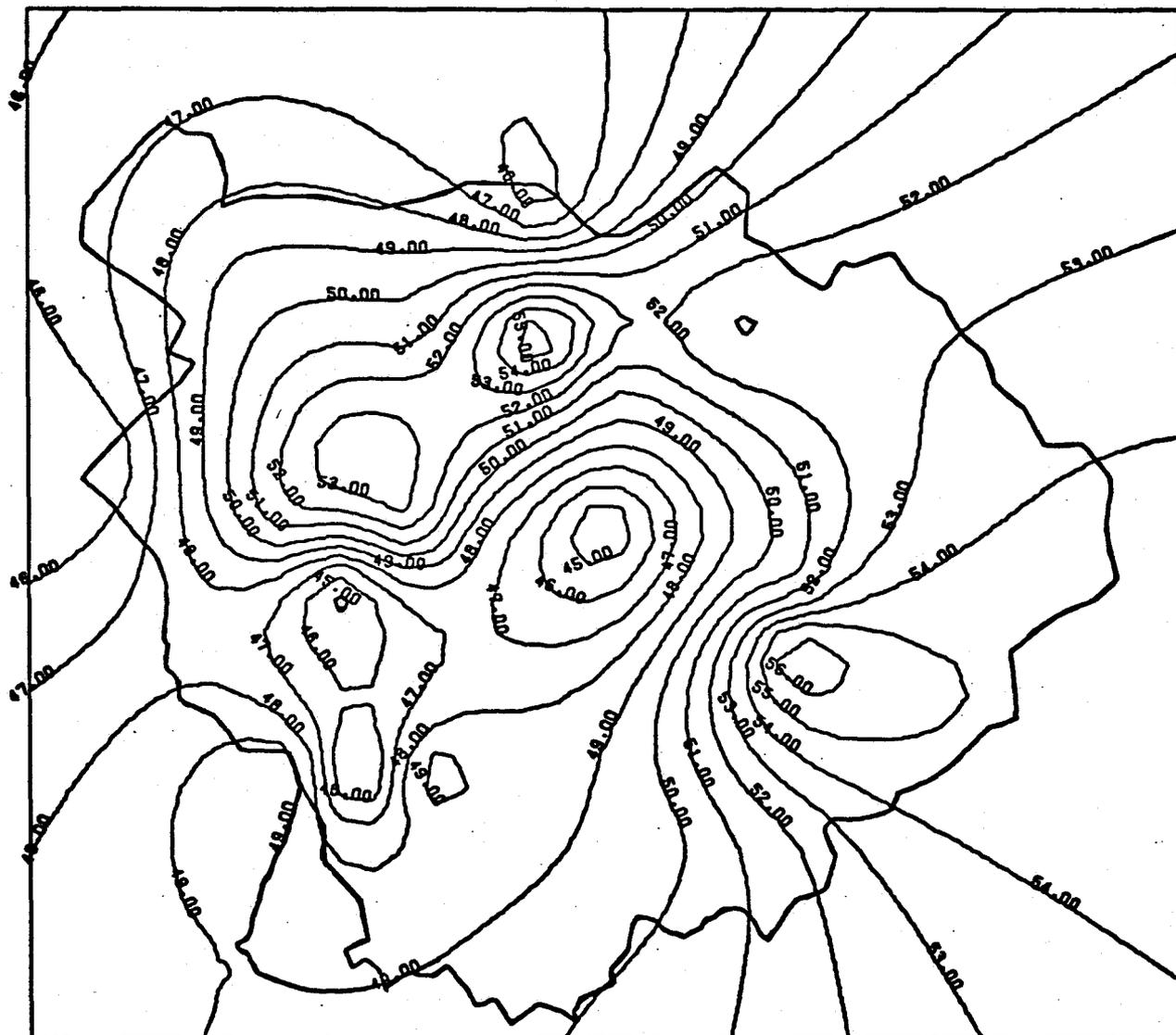


Figure 5.13 Isohyètes annuelles en pouces d'eau pour 1973 calculés par la méthode d'interpolation optimale de L. S. Grondin.

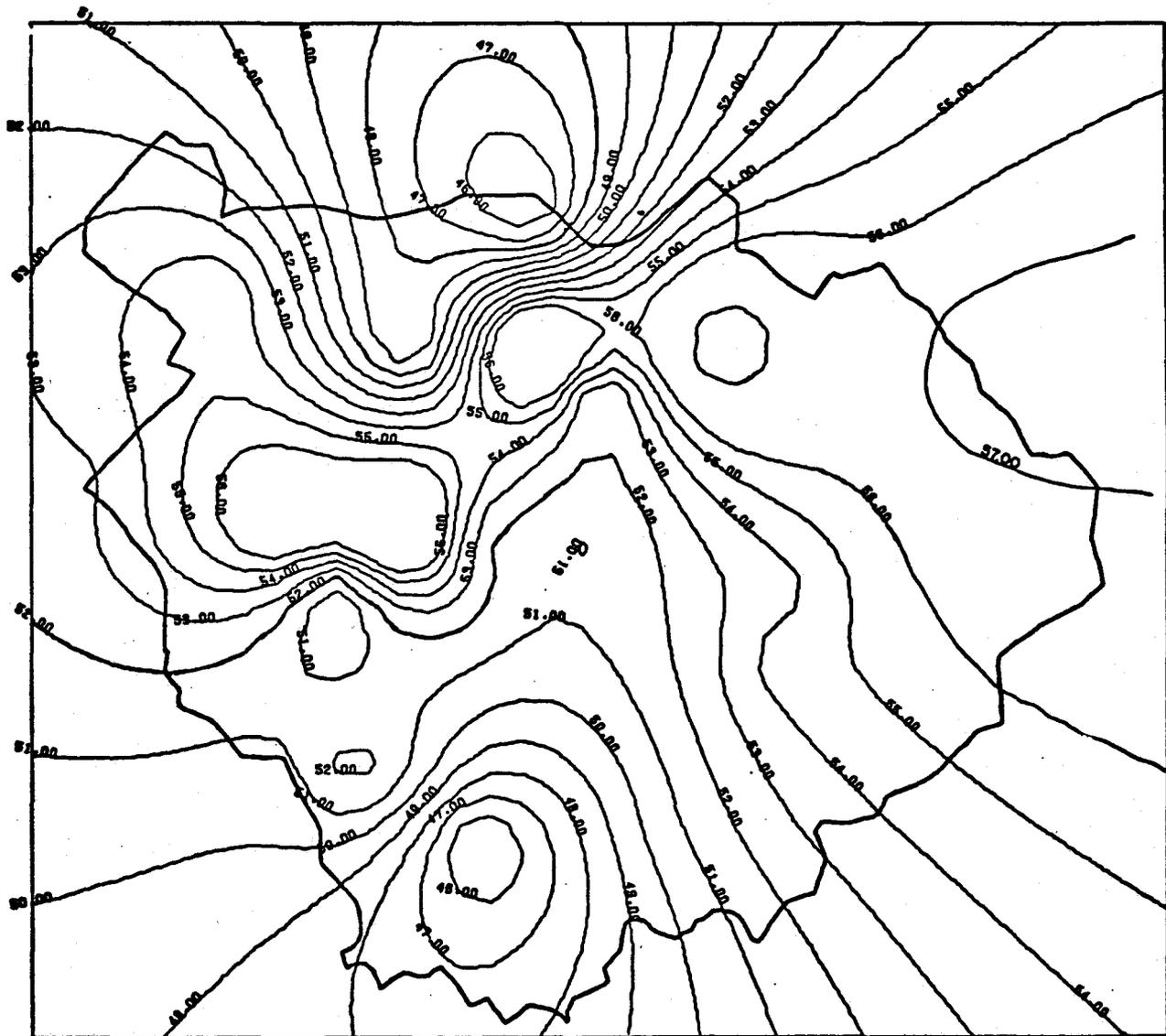


Figure 5.14 Isohyètes annuelles en pouces d'eau pour 1974 calculés par la méthode d'interpolation optimale de L. S. Grondin.

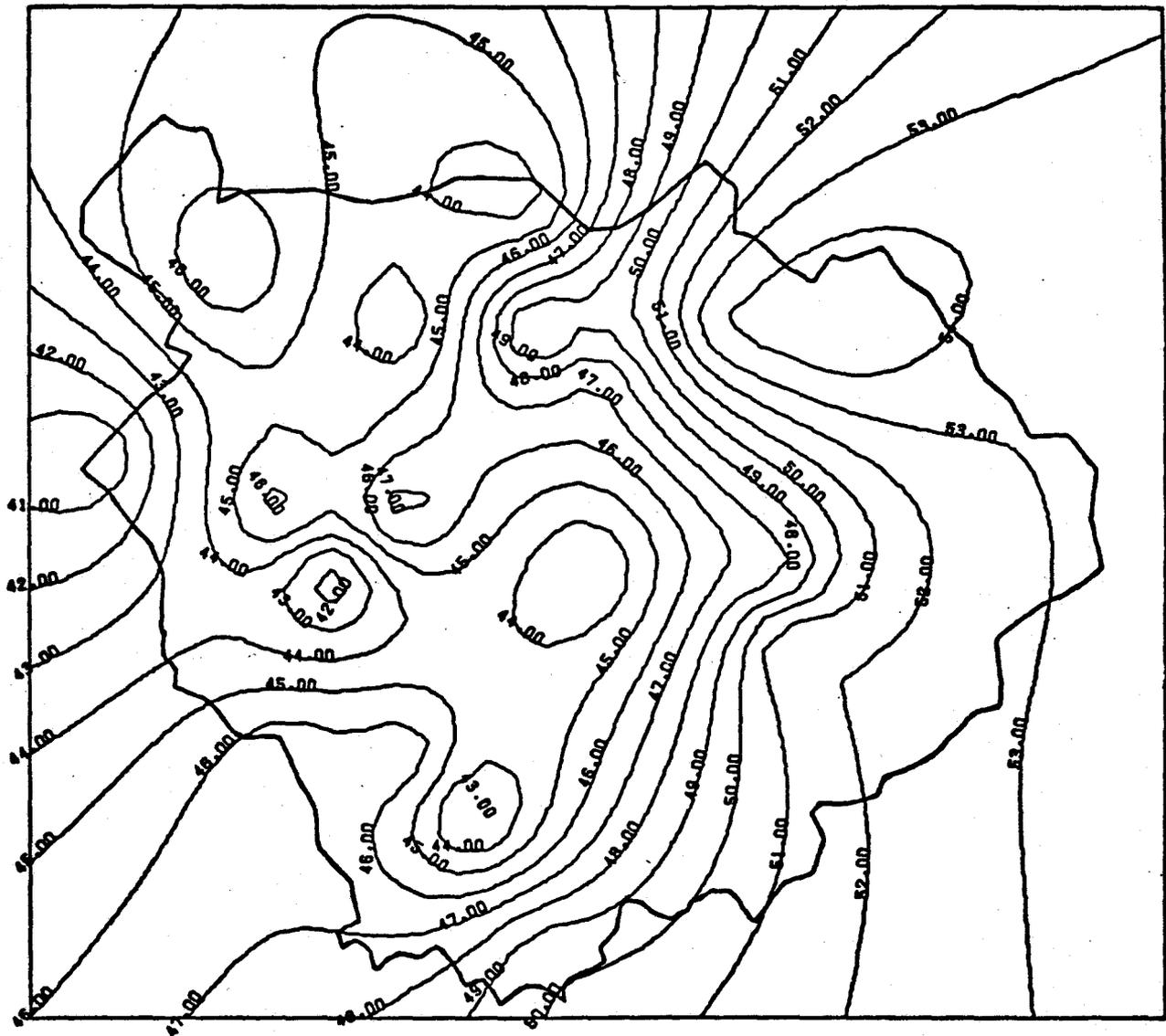


Figure 5.15 Isohyètes annuelles en pouces d'eau pour 1975 calculés par la méthode d'interpolation optimale de L. S. Grondin.

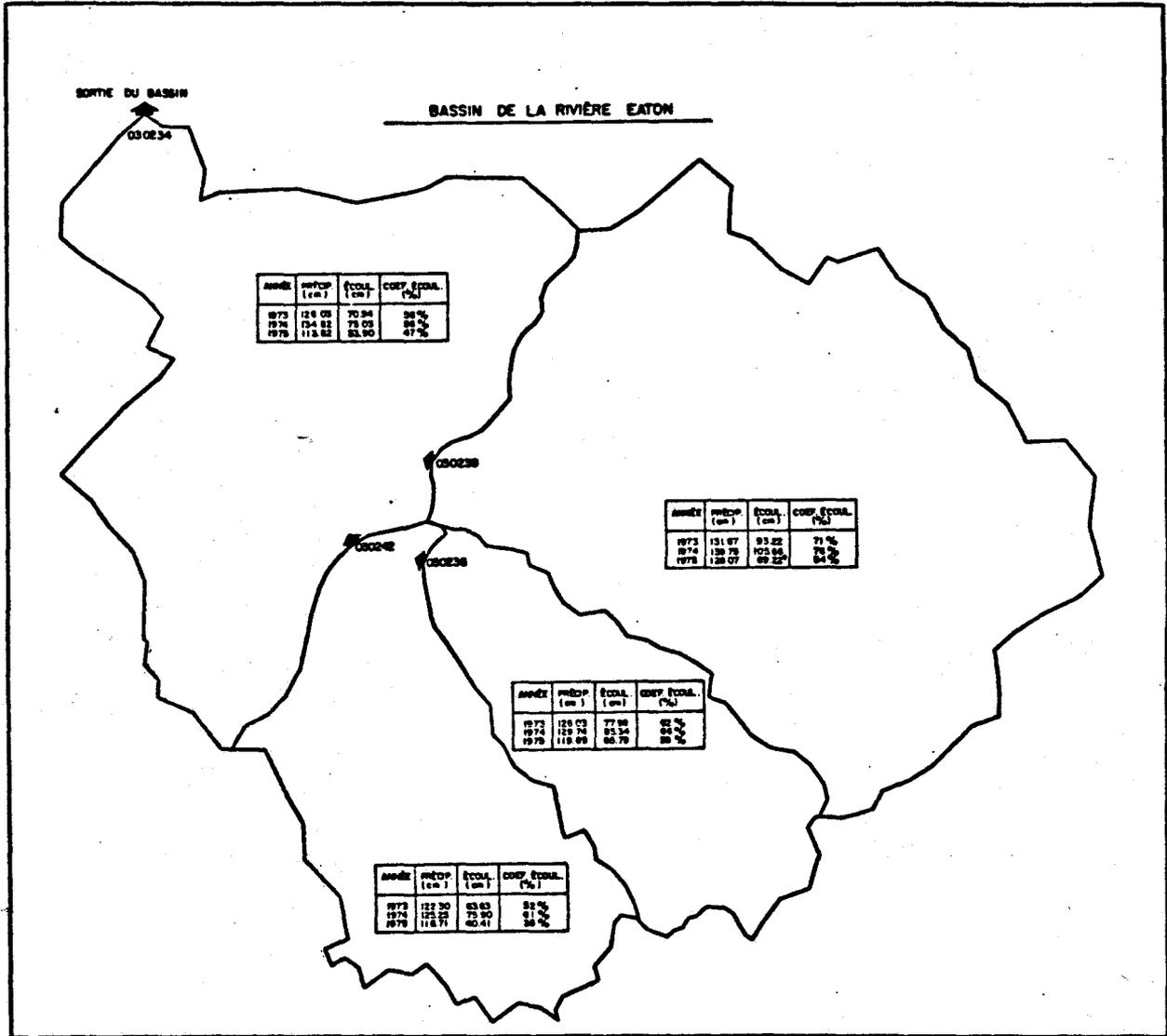


Figure 5.16 Répartition des lames d'eau observées, précipitées et écoulées en centimètres pour chacun des sous-bassins de la rivière Eaton.

fait que le modèle a utilisé une fonction de production uniforme sur chacun des sous-bassins et que l'ajustement des paramètres a été fait de façon globale et non particulière aux sous-bassins.

Il apparaît maintenant évident que les bassins de la rivière Eaton ont des comportements hydrologiques très différents qui semblent liés à des caractéristiques géologiques, pédologiques et topographiques variables d'un bassin à l'autre. La prise en compte de ces caractéristiques permettra d'obtenir une plus grande précision des résultats de simulations, d'augmenter la transposabilité du modèle CEQUEAU et d'accroître les performances éducationnelles de cet outil de recherche.

On devra également porter une attention particulière aux processus de formation et de fonte du manteau nival. La position géographique du bassin de la rivière Eaton à l'extrême sud du Québec, fait qu'il est soumis à de fréquents dégels au cours de la période hivernale, accentuant ainsi la difficulté de simulation des processus en cause.

## BIBLIOGRAPHIE

- CARTIER, L. et A. LECLERC. (1964).  
Rivière Eaton. Caractéristiques topographiques du bassin versant.  
Ministère des Richesses naturelles.
- CHARBONNEAU, R., G. MORIN, J.P. VILLENEUVE, E. LEDOU et A. LEVAS-  
SOR. (1976).  
Simulation des débits: l'Orne, la Dives, la Seulles. INRS-Eau,  
rapport scientifique No. 72, 79 p. (Coopération Franco-Québécoise).
- DUBOIS, J.M.M. (1973).  
Les caractéristiques naturelles des Cantons de l'Est. Département  
de Géographie, Université de Sherbrooke.
- GIRARD, G., G. MORIN et R. CHARBONNEAU. (1972).  
Modèle précipitations-débits à discrétisation spatiale. Cahiers  
O.R.S.T.O.M., série hydrologique, XI(4):35-52.
- MCDONALD, B.C. (1969).  
Surficial Geology of La Patrie-Sherbrooke Area-Quebec, including  
Eaton River Watershed. Paper 67-52, Geological Survey of Canada,  
Dept. of Energy, Mines and Resources.
- TREMBLAY, R. (1976).  
Bassin représentatif-Rivière Eaton. Traits caractéristiques du  
régime d'écoulement, 1966-1973. Ministère des Richesses naturelles  
du Québec. Décennie Hydro. Int. Rapport D.H.Q.-9.
- ST-MARTIN, H. (1967).  
Relations entre les facteurs d'ordre géologique et les caractéris-  
tiques de l'écoulement. Etude bibliographique. Ministère des Ri-  
chesses naturelles du Québec. Décennie Hydro. Int. Rapport D.H.Q.-3.
- SIMARD, G. (1970).  
Etude hydrogéologique du bassin de la rivière Eaton. Service de  
l'Hydrogéologie. Ministère des Richesses naturelles.