

Record Number: 1030

Author, Monographic: Morin, G.//Fortin, J. P.//Lardeau, J. P.//Sochanska, W.

Author Role:

Title, Monographic: Nouvelles simulations des débits de la rivière Eaton : utilisation des relevés piézométriques et des photos satellites, influence de la réduction de l'information météorologique et physiographique de base

Translated Title:

Reprint Status:

Edition:

Author, Subsidiary:

Author Role:

Place of Publication: Québec

Publisher Name: INRS-Eau

Date of Publication: 1979

Original Publication Date:

Volume Identification:

Extent of Work: ix, 120

Packaging Method: pages

Series Editor:

Series Editor Role:

Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche

Series Volume ID: 103

Location/URL:

ISBN: 2-89146-100-2

Notes: Rapport annuel 1978-1979

Abstract: Rapport rédigé pour Environnement Canada
20.00\$

Call Number: R000103

Keywords: rapport/ ok/ dl

Nouvelles simulations des débits de la rivière Eaton: utilisation des relevés piézométriques et des photos satellites, influence de la réduction de l'information météorologique et physiographique de base

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 103
1979

Rapport rédigé pour
Environnement Canada

par

G. Morin, J.P. Fortin, J.P. Lardeau, W. Sochanska

ISBN 2-89146-100-2

DEPOT LEGAL 1979

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

© 1979 - Institut national de la recherche scientifique

Nouvelles simulations des débits de la rivière Eaton:
utilisation des relevés piézométriques et
des photos satellites, influence de la réduction
de l'information météorologique et physiographique de base

RESUME

La précision des simulations des débits est fonction non seulement de la qualité des données météorologiques et physiographiques mais également du nombre de données utilisées. Ce rapport analyse les débits simulés dans le but de faire ressortir l'influence du nombre de stations météorologiques utilisées et de la dimension de la grille découpant le bassin versant.

Ce projet montre également qu'après avoir calé le modèle sur un minimum d'années, il est possible de simuler pour une longue période, des débits ayant des caractéristiques statistiques semblables aux débits observés.

Les données piézométriques sont utilisées pour vérifier s'il y a concordance entre les niveaux calculés par le modèle et ceux mesurés pour la nappe phréatique.

Finalement, les images satellites et les données nivométriques sont utilisées pour vérifier le synchronisme du retrait du manteau nival calculé par le modèle et ainsi améliorer la simulation des débits.

Mots-clé

Modèle, simulation, hydrologie, déterministe, CEQUEAU, bassin, écoulement, débit, grille, carré, carreau, calage, piézométrie, niveau, image, satellite, manteau nival, station météorologique, paramètre statistique, calcul, mesure, réservoir NAPPE, aquifère, télédétection, neige, rivière, Eaton.

Référence

MORIN, G., FORTIN, J.P., LARDEAU, J.P. et SOCHANSKA, W. (1979).
Nouvelles simulations des débits de la rivière Eaton: utilisation des relevés piézométriques et des photos satellites, influence de la réduction de l'information météorologique et physiographique de base. INRS-Eau, rapport scientifique No 103, 120 p. (Pour Environnement Canada).

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
RESUME.....	i
TABLE DES MATIERES.....	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES FIGURES.....	vii
 INTRODUCTION.....	 1
 CHAPITRE 1 - MESURE DE L'INFLUENCE D'UNE REDUCTION DE L'INFORMATION METEOROLOGIQUE DE BASE.....	 5
1.1 Paramètres du modèle CEQUEAU.....	7
1.2 Calage du modèle.....	8
1.3 Simulation des débits.....	8
1.4 Analyse des résultats.....	11
1.4.1 Débits mensuels.....	15
1.4.2 Débits mensuels classés.....	15
1.4.3 Débits journaliers classés.....	15
1.4.4 Débits minimums moyens pour N jours.....	16
1.4.5 Débits maximums moyens pour N jours.....	16
1.5 Conclusion.....	16
 CHAPITRE 2 - INFLUENCE SUR LES DEBITS SIMULES DE LA DIMENSION DE LA GRILLE SERVANT AU DECOUPAGE DU BASSIN VERSANT.....	 37
2.1 Découpage du bassin versant.....	39
2.2 Simulation des débits.....	39
2.3 Analyse des résultats.....	42
2.3.1 Débits mensuels.....	42
2.3.2 Débits mensuels classés.....	42
2.3.3 Débits journaliers classés.....	42

2.3.4	Débits minimums moyens pour N jours.....	42
2.3.5	Débits maximums moyens pour N jours.....	43
2.4	Conclusion.....	43
CHAPITRE 3	- COMPARAISON DES VARIATIONS DU RESERVOIR "NAPPE" DU MODELE CEQUEAU AUX VARIATIONS DE CERTAINS PIEZOMETRES....	65
3.1	Les eaux souterraines dans le bassin de la rivière Eaton.	67
3.2	Méthodologie de l'étude.....	68
3.3	Comparaison des variations de niveau des piézomètres F-1-P et F-4-P à celles de la lame d'eau du réservoir NAPPE sur le carreau 12-12, en 1970 et 1971.....	71
3.4	Comparaison des variations de niveau des piézomètres F-9-P, F-10-P et F-11-P à celles de la lame d'eau du réservoir NAPPE sur le carreau 14-14, en 1970 et 1971....	74
3.5	Conclusion.....	76
CHAPITRE 4	- AMELIORATION DE LA SIMULATION DES DEBITS GRACE A L'UTILISATION DES INFORMATIONS FOURNIES PAR LA TELEDETECTION ET LES LIGNES DE NEIGE.....	77
4.1	Cartographie du manteau nival par télédétection.....	79
4.2	Simulation et cartographie de la fonte de neige sur le modèle CEQUEAU.....	80
4.3	Méthodologie de l'étude.....	81
4.4	Simulation de référence, basée uniquement sur les chutes de neige (simulation No 1).....	83
4.5	Simulation basée sur les chutes de neige et les informations fournies par satellite (simulation No 2)...	102
4.6	Simulation basée sur les chutes de neige, les informations fournies par satellite et un relevé de neige au sol en février (simulation No 3).....	103
4.7	Simulation basée sur les chutes de neige, les informations fournies par satellite, un relevé de neige au sol en février 1974 et 1975 et un second uniquement en avril 1975 (simulation No 4).....	116
4.8	Conclusion.....	117
REFERENCES	BIBLIOGRAPHIQUES.....	119

LISTE DES TABLEAUX

		<u>Page</u>
1.1	Paramètres ou constantes intervenant dans le modèle CEQUEAU...	9
1.2	Valeurs des paramètres du modèle CEQUEAU utilisés pour la simulation des débits de la rivière Eaton.....	10
1.3	Stations météorologiques du bassin versant de la rivière Eaton.....	12
3.1	Caractéristiques des piézomètres F-1-P et F-4-P.....	70
3.2	Caractéristiques des piézomètres F-9-P, F-10-P et F-11-P.....	71
3.3	Modifications apportées aux valeurs de quelques paramètres afin de mieux simuler les piézomètres.....	72
4.1	Stations nivométriques sur le bassin de la rivière Eaton, utilisées pour corriger l'équivalent en eau de la neige au sol.....	84
4.2	Valeurs prises par les paramètres du modèle CEQUEAU pour les quatre simulations.....	85
4.3	Comparaison des débits maximums observés à différentes dates, au printemps, à la station 030234. Pour chaque simulation, la première ligne (A) présente les débits calculés et la seconde ligne (B) indique la différence entre le débit calculé et le débit observé.....	89
4.4	Comparaison des lames écoulées (en pouces) observées et calculées, au printemps, à la station 030234. Pour chaque simulation, la première ligne (A) présente les valeurs calculées et la seconde ligne (B) indique la différence entre la lame calculée et la lame observée.....	90
4.5	Dates et identifications des images LANDSAT disponibles pour la période étudiée.....	88
4.6	Corrections des équivalents en eau (pouces) de la neige sur le bassin à l'aide des relevés nivométriques aux stations identifiées dans le tableau.....	115

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
1.1	Emplacement sur le bassin versant de la rivière Eaton des stations météorologiques utilisées..... 13
1.2	Débits mensuels (observés et calculés)..... 17
1.3	Débits mensuels (observés et calculés)..... 18
1.4	Débits mensuels (observés et calculés)..... 19
1.5	Débits mensuels (observés et calculés)..... 20
1.6	Débits mensuels classés (observés et calculés)..... 21
1.7	Débits mensuels classés (observés et calculés)..... 22
1.8	Débits mensuels classés (observés et calculés)..... 23
1.9	Débits mensuels classés (observés et calculés)..... 24
1.10	Débits journaliers classés (observés et calculés)..... 25
1.11	Débits journaliers classés (observés et calculés)..... 26
1.12	Débits journaliers classés (observés et calculés)..... 27
1.13	Débits journaliers classés (observés et calculés)..... 28
1.14	Débits minima pour N jours consécutifs (observés et calculés)..... 29
1.15	Débits minima pour N jours consécutifs (observés et calculés)..... 30
1.16	Débits minima pour N jours consécutifs (observés et calculés)..... 31
1.17	Débits minima pour N jours consécutifs (observés et calculés)..... 32
1.18	Débits maxima pour N jours consécutifs (observés et calculés)..... 33
1.19	Débits maxima pour N jours consécutifs (observés et calculés)..... 34
1.20	Débits maxima pour N jours consécutifs (observés et calculés)..... 35

1.21	Débits maxima pour N jours consécutifs (observés et calculés).....	36
2.1	Le bassin de la rivière Eaton subdivisé par une grille de 2 km de côté.....	40
2.2	Le bassin de la rivière Eaton subdivisé par une grille de 4 km de côté.....	41
2.3	Débits mensuels (observés et calculés).....	44
2.4	Débits mensuels (observés et calculés).....	45
2.5	Débits mensuels (observés et calculés).....	46
2.6	Débits mensuels (observés et calculés).....	47
2.7	Débits mensuels classés (observés et calculés).....	48
2.8	Débits mensuels classés (observés et calculés).....	49
2.9	Débits mensuels classés (observés et calculés).....	50
2.10	Débits mensuels classés (observés et calculés).....	51
2.11	Débits journaliers classés (observés et calculés).....	52
2.12	Débits journaliers classés (observés et calculés).....	53
2.13	Débits journaliers classés (observés et calculés).....	54
2.14	Débits journaliers classés (observés et calculés).....	55
2.15	Débits minima pour N jours consécutifs (observés et calculés).....	56
2.16	Débits minima pour N jours consécutifs (observés et calculés).....	57
2.17	Débits minima pour N jours consécutifs (observés et calculés).....	58
2.18	Débits minima pour N jours consécutifs (observés et calculés).....	59
2.19	Débits maxima pour N jours consécutifs (observés et calculés).....	60
2.20	Débits maxima pour N jours consécutifs (observés et calculés).....	61

2.21	Débits maxima pour N jours consécutifs (observés et calculés).....	62
2.22	Débits maxima pour N jours consécutifs (observés et calculés).....	63
3.1	Le bassin de la rivière Eaton subdivisé par une grille de 4 km de côté.....	69
3.2	Variation du niveau des piézomètres F-1-P et F-4-P et de la lame d'eau dans le réservoir NAPPE du carreau 12-12, en 1970..	73
3.3	Variation du niveau du piézomètre F-1-P et de la lame d'eau dans le réservoir NAPPE du carreau 12-12, en 1971.....	73
3.4	Variation du niveau des piézomètres F-9-P, F-10-P et F-11-P et de la lame d'eau dans le réservoir NAPPE du carreau 14-14, en 1970.....	75
3.5	Variation du niveau des piézomètres F-9-P, F-10-P et F-11-P et de la lame d'eau dans le réservoir NAPPE du carreau 14-14, en 1971.....	75
4.1	Le bassin de la rivière Eaton subdivisé par une grille de 4 km de côté.....	82
4.2	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton.....	86
4.3	Débits observés et débits calculés sur le bassin versant de la rivière Eaton.....	87
4.4	Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1974..	92
4.5	Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1975..	104

INTRODUCTION

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" a été subventionné par Environnement Canada dans le cadre du programme de subvention à la recherche sur les ressources en eau.

La précision des simulations des débits peut être fonction non seulement de la qualité des données météorologiques et physiographiques mais dépend également du nombre de données utilisées. Nous nous attacherons dans ce rapport à analyser les débits simulés dans le but de faire ressortir l'influence du nombre de stations météorologiques utilisées et de la dimension de la grille découpant le bassin versant.

Ces projets montrent également qu'après avoir calé le modèle sur un minimum d'années, il est possible de simuler pour une longue période, des débits ayant des caractéristiques statistiques semblables aux débits observés.

Les données piézométriques sont utilisées pour vérifier s'il y a concordance entre les niveaux calculés par le modèle et les niveaux mesurés.

Finalement, les images satellites et les données nivométriques sont utilisées pour vérifier le retrait du manteau nival par le modèle et améliorer la simulation des débits.

CHAPITRE 1

MESURE DE L'INFLUENCE D'UNE REDUCTION
DE L'INFORMATION METEOROLOGIQUE DE BASE

L'analyse par composantes principales des précipitations du bassin versant de la rivière Eaton (Charbonneau *et al.*, 1978) a fait ressortir que les précipitations mesurées aux stations météorologiques du bassin versant de la rivière Eaton sont redondantes et que ces stations forment quatre groupes qui varient peu d'une saison à l'autre. L'analyse par interpolation optimale (Charbonneau *et al.*, 1978) a montré que l'erreur d'interpolation dépend en grande partie de l'erreur de mesure ou de micro-climat et que sur le bassin versant total, cette erreur varie peu si l'on passe d'un réseau de 30 stations à 5 stations météorologiques.

Compte tenu de ces informations, il est intéressant d'étudier l'influence de la réduction du nombre de stations météorologiques sur les débits simulés. Pour ce faire, nous avons comparé les statistiques des débits calculés pour une longue période continue obtenus avec chacun des réseaux.

L'étude des débits observés pour cette même période a, elle aussi, été réalisée dans le but de vérifier si les débits calculés présentent les mêmes caractéristiques statistiques que les débits observés, même si les paramètres du modèle ont été ajustés en utilisant les données de quelques années seulement.

1.1 PARAMETRES DU MODELE CEQUEAU

Le modèle CEQUEAU, décrit précédemment (Charbonneau *et al.*, 1977), utilise une représentation du sol sous forme de différents réservoirs communiquant entre eux à l'aide de relations mathématiques, définies par des paramètres et constantes. Ces réservoirs reproduisent au pas de temps journalier les différents transferts de masse.

Les paramètres des réservoirs sont conçus de façon à permettre la simulation de régimes très variables. Toutefois, pour un régime hydrologique donné un certain nombre de paramètres peuvent être gardés à des

valeurs constantes, ce qui revient à alléger le modèle.

La définition des termes "paramètre" et "constante" doit être explicitée ainsi; le terme "paramètre" peut signifier:

- un paramètre proprement dit, uniquement déterminé par essai et erreur;
- un paramètre déterminé par la physique du phénomène. Il est alors fixé par des études extérieures au modèle. C'est le cas, par exemple, des paramètres de fonte de neige.

Une "constante" est déterminée à l'aide des caractéristiques hydrologiques et physiographiques du bassin étudié (ex.: latitude moyenne, temps de concentration du bassin versant).

Les paramètres qui interviennent dans le modèle CEQUEAU, listés au tableau 1.1, sont groupés selon les différentes parties du cycle hydrologique dans lesquelles ils interviennent.

1.2 CALAGE DU MODELE

Le calage du modèle sur le bassin versant de la rivière Eaton ayant été fait (Charbonneau *et al.*, 1977) en utilisant 25 stations météorologiques pour les années 1972 à 1975, nous utiliserons pour cette étude les mêmes valeurs des paramètres. Le tableau 1.2 présente les valeurs des paramètres retenus.

1.3 SIMULATION DES DEBITS

Les débits de la rivière Eaton ont été simulés en utilisant les paramètres du tableau 1.2; premièrement, à partir d'un réseau de 10 stations météorologiques et, deuxièmement, d'un réseau très réduit de 3 stations seulement. Le choix des stations retenues a été fait en

TABLEAU 1.1 Paramètres ou constantes intervenant dans le modèle CEQUEAU.

Onze paramètres des réservoirs sol-nappe-marais:

CIN	(a)	coefficient d'infiltration dans le réservoir nappe;
CVMAR	(a)	coefficient de vidange des lacs et marais;
CVNB	(a)	coefficient de vidange nappe (vidange basse);
CVNH	(a)	coefficient de vidange nappe (vidange haute);
CVSB	(a)	coefficient de vidange sol (vidange basse);
CVSI	(a)	coefficient de vidange sol (vidange intermédiaire);
HINF	(a)	hauteur d'infiltration vers la nappe;
HINT	(a)	hauteur de vidange de l'écoulement retardé du réservoir sol;
HMAR	(a)	hauteur du réservoir lac et marais;
HNAP	(a)	hauteur de la sortie rapide du réservoir nappe;
HSOL	(a)	hauteur du réservoir sol.

Sept paramètres régissant la fonte de neige:

STRNE	(b)	seuil de transformation pluie-neige;
TEC	(b)	taux de fonte en forêt;
TFD	(b)	taux de fonte en clairière;
TSC	(b)	seuil de température de fonte en forêt;
TSD	(b)	seuil de température de fonte en clairière;
TTD	(b)	coefficient de déficit calorifique de la neige;
TTS	(b)	température de transformation du stock de neige.

Quatre paramètres qui gouvernent l'évapotranspiration:

EVNAP	(a)	pourcentage d'évapotranspiration pris dans la nappe;
HPOT	(a)	hauteur de prélèvement de l'eau à taux potentiel;
XAA	(b)	exposant de la formule de Thornthwaite;
XIT	(b)	valeur de l'index thermique de Thornthwaite.

Deux paramètres du transfert

EXXKT	(a)	paramètre d'ajustement du coefficient de transfert;
ZN	(c)	temps de concentration du bassin;

Six paramètres divers:

COEP	(b)	coefficient de correction des précipitations avec l'altitude;
JOEVA	(c)	{ variables décalant la date d'insolation potentielle maximale
JONEI	(c)	
XINFMA	(b)	infiltration maximale du jour;
XLA	(c)	latitude moyenne du bassin versant;
TRI	(c)	pourcentage de surface imperméable.

a : paramètre déterminé par essai et erreur

b : paramètre déterminé avec la physique du phénomène

c : constante déterminée à l'aide des caractéristiques hydrologiques et physiographiques du bassin versant.

TABLEAU 1.2 Valeurs des paramètres du modèle CEQUEAU utilisés pour la simulation des débits de la rivière Eaton.

<u>Paramètres des réservoirs</u>			
CIN	=	0.200	
CVMAR	=	0.025	
CVNB	=	0.15	
CVNH	=	NON UTILISE	
CVSB	=	NON UTILISE	
CVSI	=	0.350	
HINF	=	2.61	pouces
HINT	=	2.40	pouces
HMAR	=	10.00	pouces
HNAP	=	NON UTILISE	
HSOL	=	3.00	pouces
<u>Paramètres de la fonte de neige</u>			
STRNE	=	30	°F
TFC	=	0.080	
TFD	=	0.070	
TSC	=	32	°F
TSD	=	27	°F
TTD	=	0.70	
TTS	=	30	°F
<u>Paramètres de l'évapotranspiration</u>			
HPOT	=	2.40	pouces
EVNAP	=	0	
XAA	=	1.00	
XIT	=	30.00	
<u>Paramètres de transfert</u>			
EXXKT	=	0.004	
NZ	=	1	jour
<u>Paramètres divers</u>			
COEP	=	0.009	pouce/pied
XINFMA	=	0.4	pouce/jour
XLA	=	45°30"	
JONEI	=	50	jours
JOEVA	=	80	jours
TRI	=	0	

tenant compte de l'étude de la qualité des données des précipitations faite antérieurement (Charbonneau *et al.*, 1977) et de leur emplacement sur le bassin versant. Ainsi, les trois stations du deuxième réseau étudié ont été classées comme étant "bonnes" et sont bien réparties sur le bassin versant de la rivière Eaton.

La liste des stations météorologiques utilisées pour cette étude apparaît au tableau 1.3 et leur emplacement est montré à la figure 1.1.

Les débits ont été simulés pour la période de 1966 à 1975 en utilisant un découpage de 4 km par 4 km (figure 1.2).

1.4 ANALYSE DES RESULTATS

Le modèle CEQUEAU calcule les débits à la sortie de chacun des carreaux partiels. Cependant, pour les besoins de cette étude, seuls les débits simulés aux emplacements des quatre stations hydrométriques où l'on dispose d'une longue période de débits observés seront analysés. Le tableau suivant présente les quatre bassins étudiés.

STATIONS	SURFACE (km ²)	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 Sawyerville	197	030242

Les statistiques simples des débits de chacun de ces sous-bassins ont été calculées pour la période commune de 1966 à 1975, sauf pour la

TABLEAU 1.3 Stations météorologiques du bassin versant de la rivière Eaton.

No	NUMERO FEDERAL	NOM	PRECIPITATION	TEMPERATURE	RESEAU DE 10 STATIONS	RESEAU DE 3 STATIONS
1	7021918	Cookshire	x	x	x	x
2	7022306	Eaton Second Branch	x	x	x	x
3	7023312	Island Brook	x	x	x	
4	7024263	Lawrence	x	x	x	
5	7024623	Maple Leaf	x	x	x	
6	7024624	Maple Leaf East	x	x	x	
7	7027372	St-Isidore d'Auckland	x	x	x	
8	7027800	Sawyerville	x		x	
9	7027802	Sawyerville North	x	x	x	
10	7028906	West Ditton	x	x	x	x

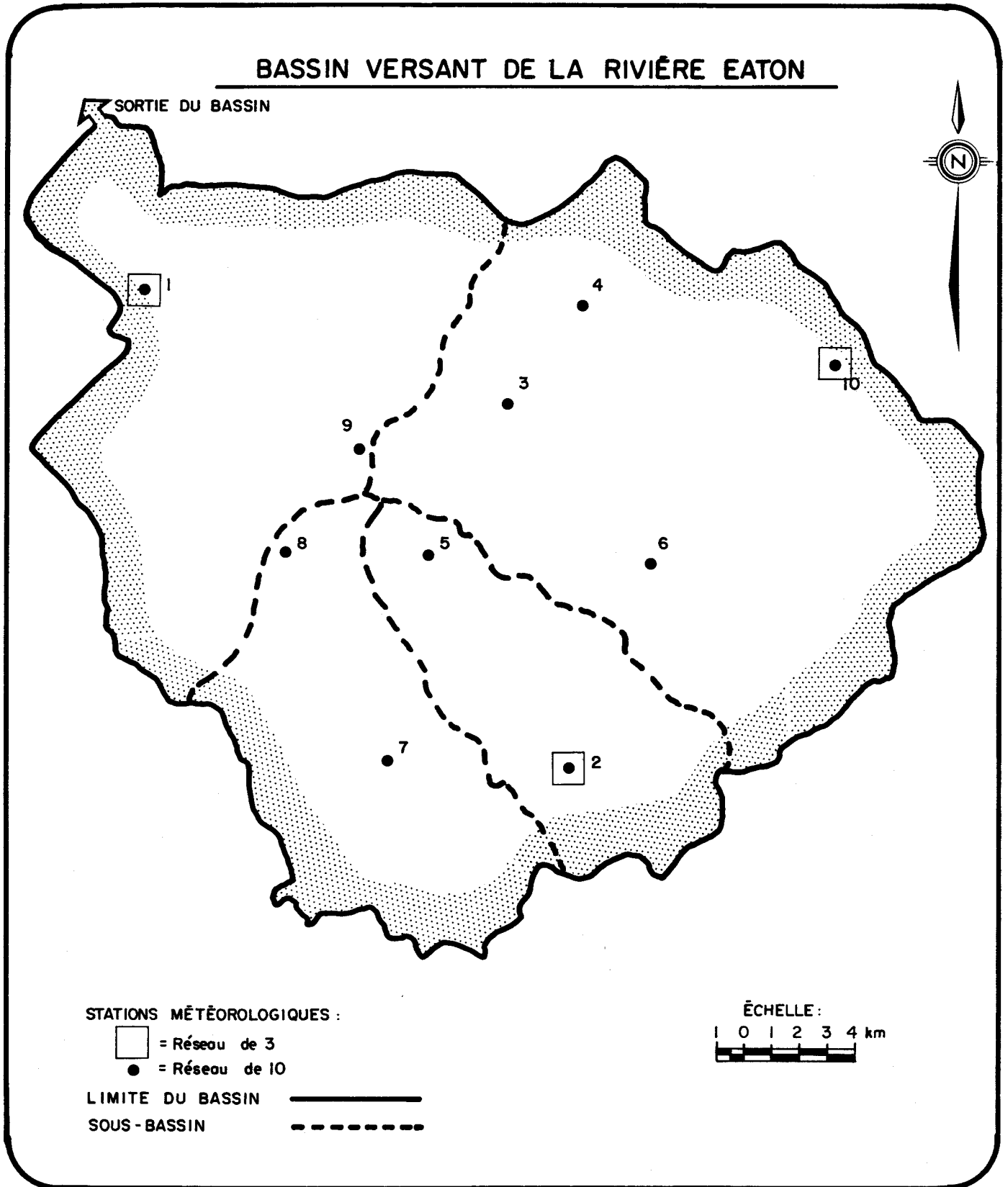


Figure 1.1. Emplacement sur le bassin versant de la rivière Eaton des stations météorologiques utilisées.

station 030242 où la période disponible est de 1967 à 1975.

Les statistiques calculées sur les trois séries de débits disponibles, c'est-à-dire les débits observés, les débits simulés avec 10 stations météorologiques et les débits simulés avec trois stations, sont les suivantes:

- *débits mensuels*: pour chacun des mois, on calcule les débits moyens mensuels dans le but de vérifier si la distribution dans le temps est respectée;
- *débits mensuels classés*: il s'agit de classer l'ensemble des débits mensuels et de leur donner une fréquence variant de 0 à 100%. Le graphique donnant les débits en fonction de la fréquence fait ressortir, s'il y a lieu, quelle gamme de débits n'est pas bien simulée;
- *débits journaliers classés*: les débits journaliers sont classés et affectés d'une fréquence de 0 à 100%;
- *débits minimums moyens pour N jours consécutifs*: pour chaque année, on détermine la période donnant le plus faible débit moyen pour la période de N jours consécutifs. Ainsi, pour $N = 1$ on prend le débit journalier minimal de l'année considérée. Pour $N = 30$ on recherche la période donnant le plus faible débit moyen, qui ne correspond pas nécessairement au débit mensuel, parce que la période peut s'étendre sur deux mois, soit par exemple du 10 mars au 10 avril. Pour limiter le temps de calcul, on effectue les calculs pour 1, 3, 7, 10, 15, 30, 60, 90, 120 et 150 jours consécutifs.

Les graphiques de ces résultats montrent clairement si les simulations respectent les longues périodes d'étiages;

- *débites maximums moyens pour N jours consécutifs*: on effectue les mêmes calculs que précédemment en utilisant cette fois-ci les débits maximums.

Pour faciliter l'interprétation, tous les résultats sont présentés sous forme de graphiques.

1.4.1 Débites mensuels

Les figures 1.2 à 1.5 montrent les débits moyens mensuels observés et calculés. Sur l'ensemble, on observe que les débits simulés avec 10 stations météorologiques sont plus près des débits observés que ceux calculés avec trois stations. On remarque de plus que les débits simulés surestiment les débits des mois d'automne.

1.4.2 Débites mensuels classés

Les débits mensuels classés sont présentés sur les figures 1.6 à 1.9. L'écart maximal entre les séries est observé pour les débits correspondant aux fréquences comprises entre 10 et 30%. Il est à noter que les débits simulés ont à peu près les mêmes fréquences au dépassement que les débits observés.

1.4.3 Débites journaliers classés

Les figures 1.10 à 1.13 montrent les débits journaliers classés pour les quatre stations étudiées. Sauf pour la station 030239, on remarque que les débits maximums simulés surestiment les débits observés, tandis que les débits minimums les sous-estiment. Les débits simulés à la station 030239 sous-estiment les débits observés.

1.4.4 Débits minimums moyens pour N jours

Les débits minimums moyens (observés et simulés) sont montrés sur les figures 1.14 à 1.17. On constate à l'aide de ces figures que pour des périodes inférieures à 90 jours les étiages sont surestimés aux stations 030238 et 030242 et sous-estimés à la station 030239 tandis qu'à la station 030234 les étiages observés et simulés sont semblables.

1.4.5 Débits maximums moyens pour N jours

Sur les figures 1.18 à 1.21 montrant les débits maximums moyens pour N jours consécutifs, on observe une bonne similitude des débits observés et calculés avec 10 stations météorologiques, sauf pour la station 030239 où la similitude est plus grande entre débits observés et débits calculés, en utilisant trois stations météorologiques. Les débits maximums calculés pour un jour sont supérieurs aux débits maximums observés pour la même période.

1.5 CONCLUSION

Bien que cette étude ait montrée que les débits simulés avec 10 stations météorologiques sont plus près des débits observés que ceux simulés en utilisant trois stations météorologiques, il est surtout intéressant de constater que le modèle calé sur un nombre limité d'années permet de reconstituer une longue série de débits à l'aide de peu de données météorologiques. En effet, même si les paramètres statistiques des débits simulés en utilisant trois postes météorologiques diffèrent légèrement des paramètres statistiques des débits observés, on considère qu'ils sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance des débits observés.

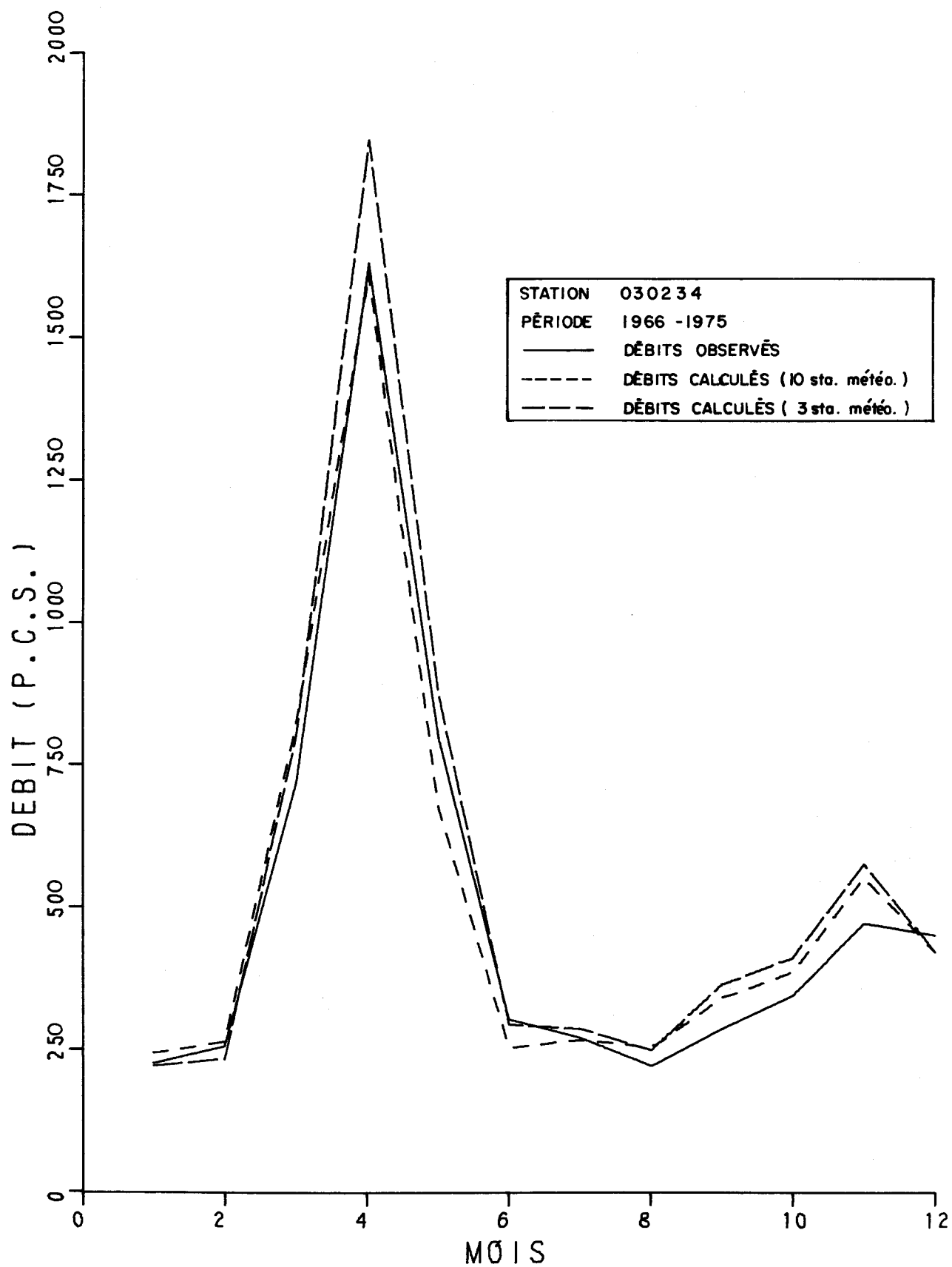


FIGURE 1.2 .DEBITS MENSUELS (OBSERVES ET CALCULES).

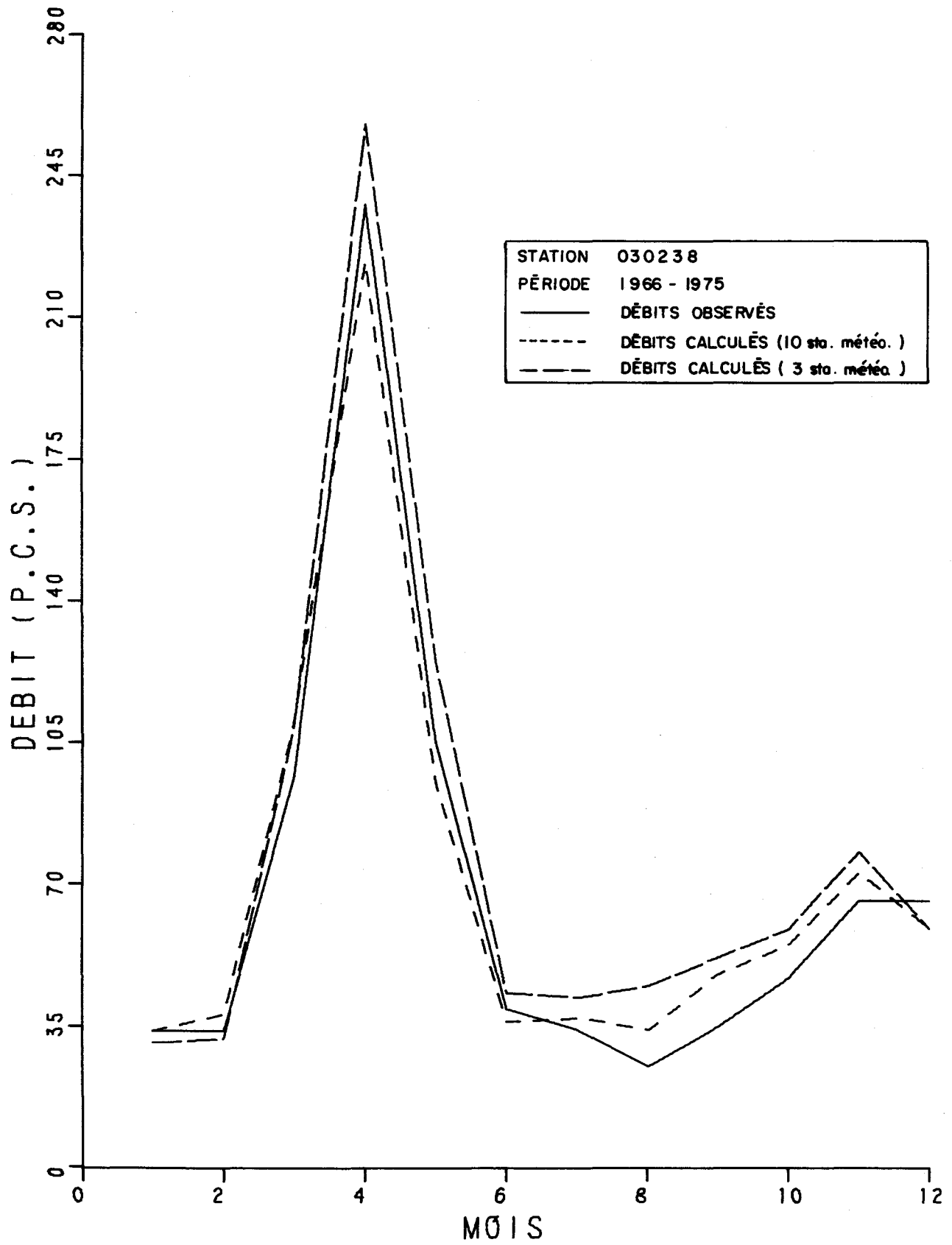


FIGURE 1.3. DÉBITS MENSUELS (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

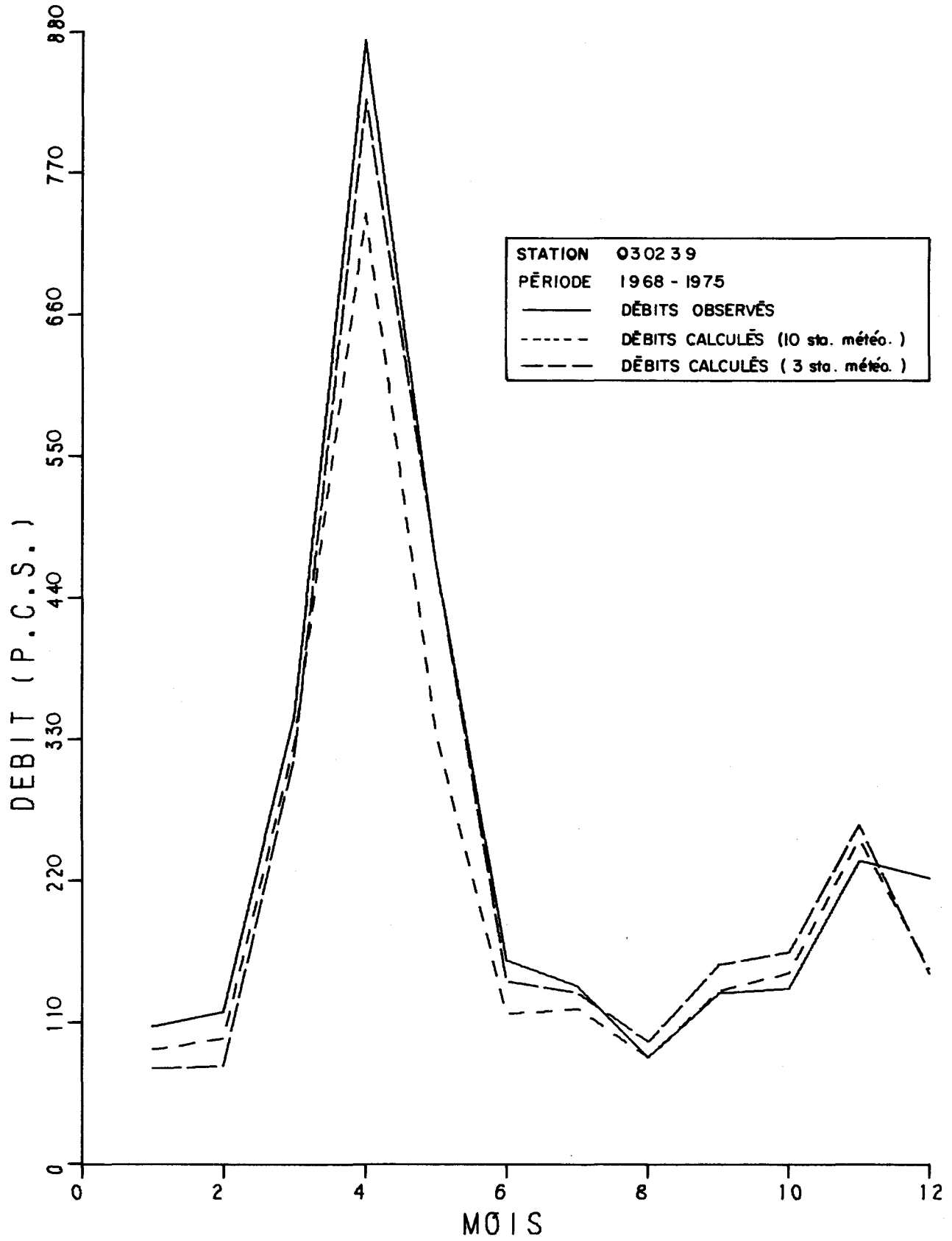


FIGURE 1.4. DEBITS MENSUELS (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

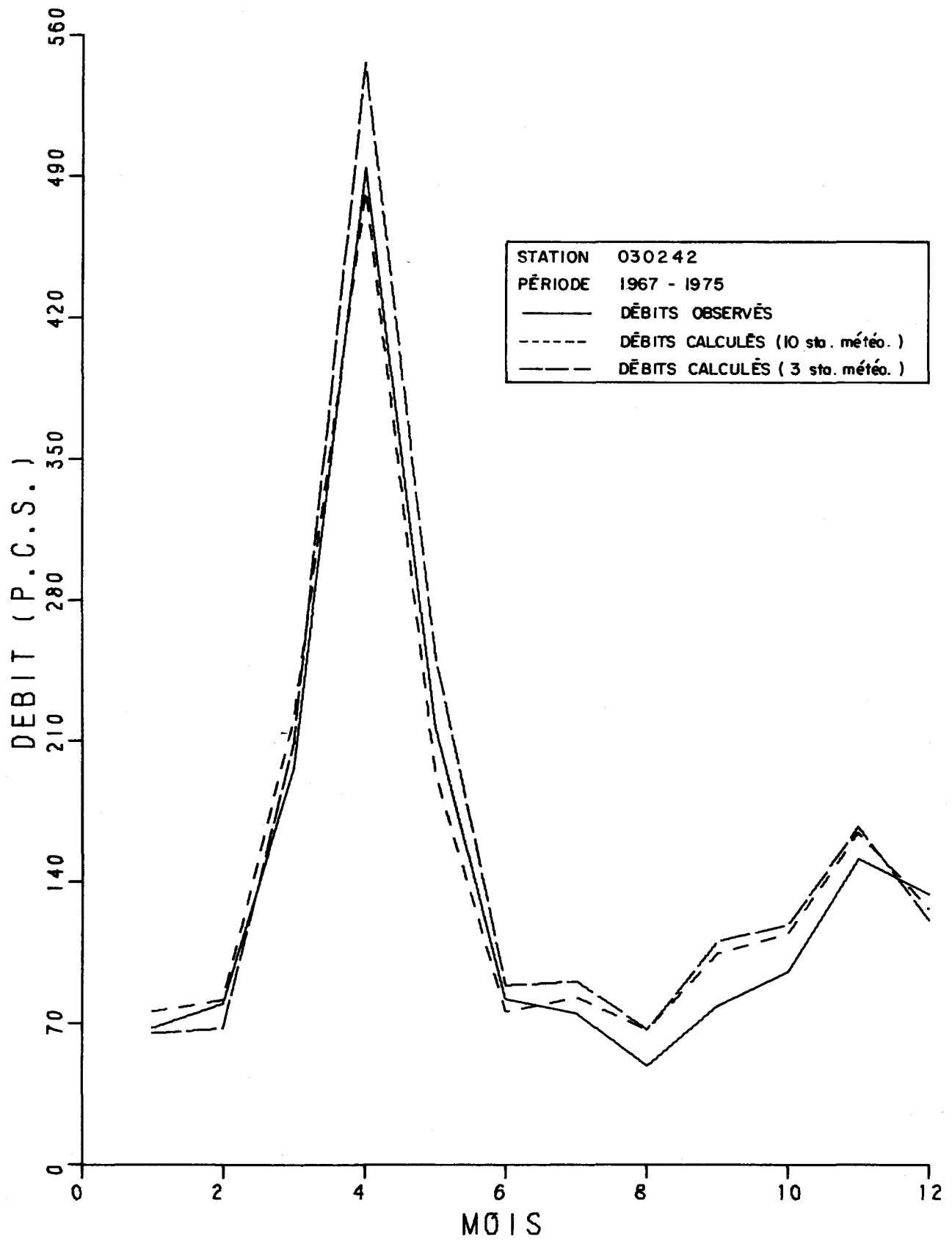


FIGURE 1.5. DÉBITS MENSUELS (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

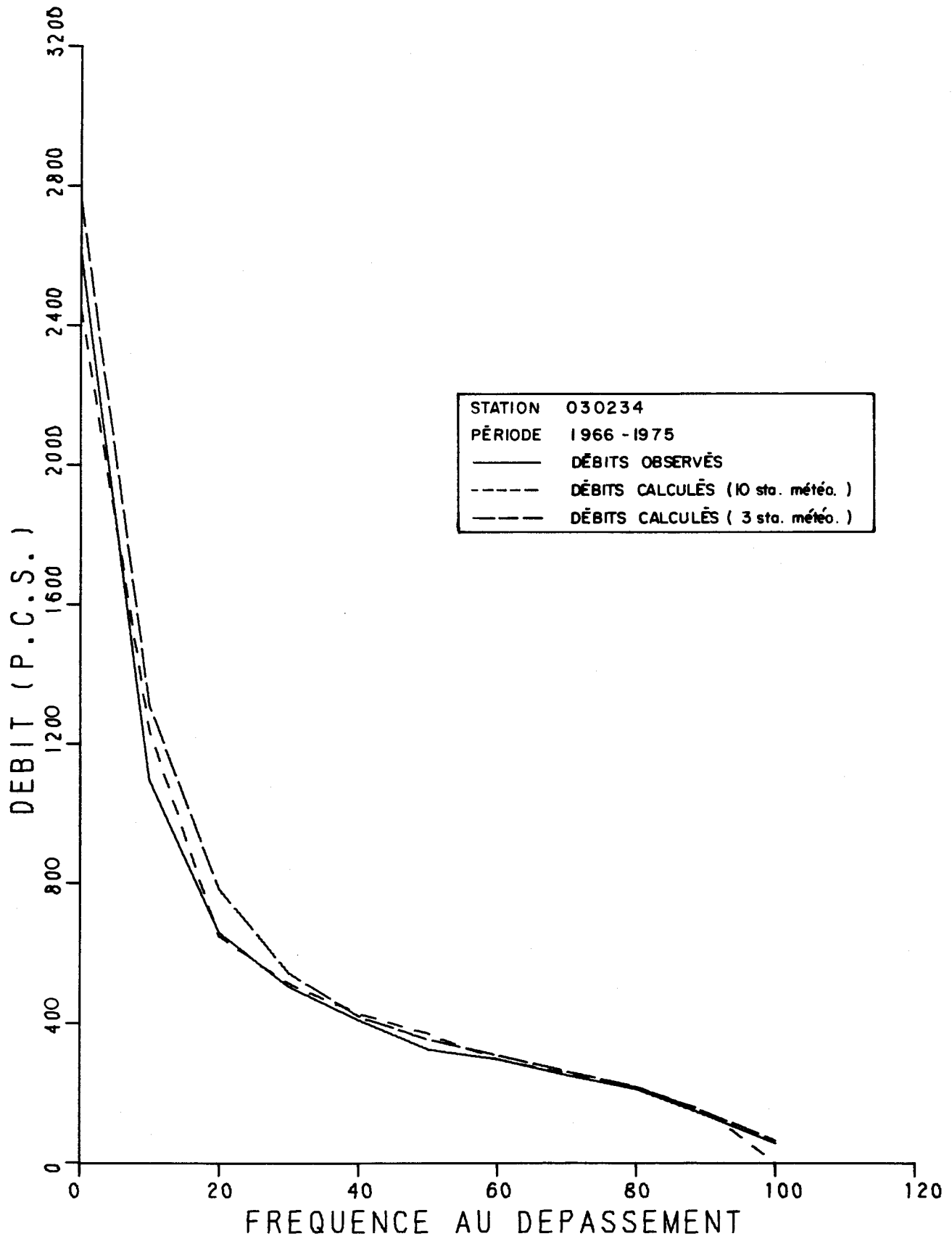


FIGURE 1.6. DÉBITS MENSUELS CLASSES (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

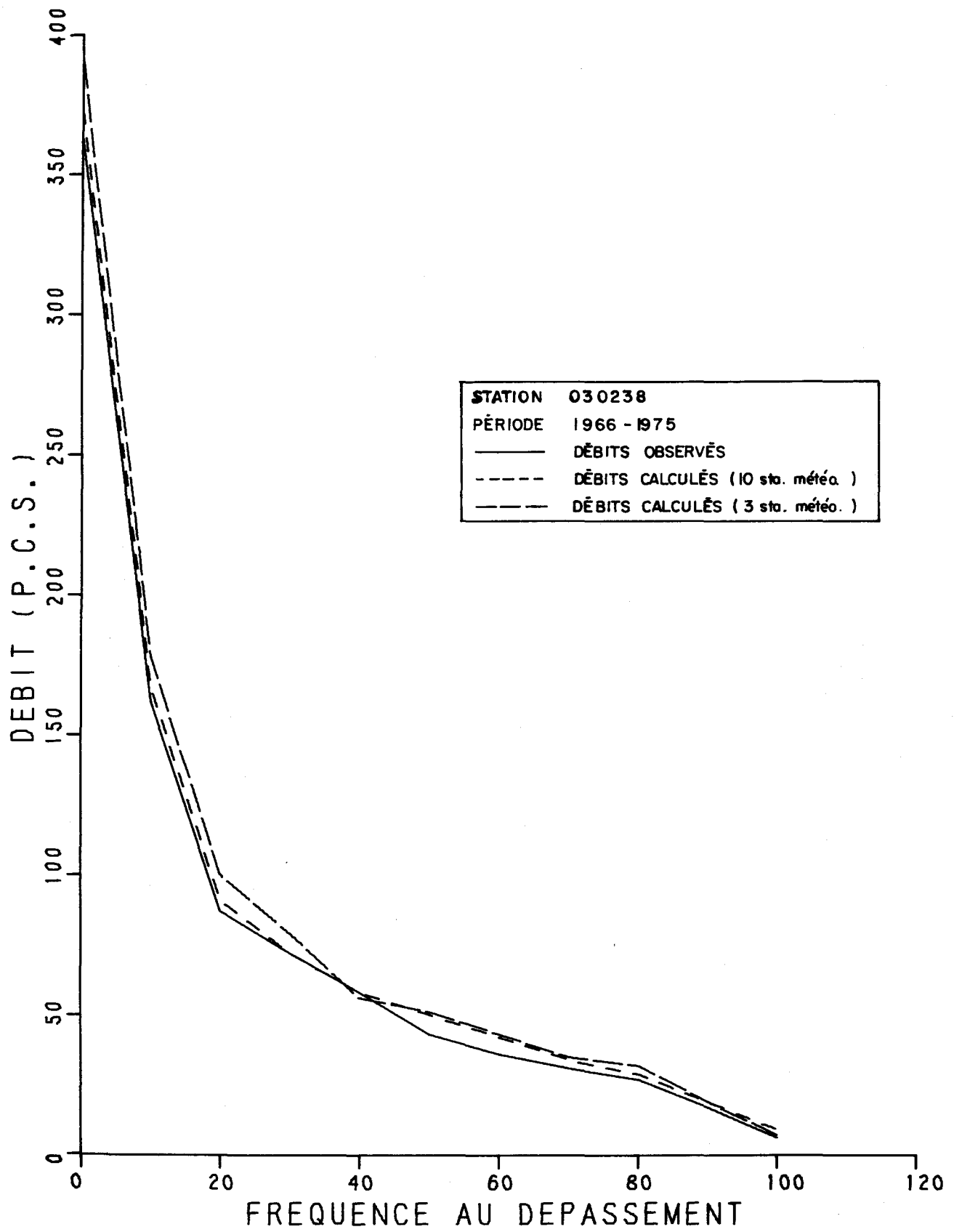


FIGURE 1.7. DÉBITS MENSUELS CLASSES (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

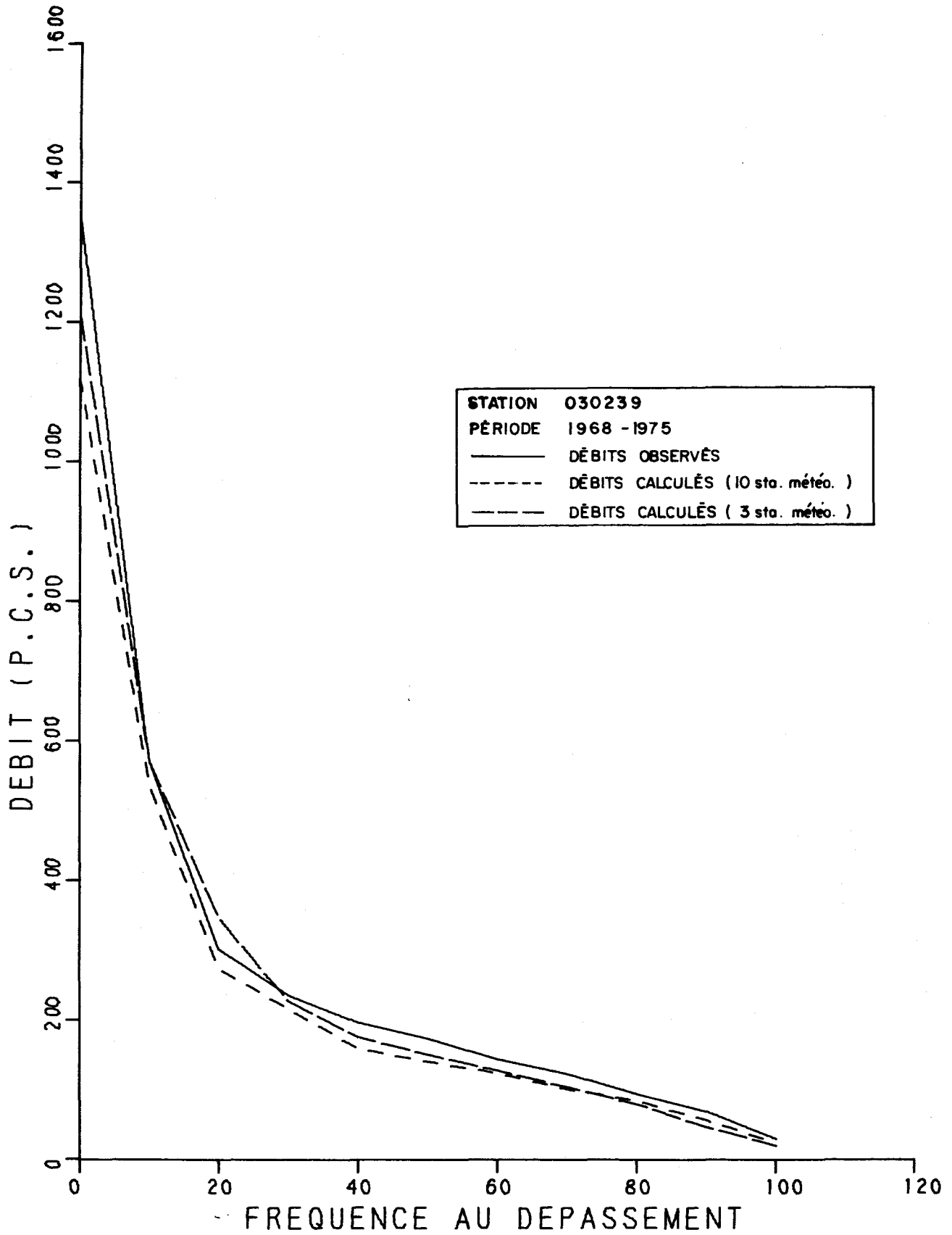


FIGURE 1.8 DÉBITS MENSUELS CLASSES (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

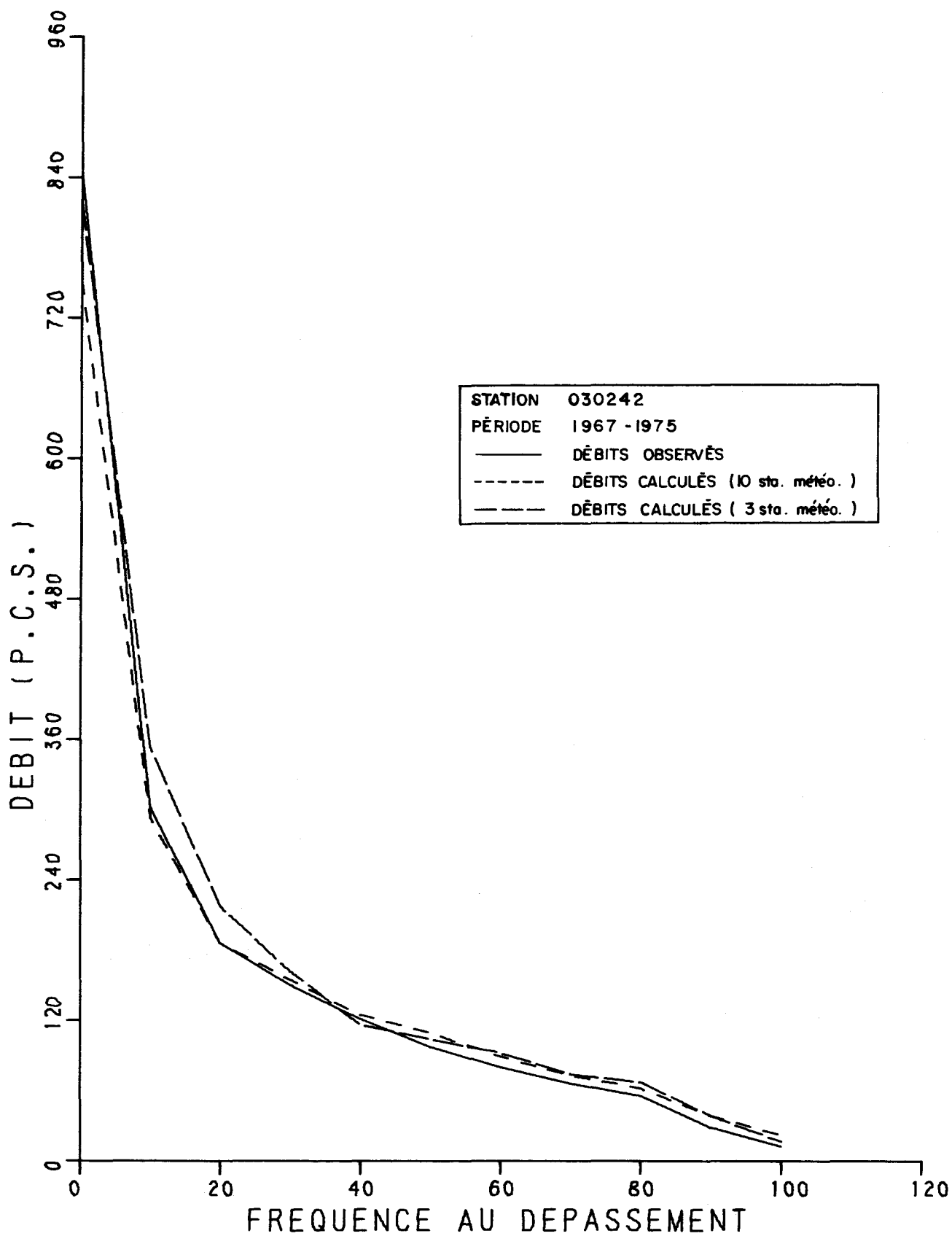


FIGURE 1.9. DÉBITS MENSUELS CLASSES (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

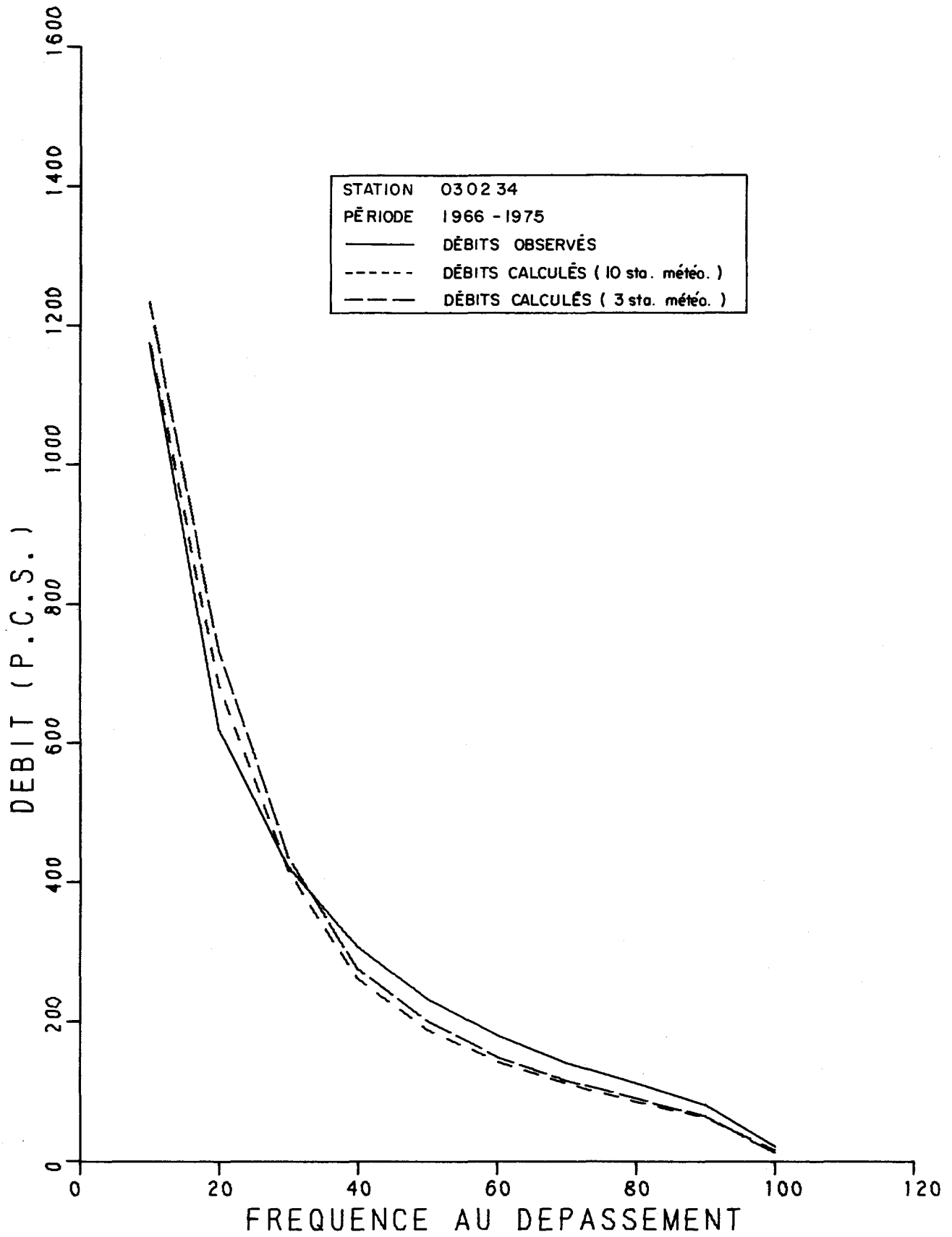


FIGURE I.10. DEBITS JOURNALIERS CLASSES (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

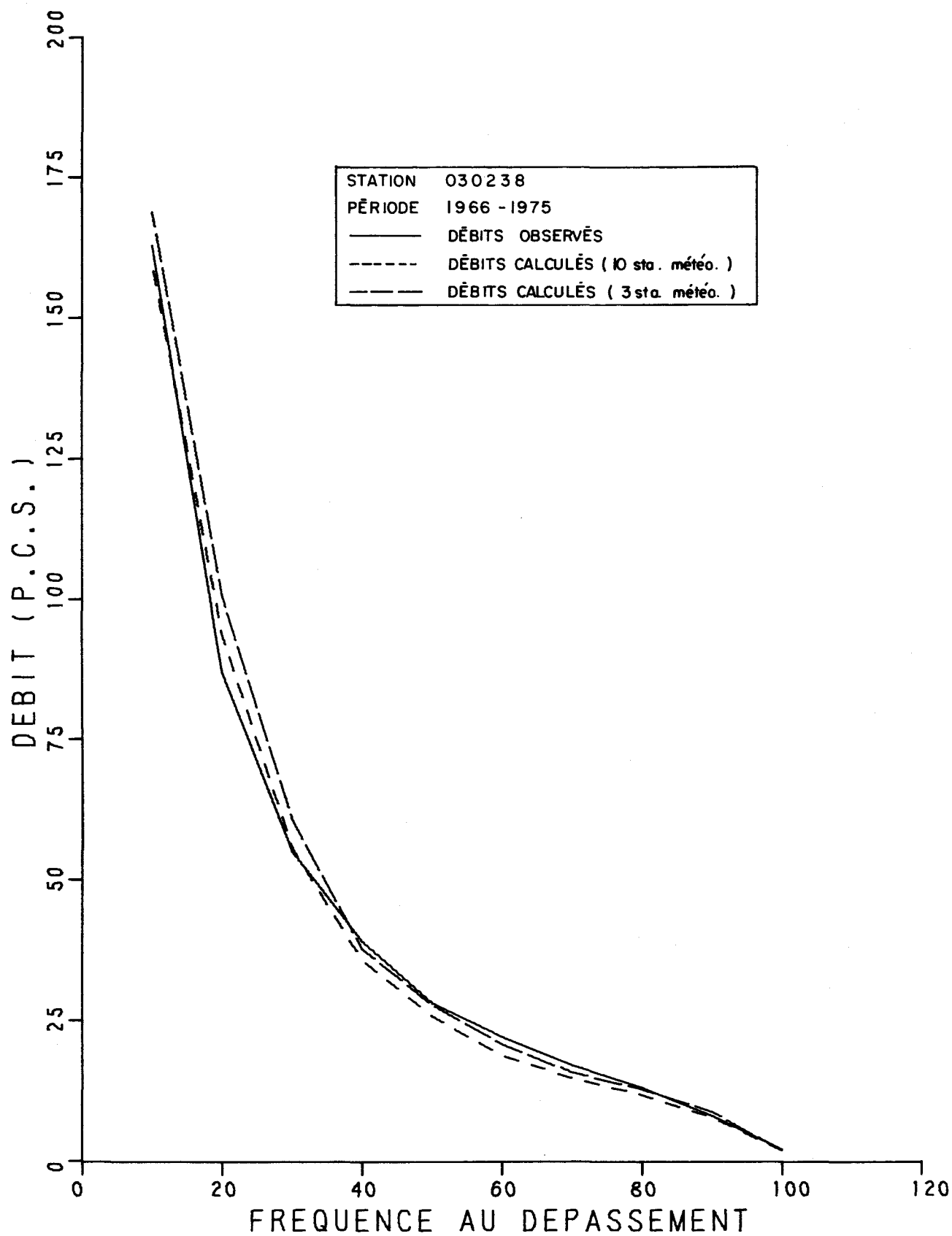


FIGURE I. II. DEBITS JOURNALIERS CLASSES (OBSERVES ET CALCULES).

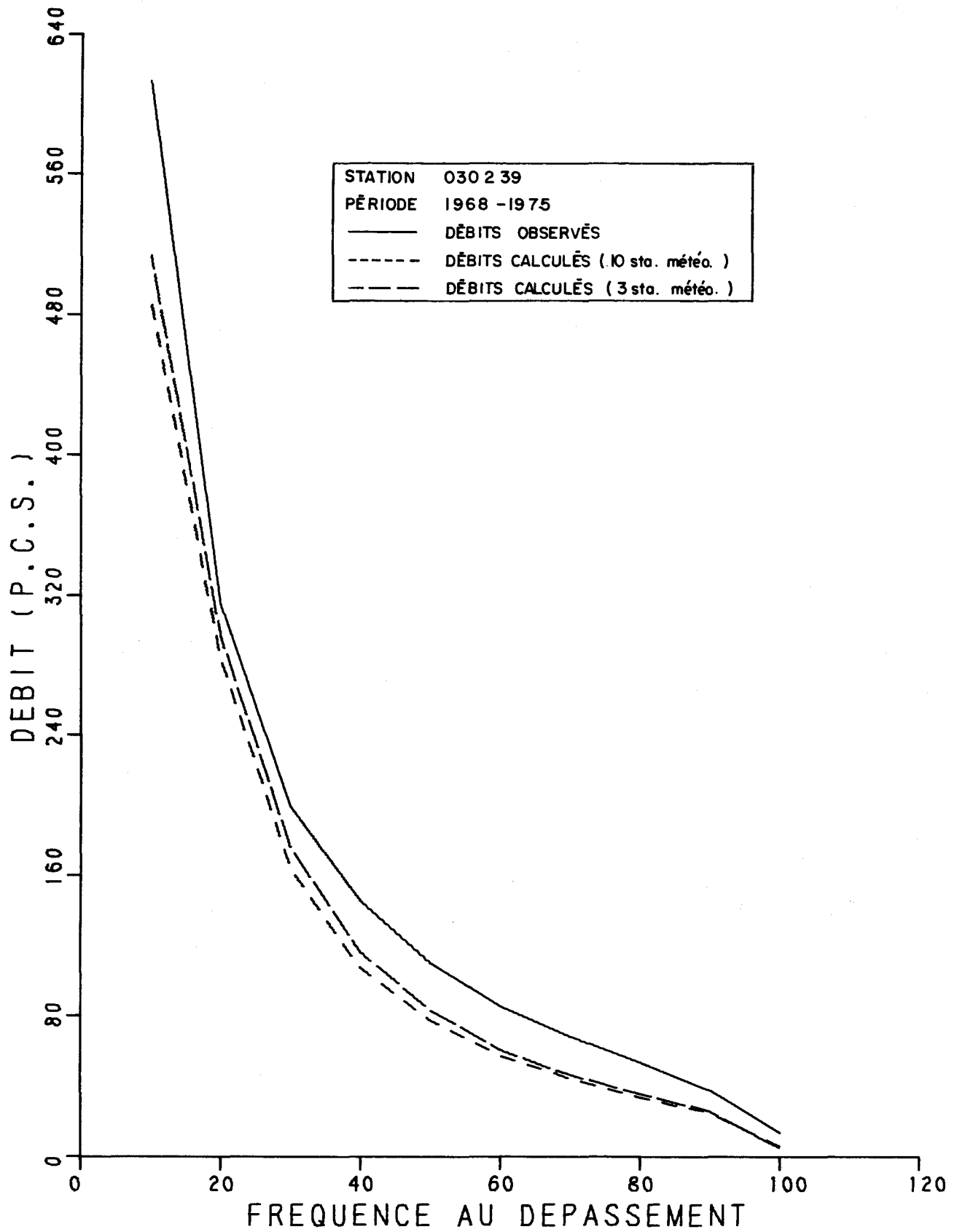


FIGURE 1.12. DÉBITS JOURNALIERS CLASSES (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

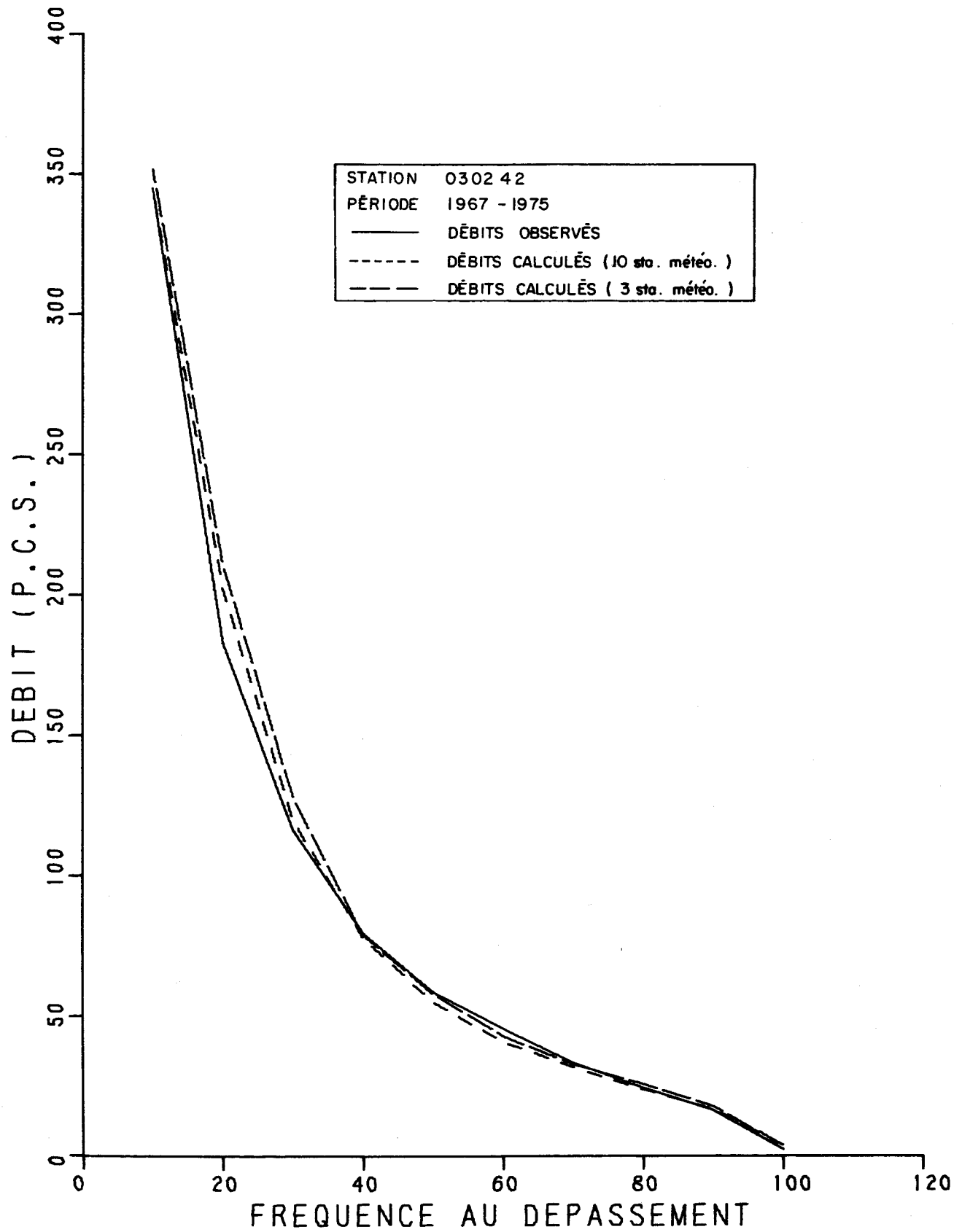


FIGURE I.13 DEBITS JOURNALIERS CLASSES (OBSERVES ET CALCULES).

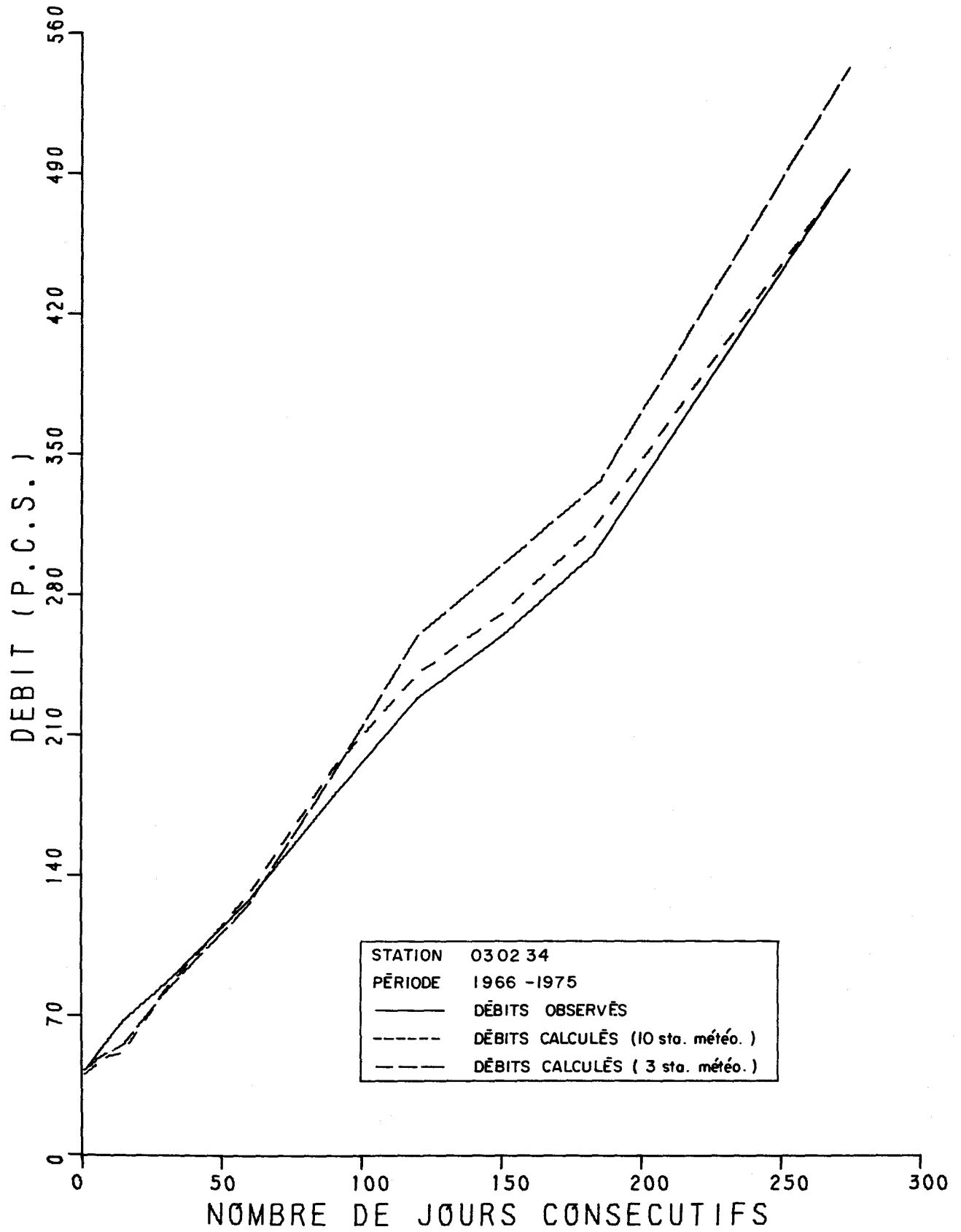


FIGURE 1.14. DEBITS MINIMA POUR N JOURS CONSECUTIFS (OBS. ET CAL.).

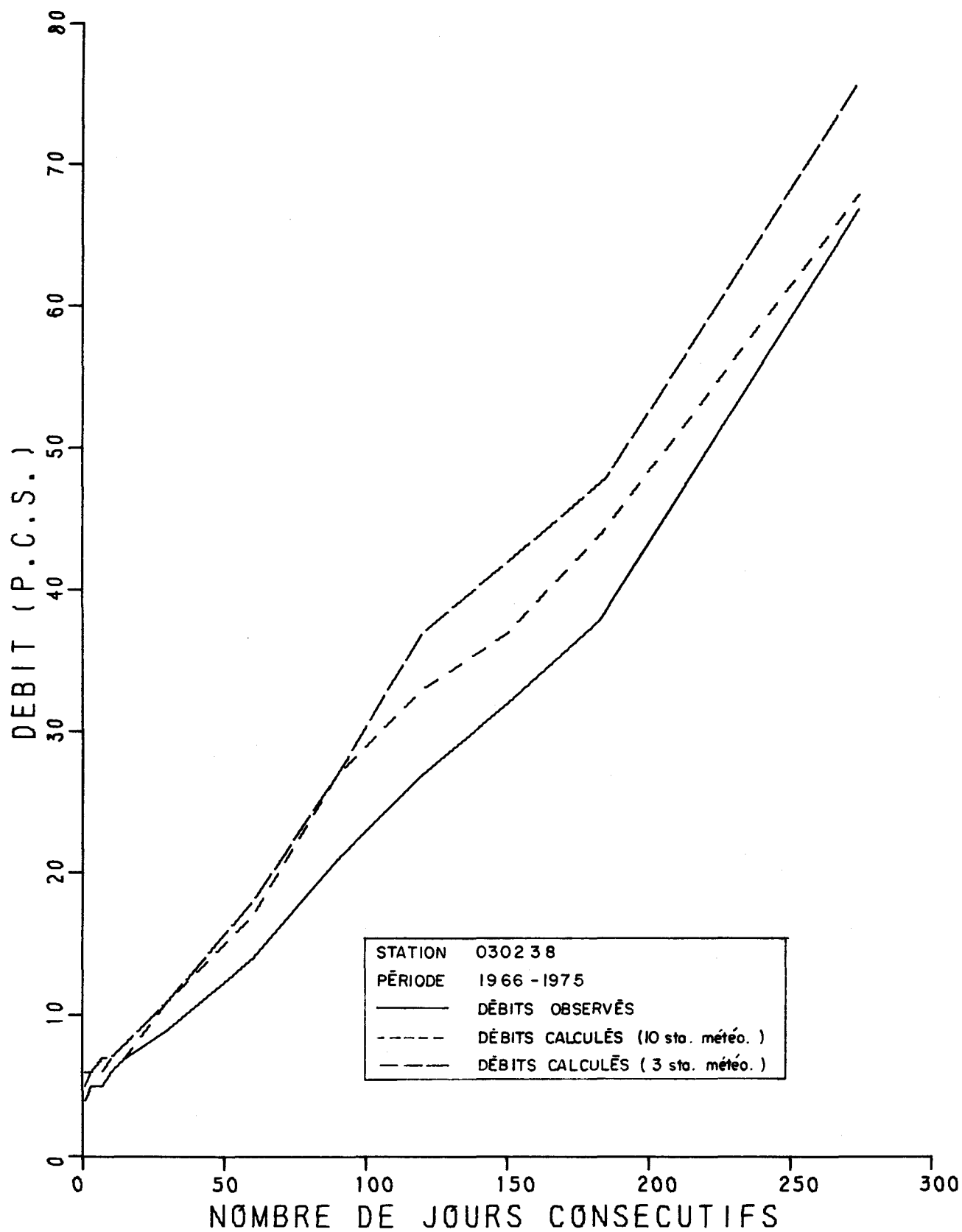


FIGURE 1.15 DEBITS MINIMA POUR N JOURS CONSECUTIFS (OBS. ET CAL.).

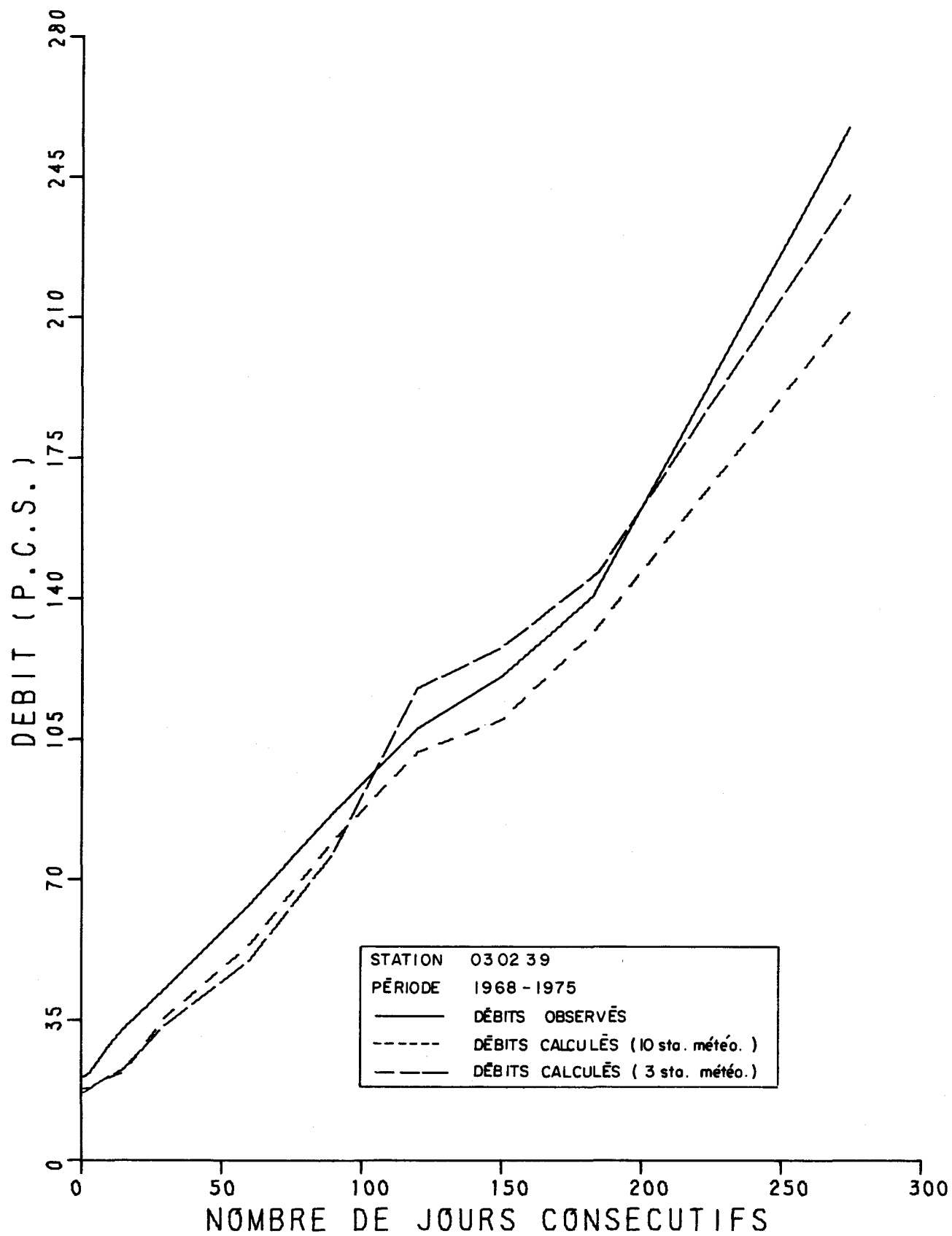


FIGURE 116. DEBITS MINIMA POUR N JOURS CONSECUTIFS (OBS. ET CAL.).

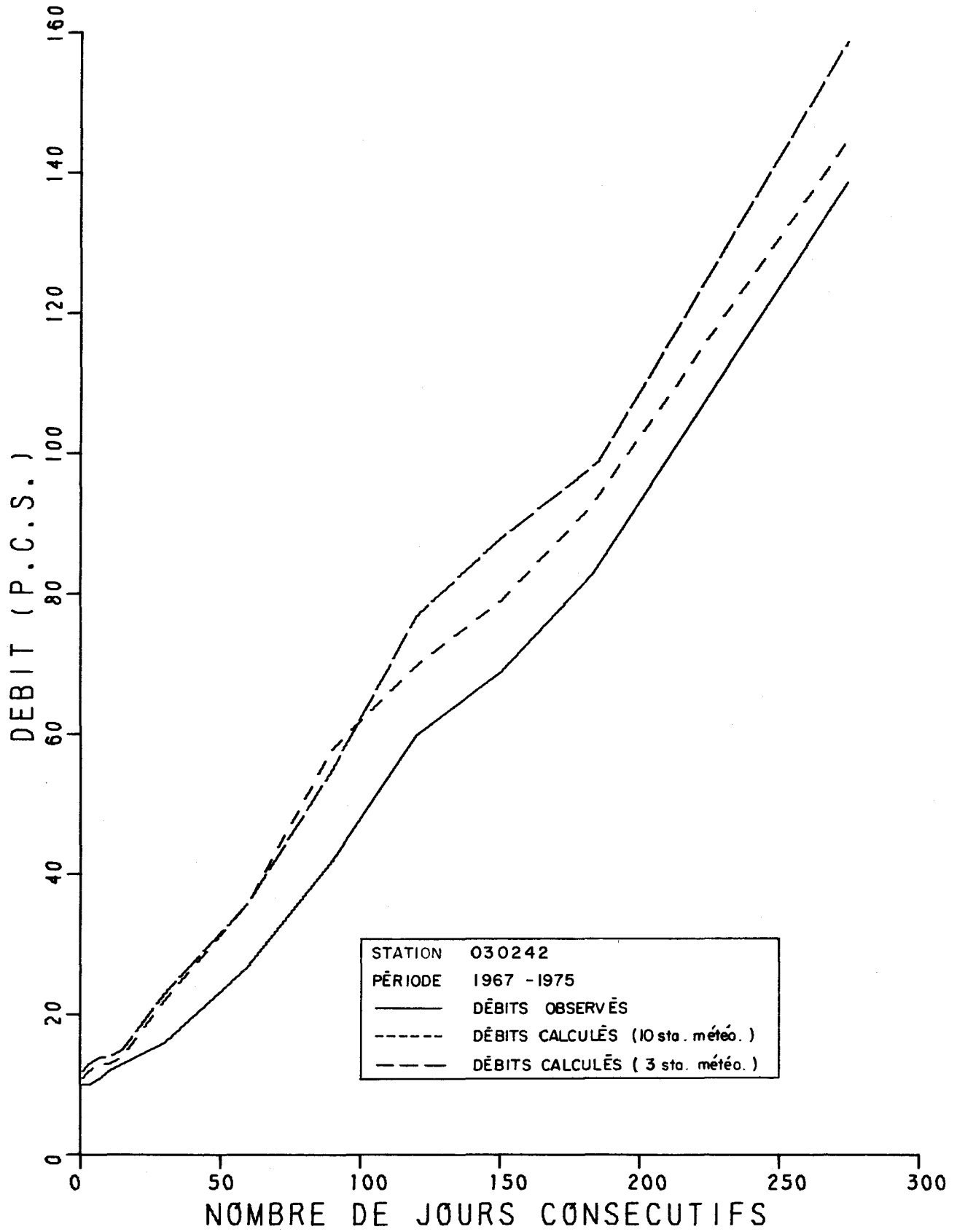


FIGURE I.17. DEBITS MINIMA POUR N JOURS CONSECUTIFS (OBS. ET CAL.).

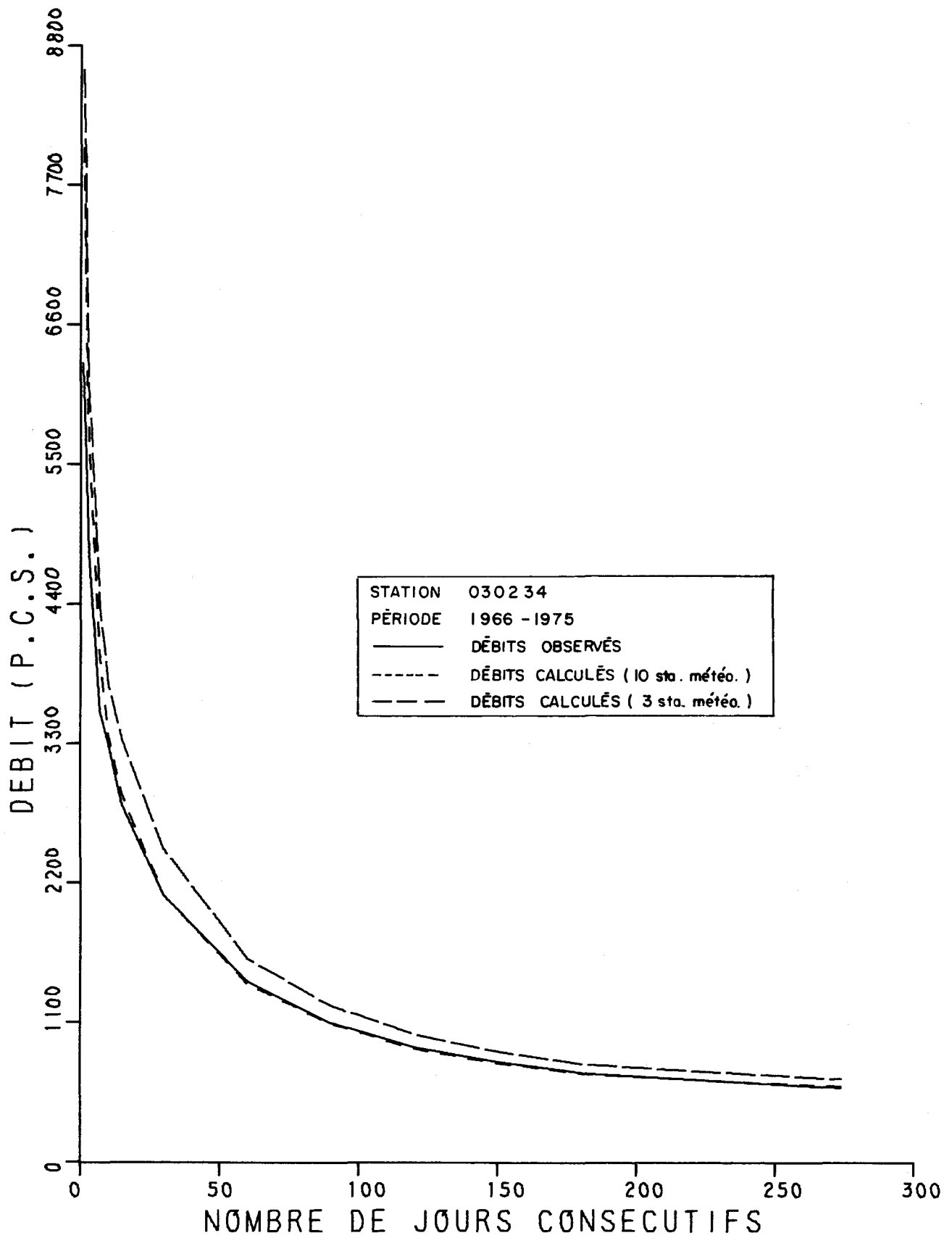


FIGURE 1.18 DEBITS MAXIMA POUR N JOURS CONSECUTIFS (OBS. ET CAL.).

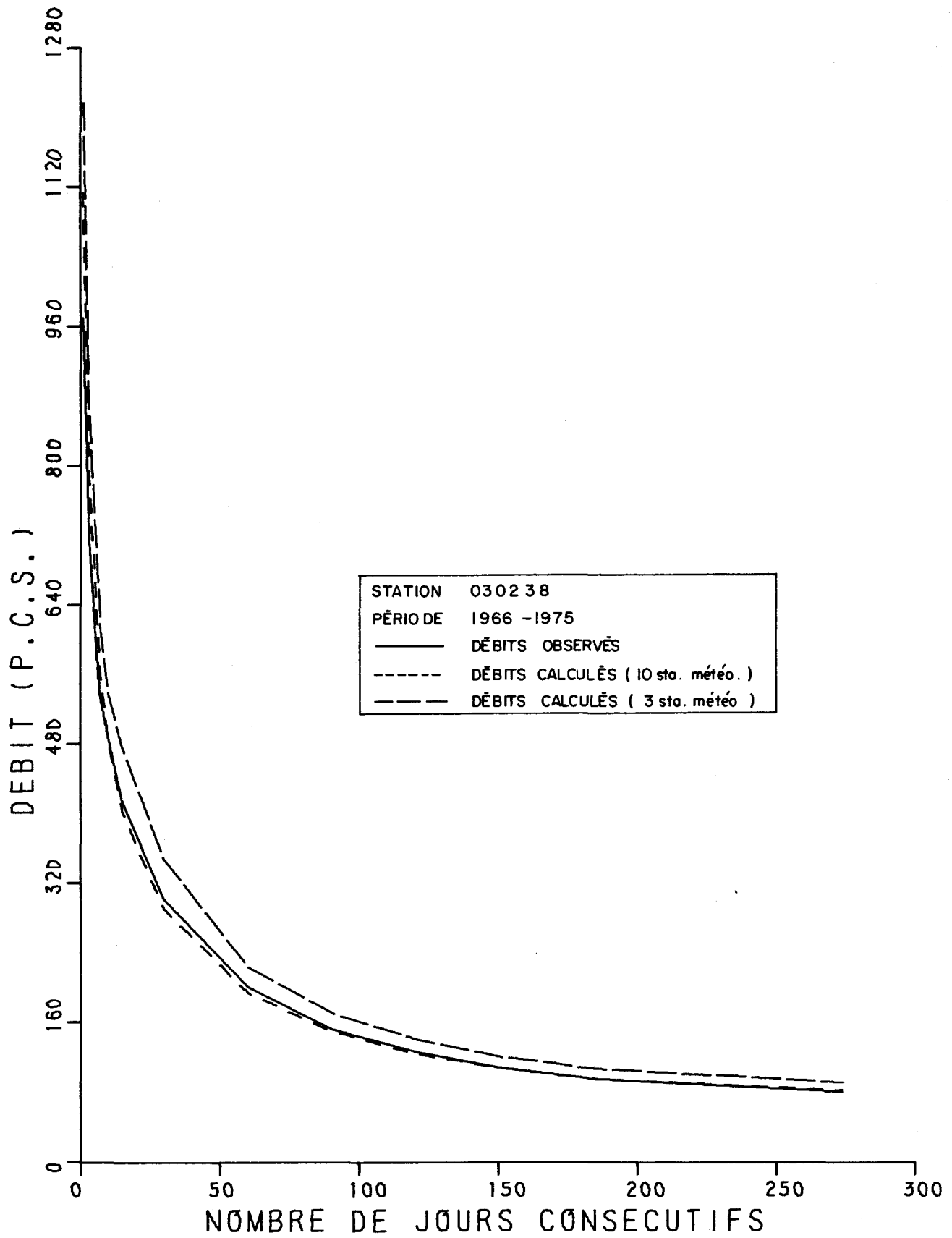


FIGURE I.19. DÉBITS MAXIMA POUR N JOURS CONSÉCUTIFS (OBS. ET CAL.).

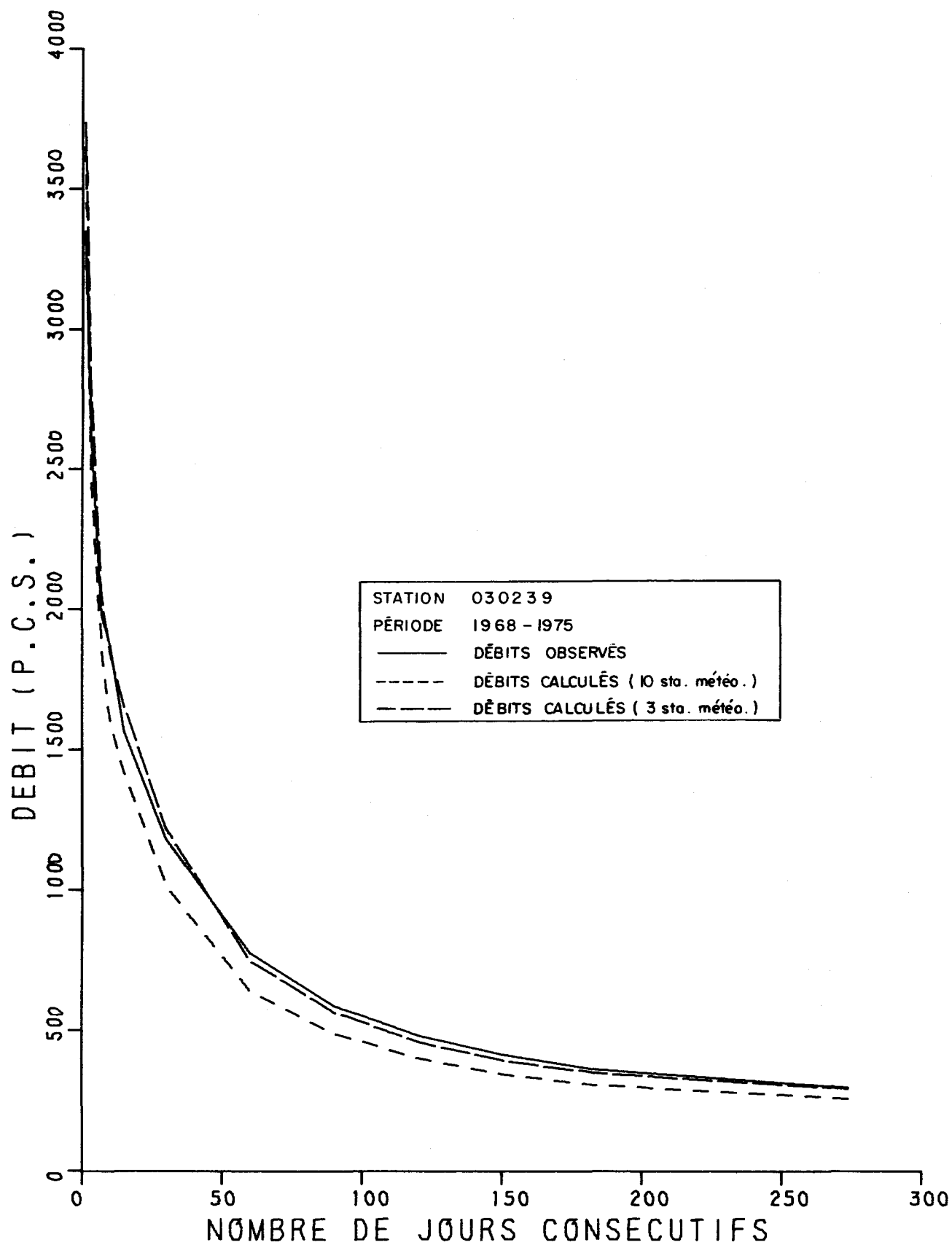


FIGURE 1.20. DEBITS MAXIMA POUR N JOURS CONSÉCUTIFS (OBS. ET CAL.).

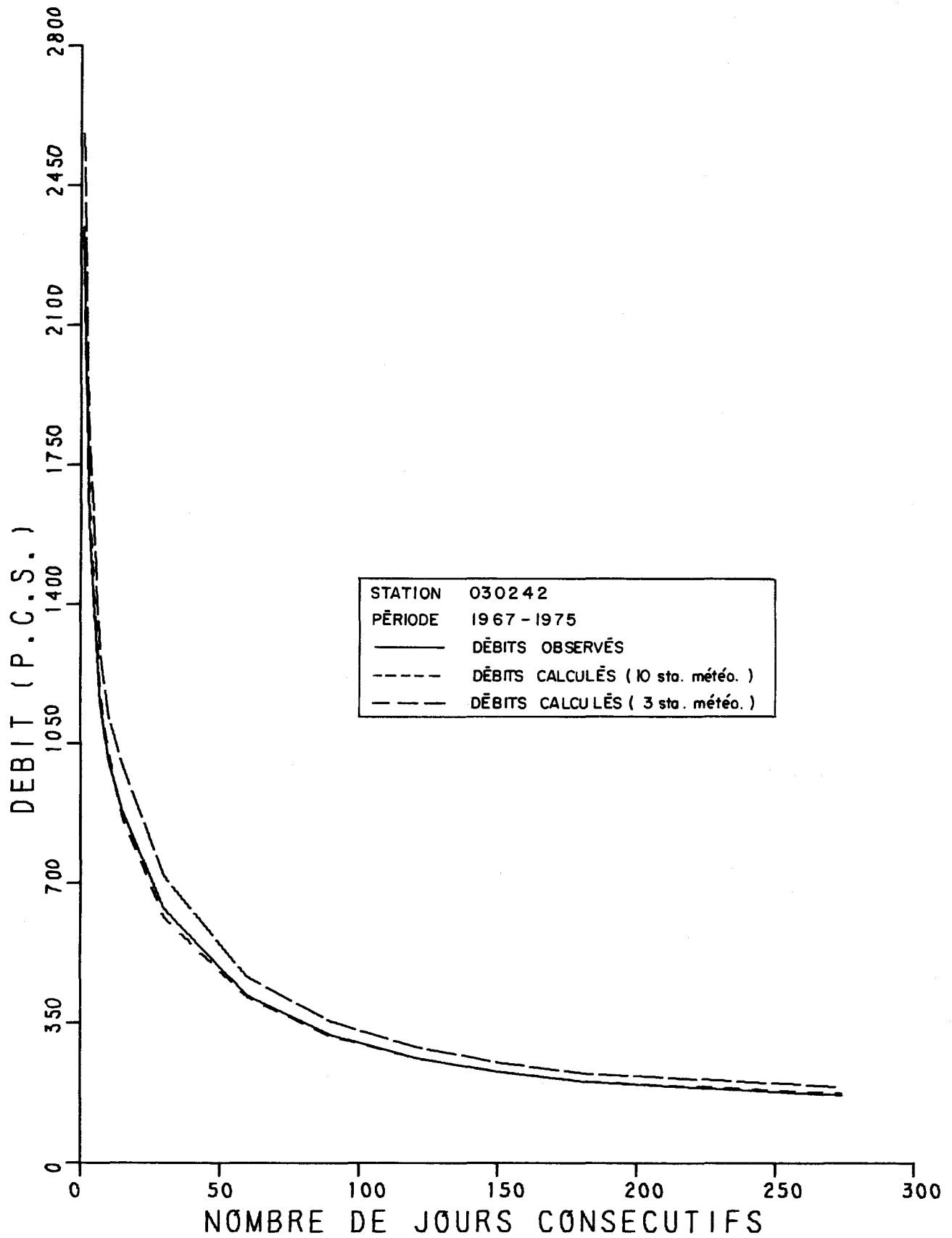


FIGURE 1.21. DEBITS MAXIMA POUR N JOURS CONSECUTIFS (OBS. ET CAL.).

CHAPITRE 2

INFLUENCE SUR LES DEBITS SIMULES
DE LA DIMENSION DE LA GRILLE
SERVANT AU DECOUPAGE DU BASSIN VERSANT

Le modèle hydrologique CEQUEAU utilise le découpage correspondant à la banque physiographique et de drainage "Hydrologic Square Grid System" de la Direction générale des eaux intérieures d'Environnement Canada. Ce découpage en éléments carrés, eux-mêmes subdivisés par les lignes de partage des eaux, permet de prendre en compte les caractéristiques physiques du bassin versant.

La dimension à donner aux éléments, appelés "carreaux entiers", est déterminée subjectivement et dépend principalement de la taille du bassin versant.

Selon la dimension retenue, on obtient un nombre de carreaux entiers plus ou moins grand qui influence le travail nécessaire pour la mise en application du modèle et entraîne, par la suite, des frais d'ordinateur qui croissent proportionnellement avec l'augmentation du nombre de carreaux. Le but de ce projet est d'analyser l'influence de la dimension des carreaux entiers sur la simulation des débits afin de déterminer avec plus de précision les dimensions à donner aux carreaux entiers, pour obtenir des résultats satisfaisants.

2.1 DECOUPAGE DU BASSIN VERSANT

Pour cette étude, le bassin versant de la rivière Eaton a été découpé en carrés de 2 km puis de 4 km de côté (figures 2.1 et 2.2). Le premier découpage subdivise le bassin en 191 carreaux entiers tandis que le second en produit 59.

2.2 SIMULATION DES DEBITS

En utilisant les paramètres du tableau 1.2, les débits de la rivière Eaton ont été simulés à l'aide des 10 stations météorologiques (figure 1.1) disponibles pour la période de 1966 à 1975, en utilisant successivement des carreaux de 2 km x 2 km puis les carreaux de 4 km x 4 km.

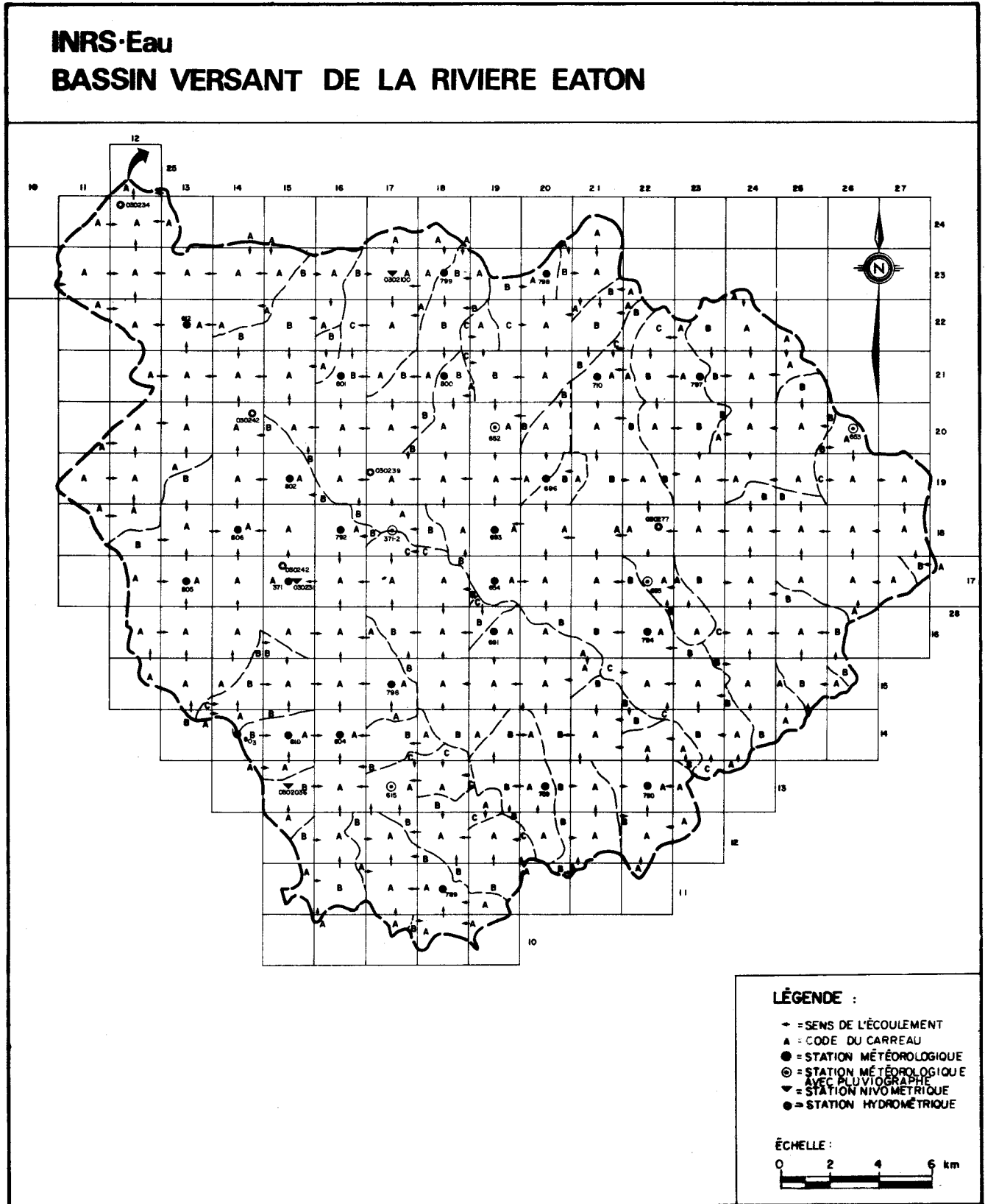


FIGURE 2.1 Le bassin de la rivière Eaton subdivisé par une grille de 2 km de côté.

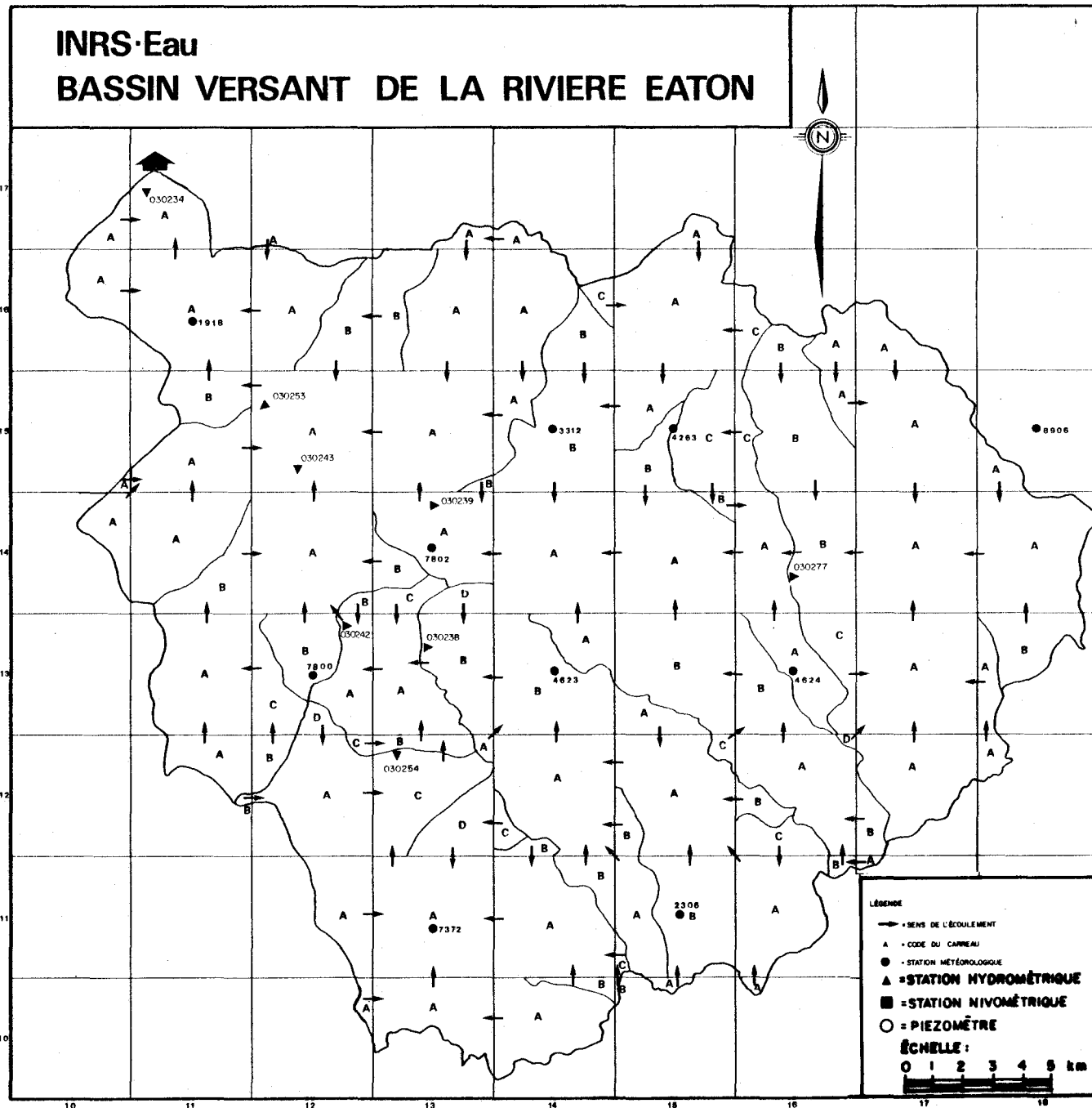


FIGURE 2.2 Le bassin de la rivière Eaton subdivisé par une grille de 4 km de côté.

2.3 ANALYSE DES RESULTATS

Les débits simulés aux emplacements des stations 030234, 030238, 030239 et 030242 sont analysés à l'aide des statistiques des débits mensuels et journaliers comme on l'a vu au chapitre précédent.

2.3.1 Débits mensuels

Les figures 2.3 à 2.6 montrent les débits moyens mensuels observés et calculés. Dans l'ensemble les débits simulés en utilisant des mailles de 4 km de côté sont identiques aux débits simulés en utilisant des mailles de 2 km de côté. Dans les deux cas, les débits des mois d'automne sont surestimés.

2.3.2 Débits mensuels classés

Les débits mensuels classés sont présentés sur les figures 2.7 à 2.10. Les deux séries calculées présentent les mêmes caractéristiques et ont à peu près les mêmes fréquences au dépassement que les débits observés.

2.3.3 Débits journaliers classés

Les figures 2.11 à 2.14 montrent les débits journaliers classés pour les quatre stations étudiées. Les caractéristiques des débits calculés sont identiques et leur fréquence est comparable à celle des débits observés sauf pour la station 030239 où le débit est sous-estimé pour toutes les fréquences.

2.3.4 Débits minimums moyens pour N jours

Les débits maximums moyens pour des jours consécutifs sont montrés aux figures 2.15 à 2.18. Les étiages sont surestimés aux stations 030238 et 030242 et sous-estimés à la station 030239. Les

étiages des débits observés et calculés à la station 030234 sont semblables. On note également des caractéristiques semblables pour les débits calculés aux carreaux entiers de 2 et de 4 km de côté.

2.3.5 Débits maximums moyens pour N jours

Les figures 2.19 à 2.22 montrent les débits maximums pour N jours consécutifs. On observe sur ces figures des caractéristiques identiques pour les débits observés et calculés sauf à la station 030239 où les débits calculés sont sous-estimés par rapport aux débits observés.

2.4 CONCLUSION

Cette étude a montré que les débits calculés en utilisant des mailles de 4 km sont à peu près identiques aux débits calculés en utilisant des mailles de 2 km de côté. Pour déterminer la dimension optimale des mailles, il sera cependant nécessaire de refaire des simulations en utilisant des mailles supérieures à 4 km de côté. Il est cependant intéressant de noter que l'utilisation des carreaux entiers de 4 km de côté donne des résultats satisfaisants même sur les sous-bassins versants. Les résultats de ce chapitre et du précédent font ressortir que la qualité et la quantité des données météorologiques sont plus importantes que les dimensions du carreau entier utilisé pour les simulations.

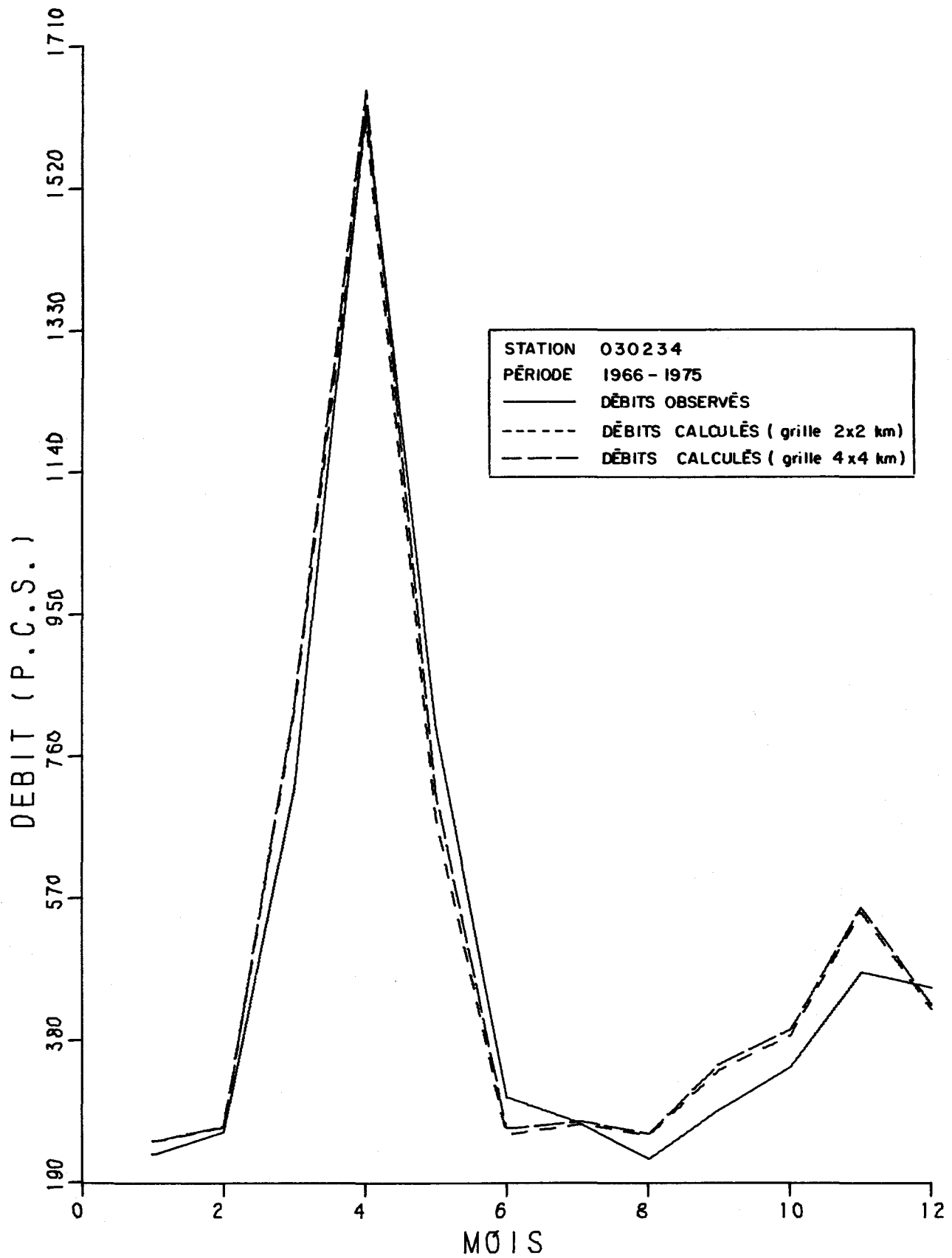


FIGURE 2.3. DÉBITS MENSUELS (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

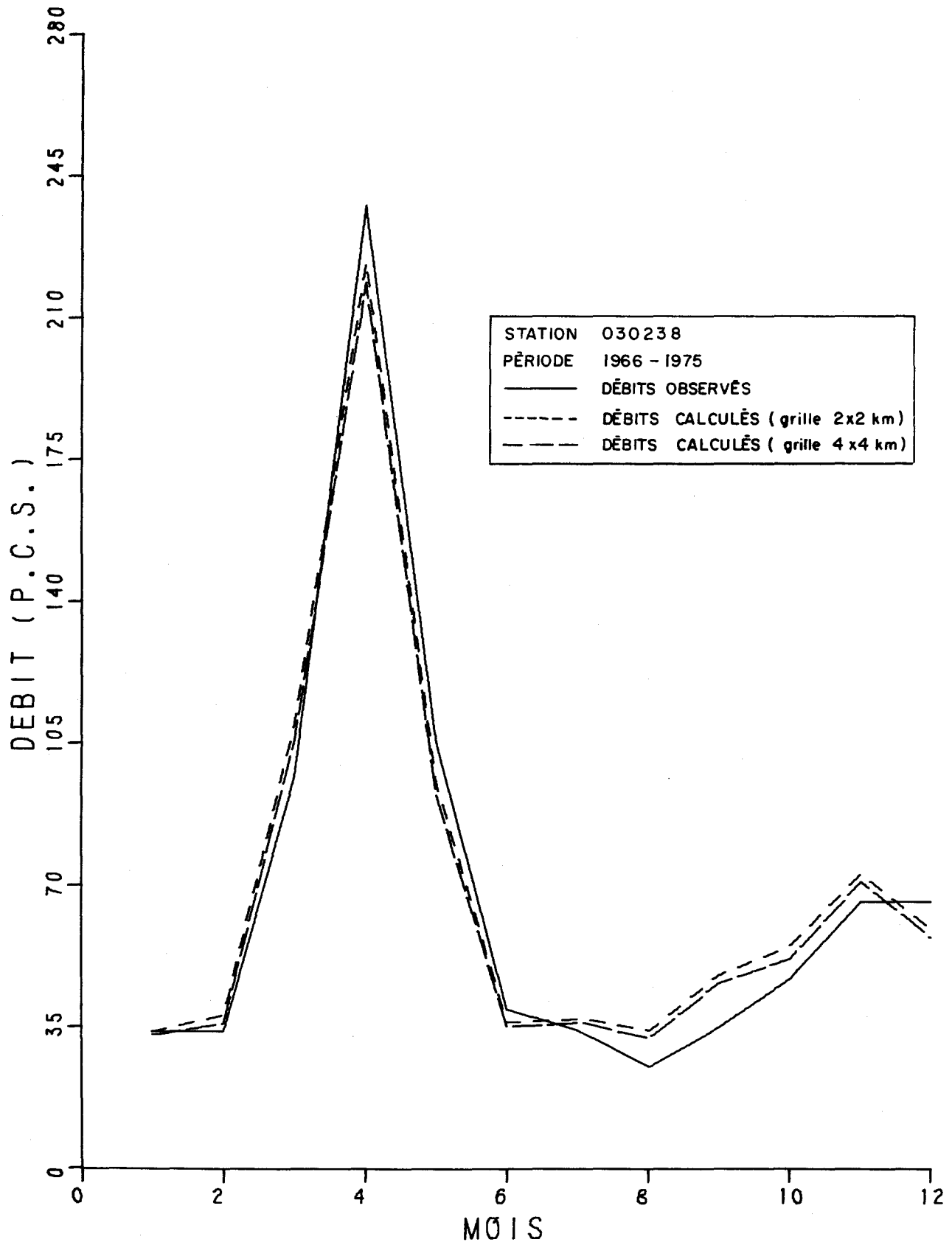


FIGURE 2.4. DEBITS MENSUELS (OBSERVES ET CALCULES).

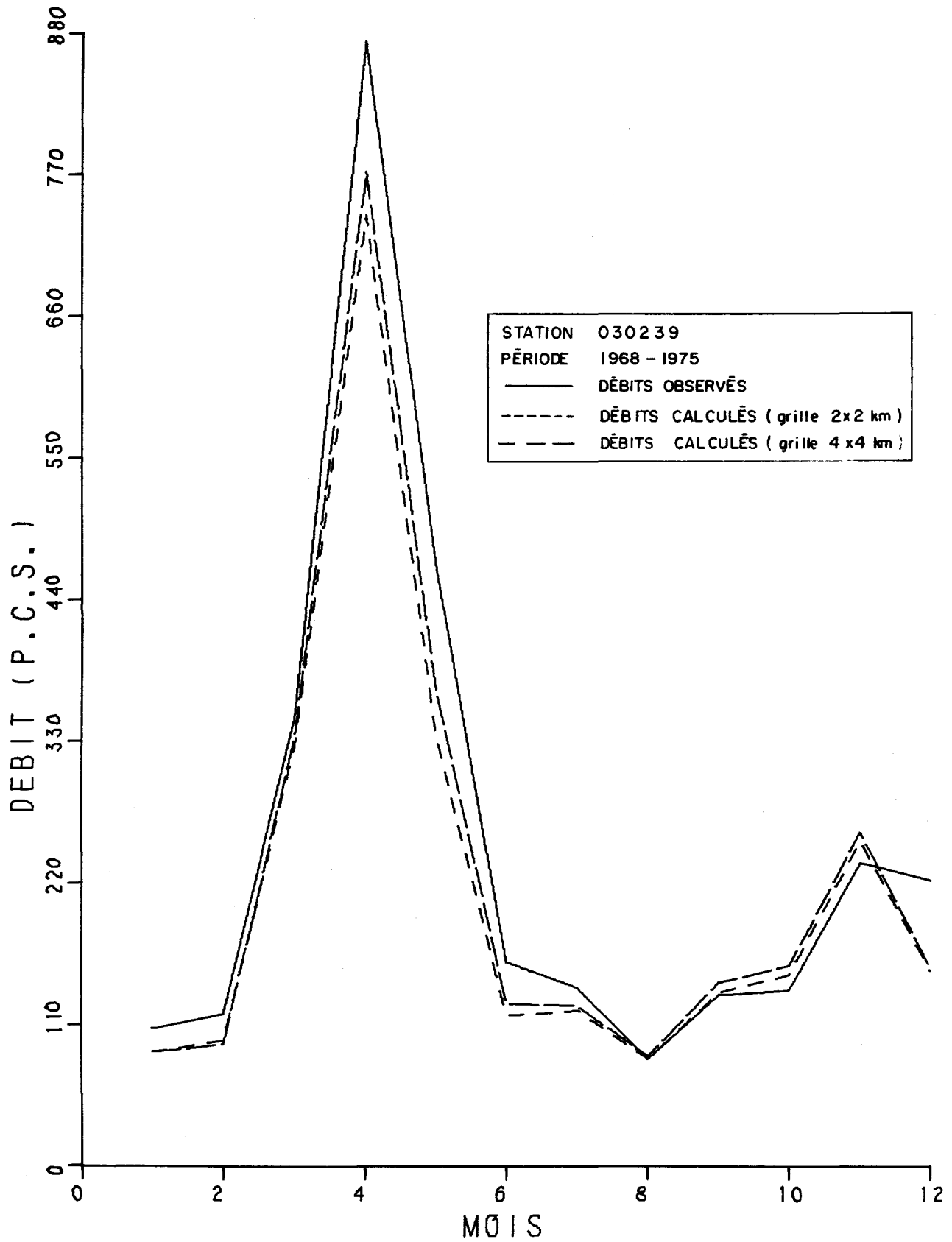


FIGURE 2.5. DÉBITS MENSUELS (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

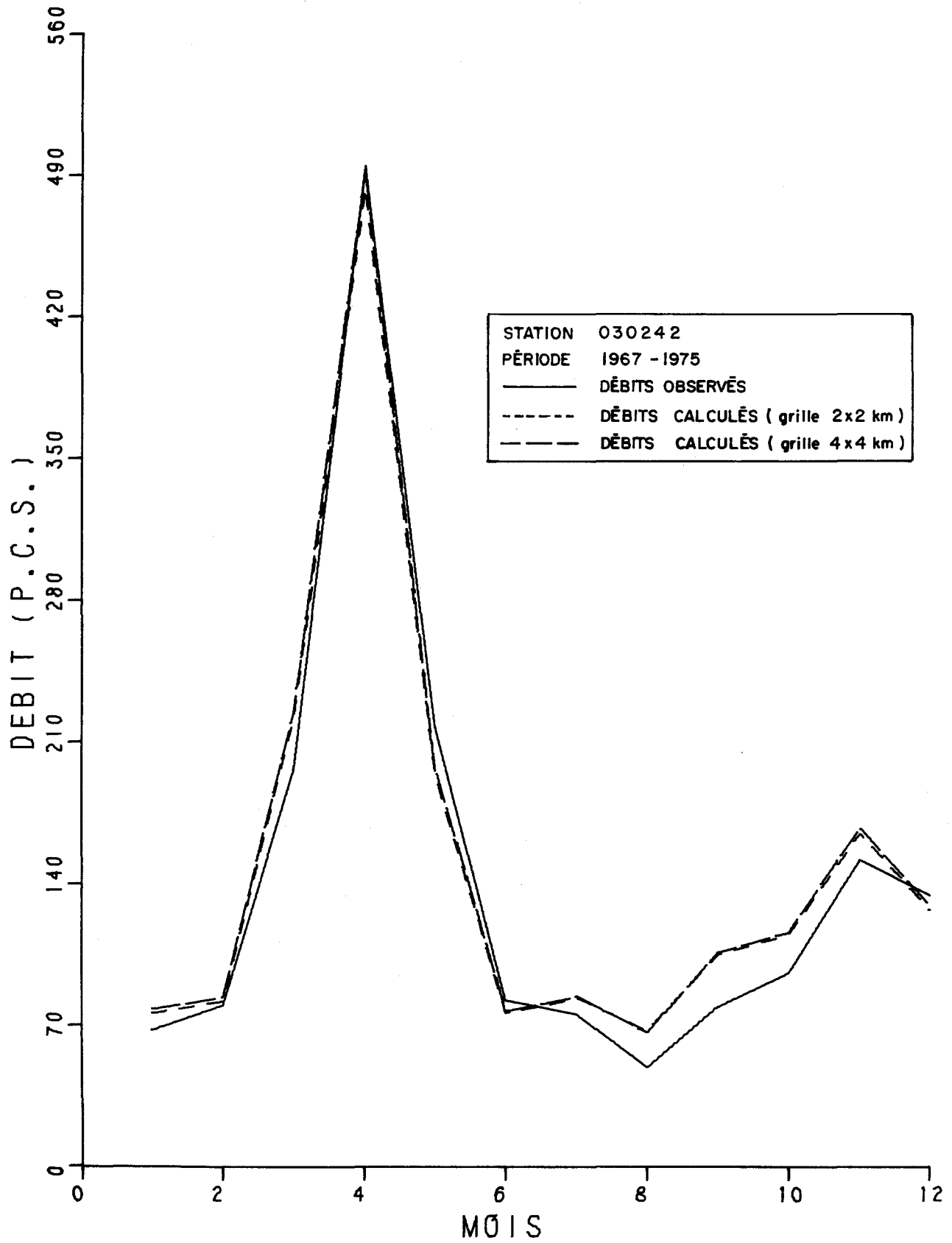


FIGURE 2.6. DEBITS MENSUELS (OBSERVES ET CALCULES).

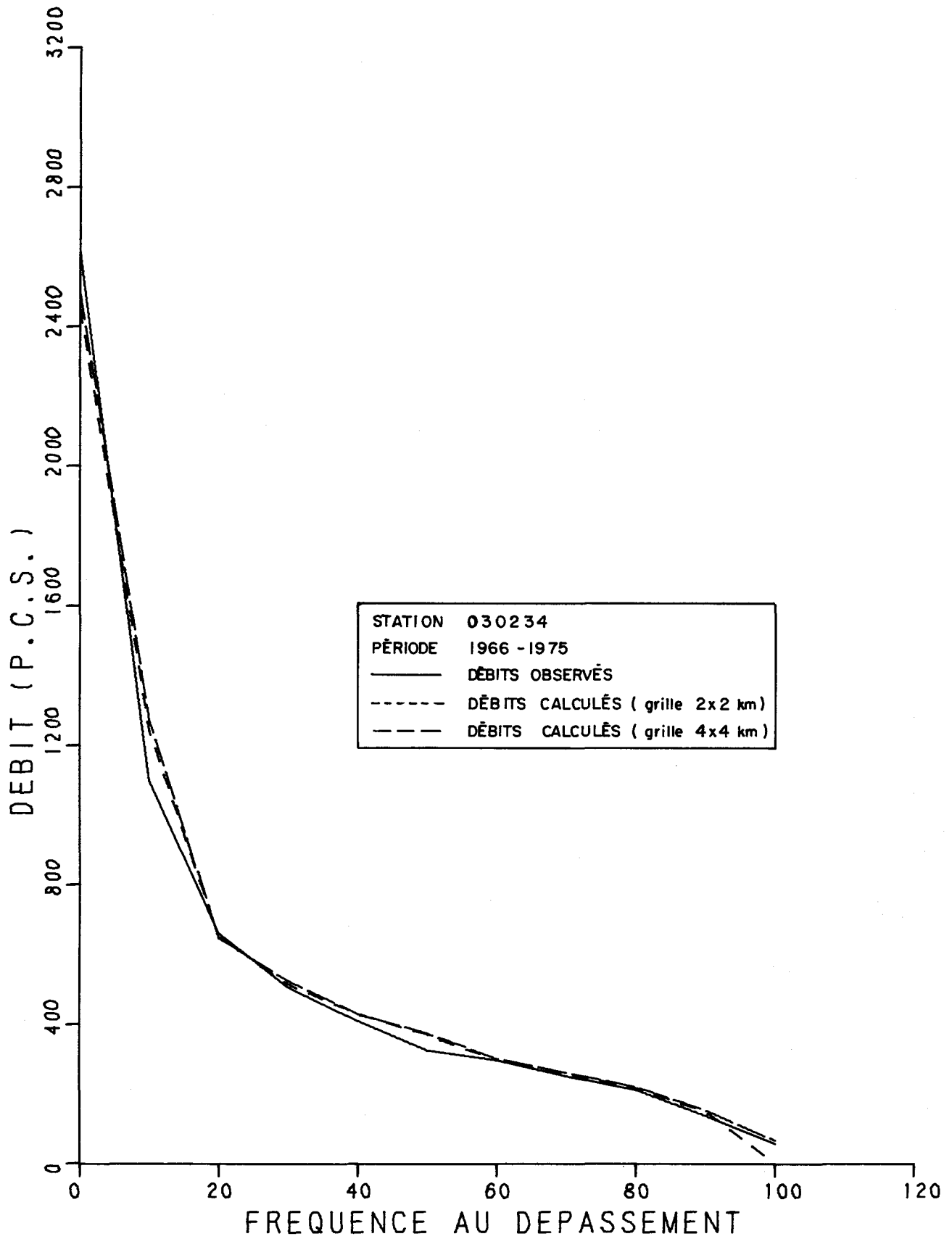


FIGURE 2.7. DÉBITS MENSUELS CLASSES (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

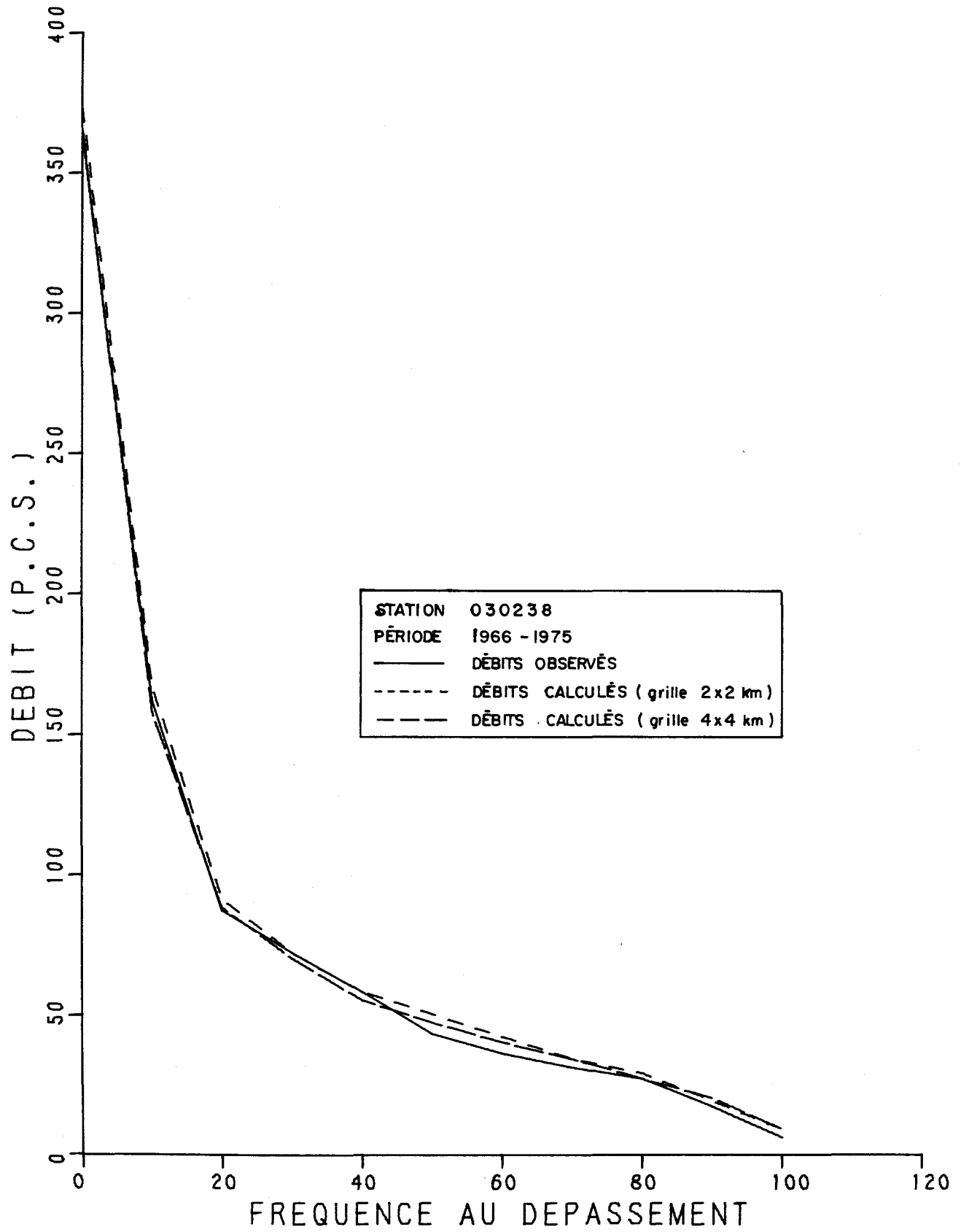


FIGURE 2.8 DEBITS MENSUELS CLASSES (OBSERVES ET CALCULES).

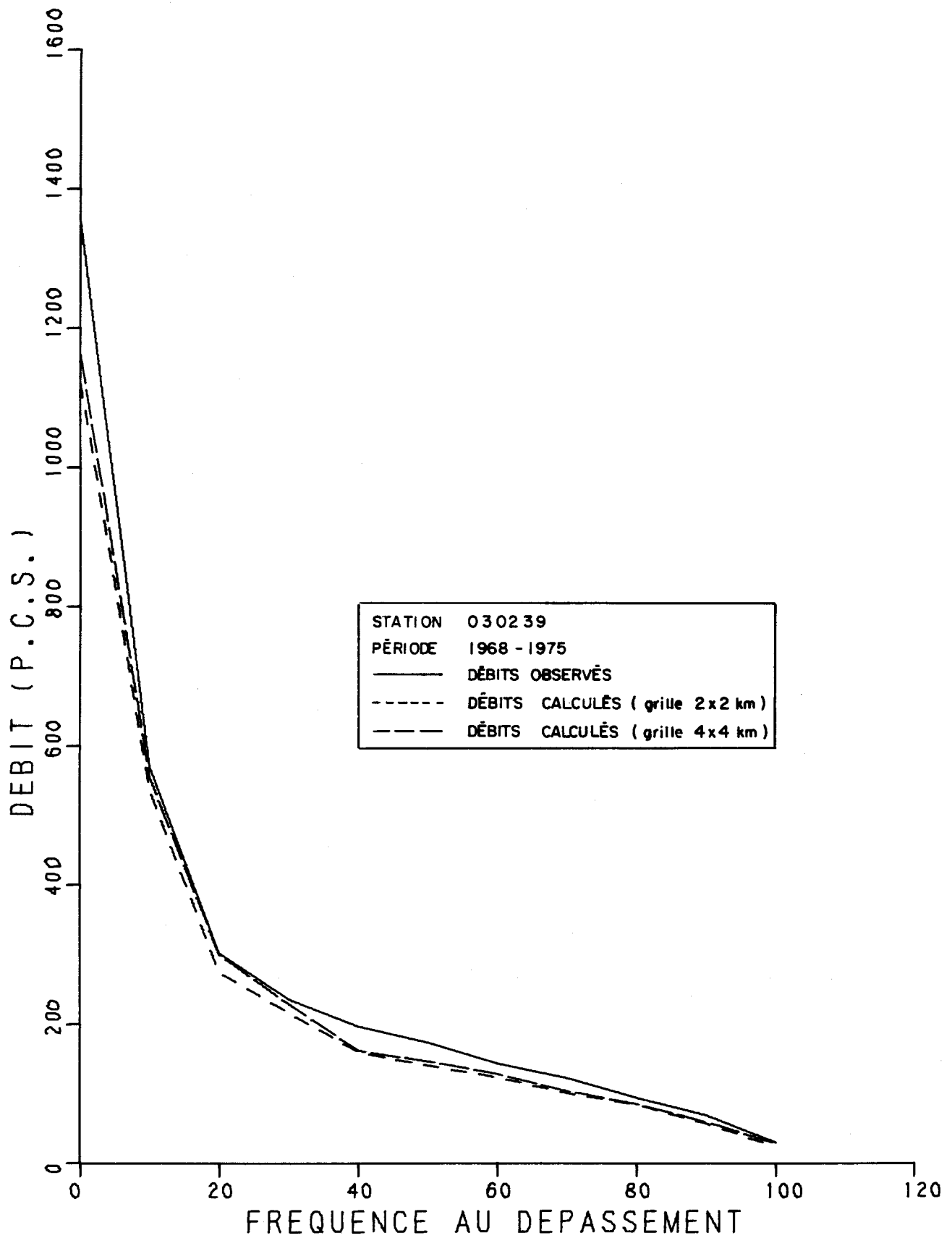


FIGURE 2.9. DÉBITS MENSUELS CLASSES (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

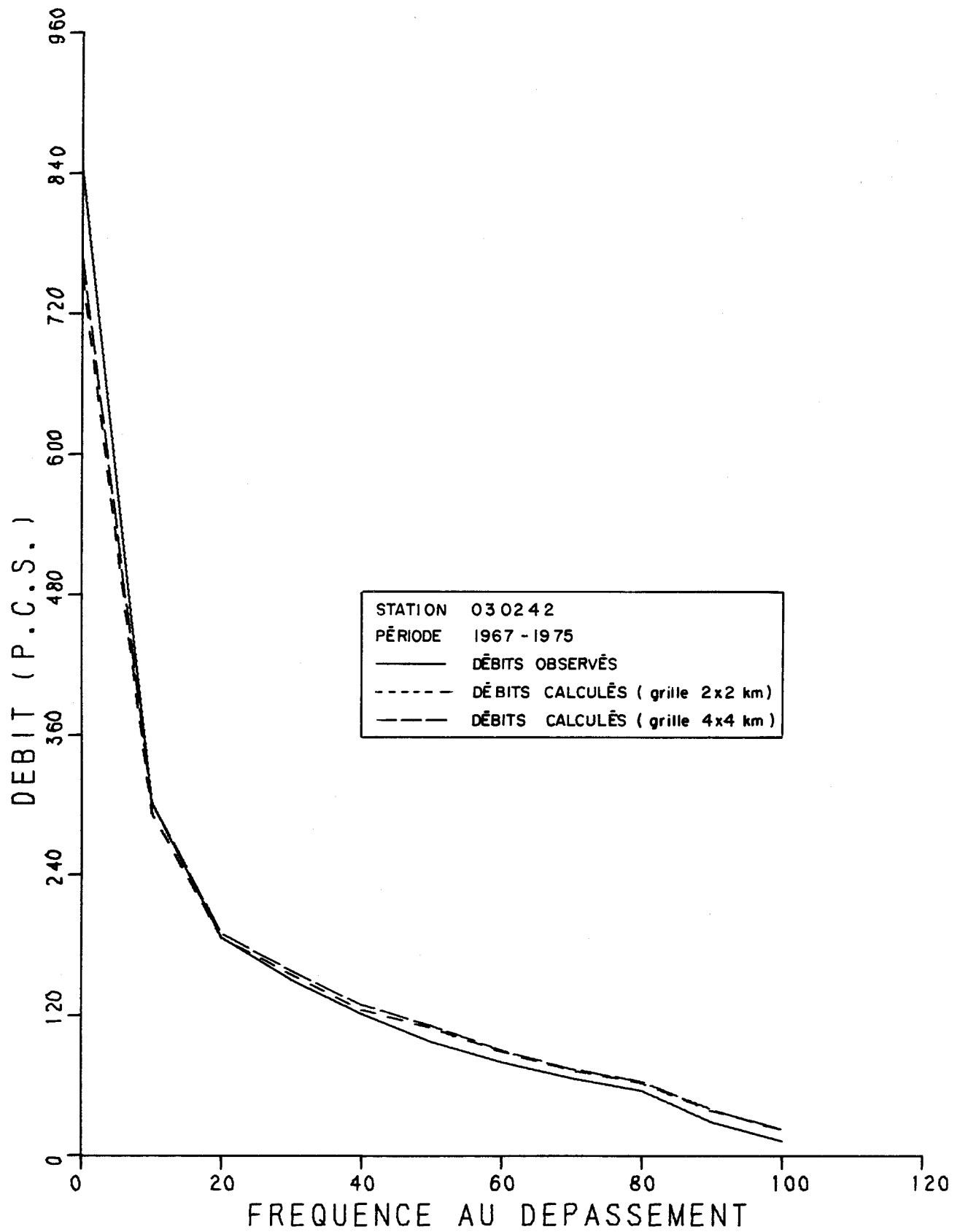


FIGURE 2.10. DÉBITS MENSUELS CLASSES (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

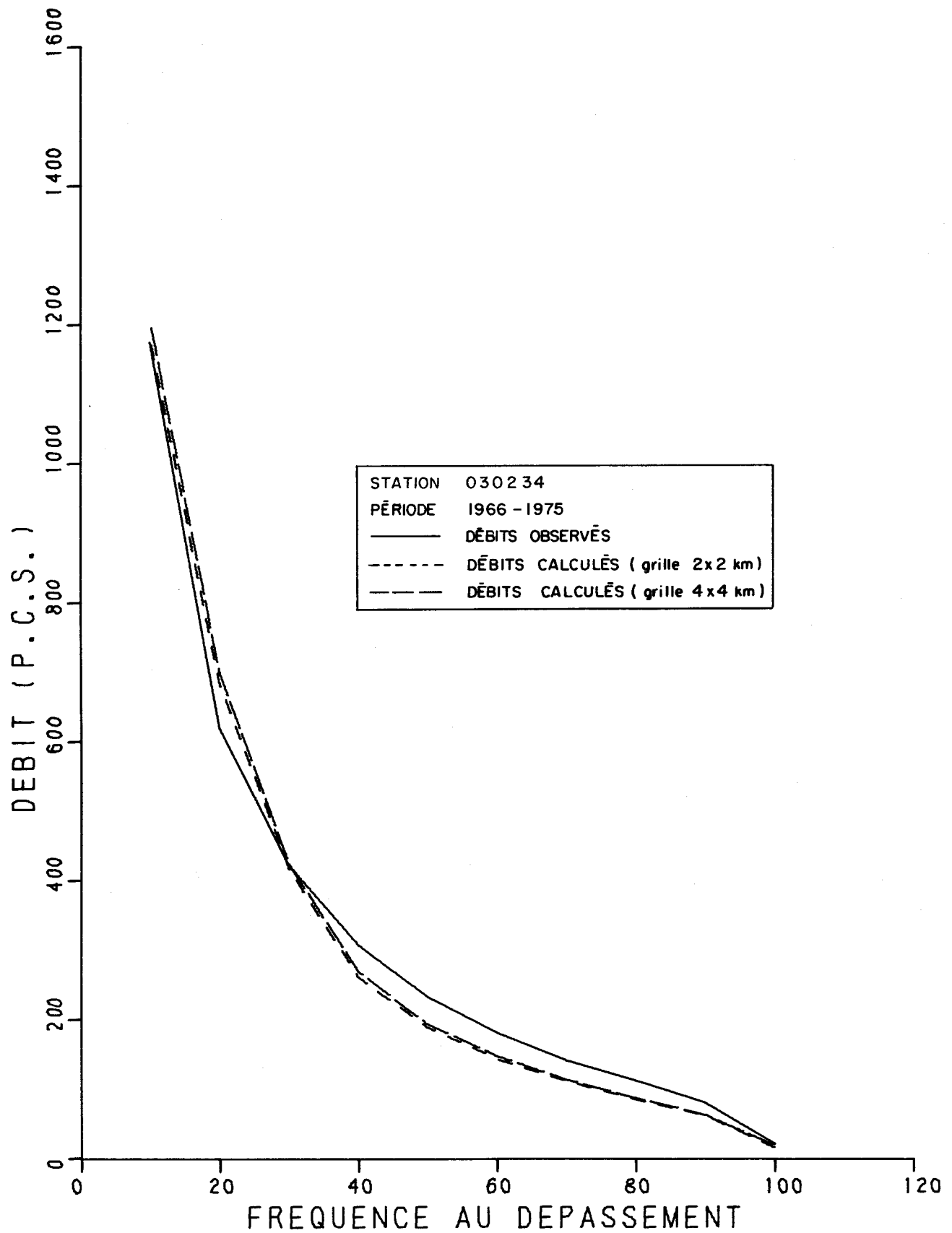


FIGURE 2.11. DÉBITS JOURNALIERS CLASSES (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

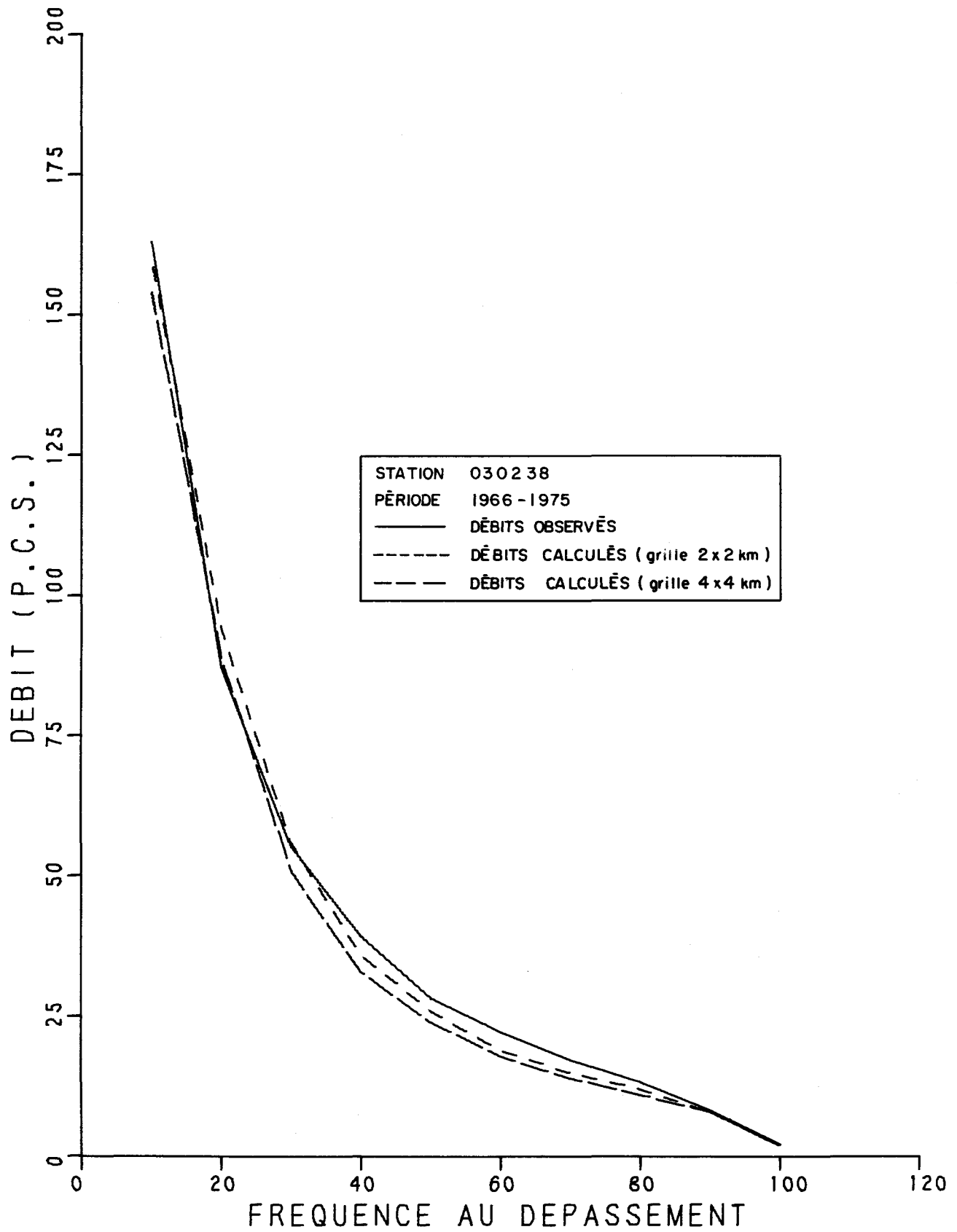


FIGURE 2.12. DEBITS JOURNALIERS CLASSES (OBSERVES ET CALCULES).

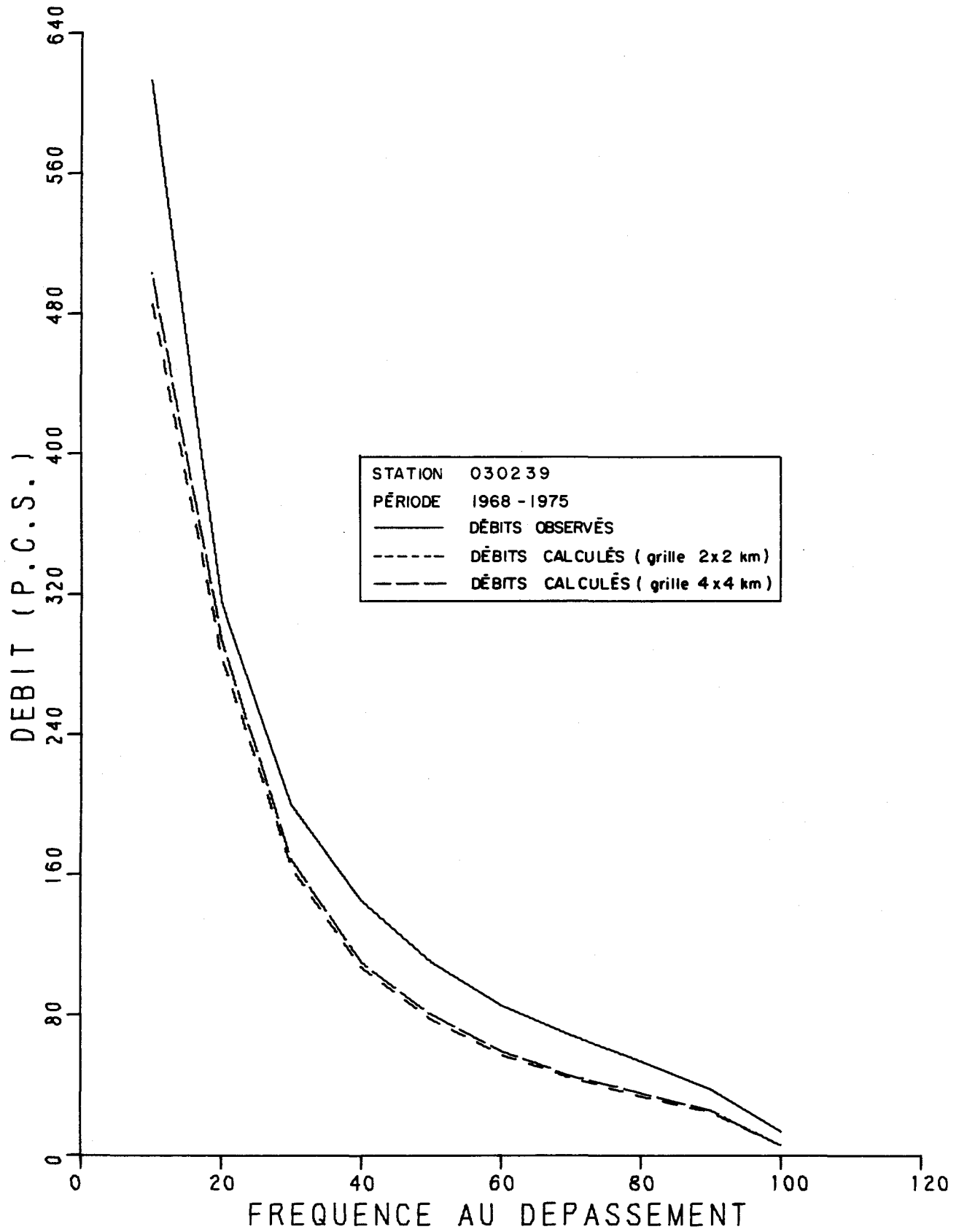


FIGURE 2.13. DEBITS JOURNALIERS CLASSES (OBSERVES ET CALCULES).

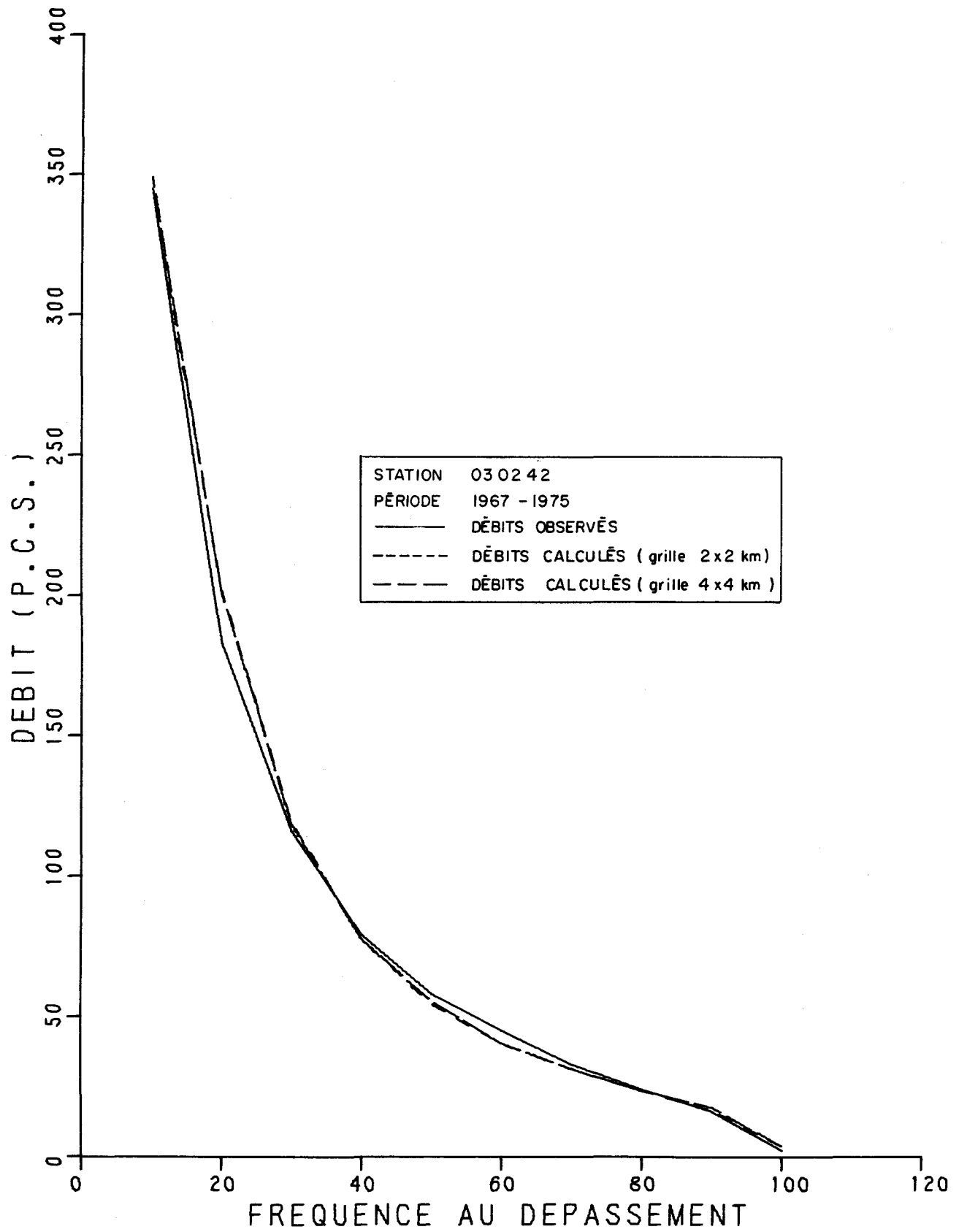


FIGURE 2.14. DÉBITS JOURNALIERS CLASSES (OBSERVÉS ET CALCULÉS).

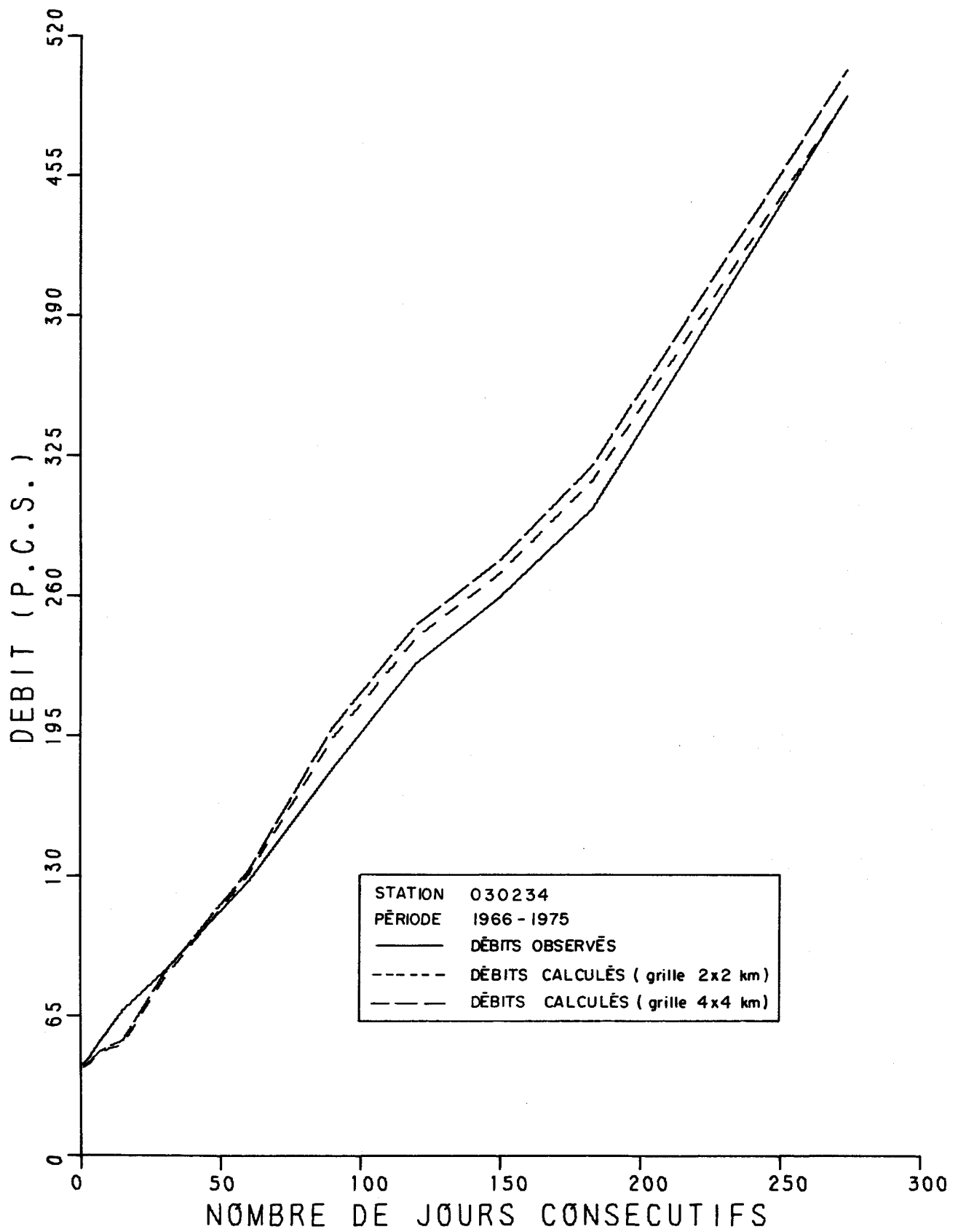


FIGURE 2.15. DÉBITS MINIMA POUR N JOURS CONSECUTIFS (OBS. ET CAL.).

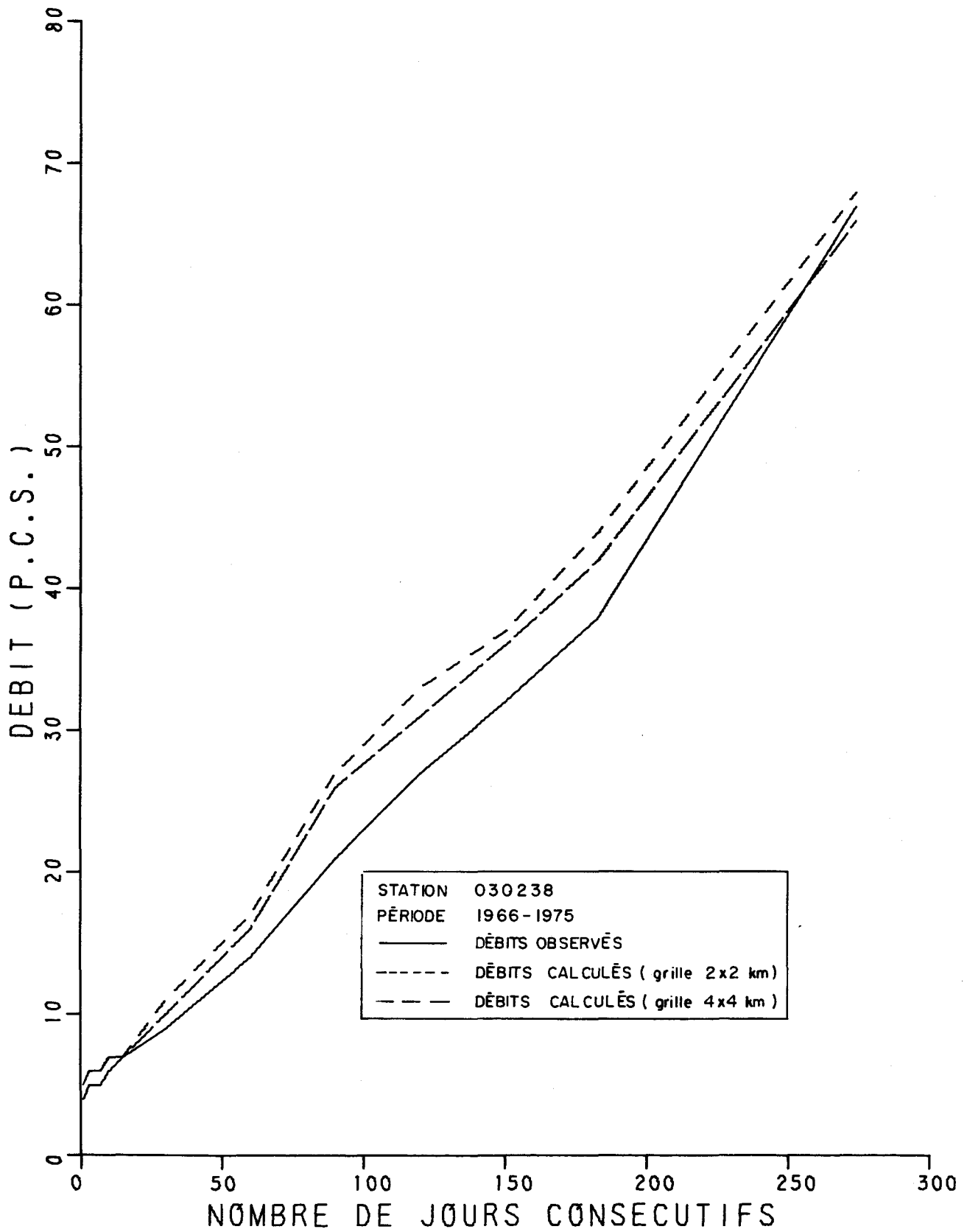


FIGURE 2.16. DÉBITS MINIMA POUR N JOURS CONSÉCUTIFS (OBS. ET CAL.).

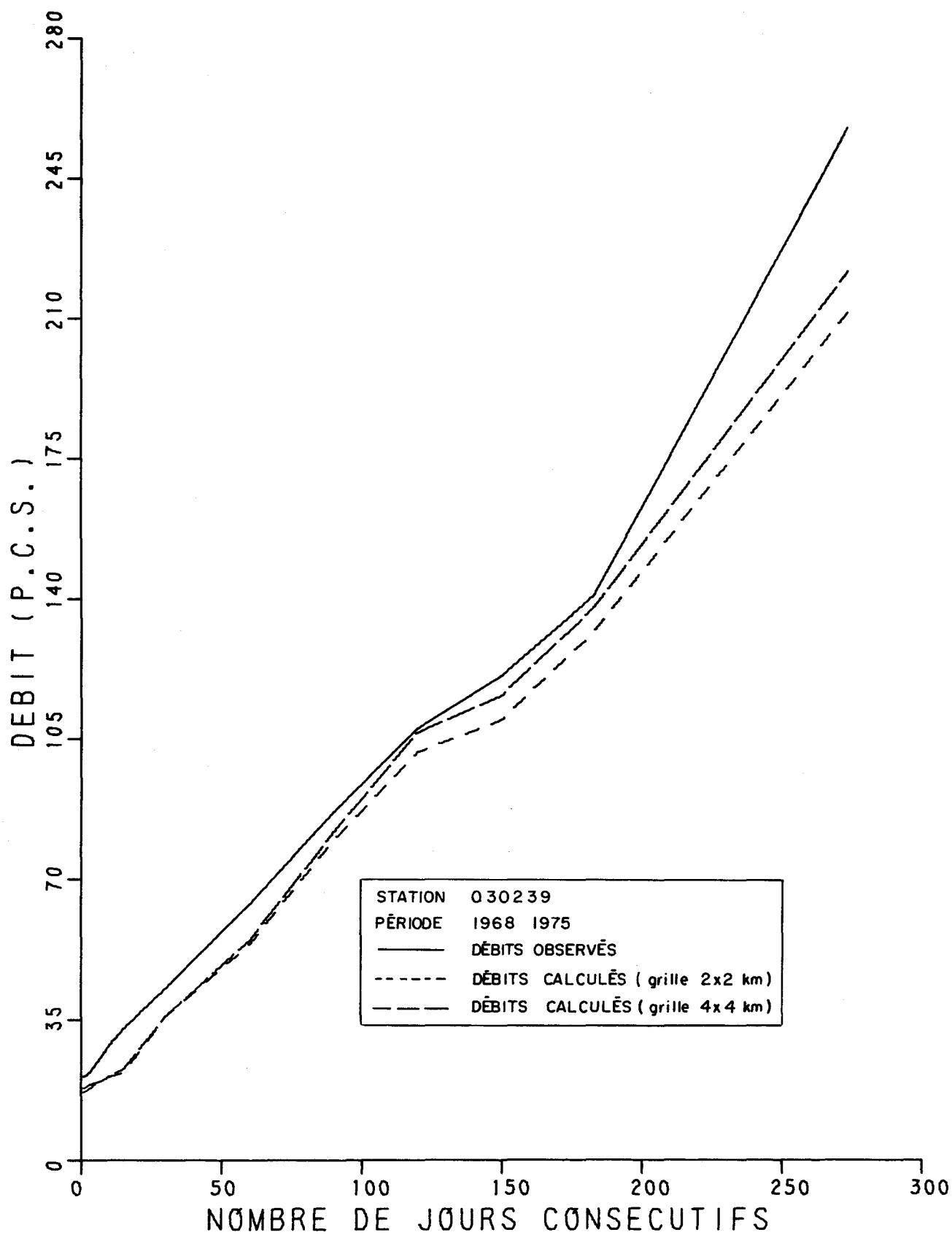


FIGURE 2.17. DÉBITS MINIMA POUR N JOURS CONSÉCUTIFS (OBS. ET CAL.).

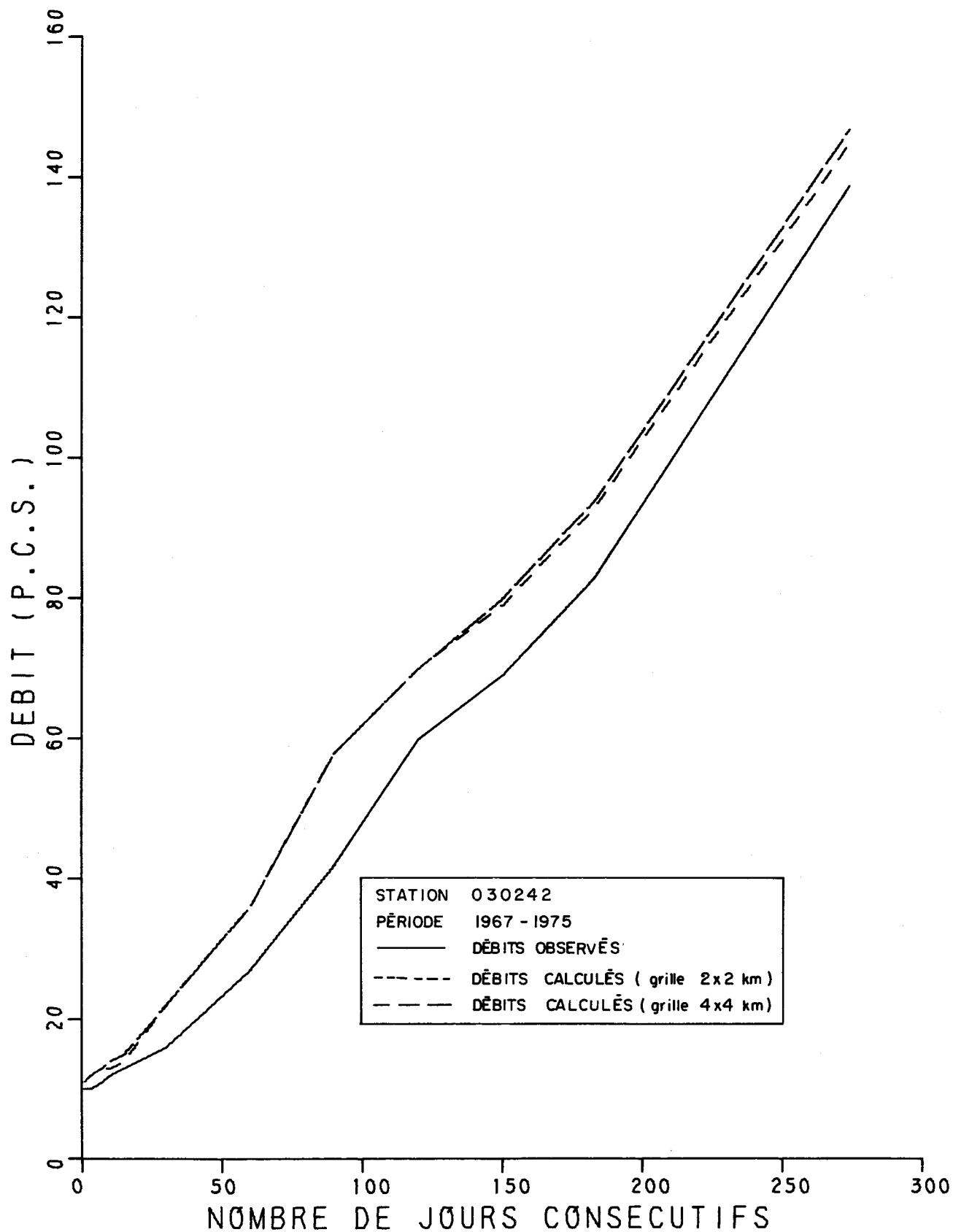


FIGURE 2.18. DEBITS MINIMA POUR N JOURS CONSECUTIFS (OBS. ET CAL.).

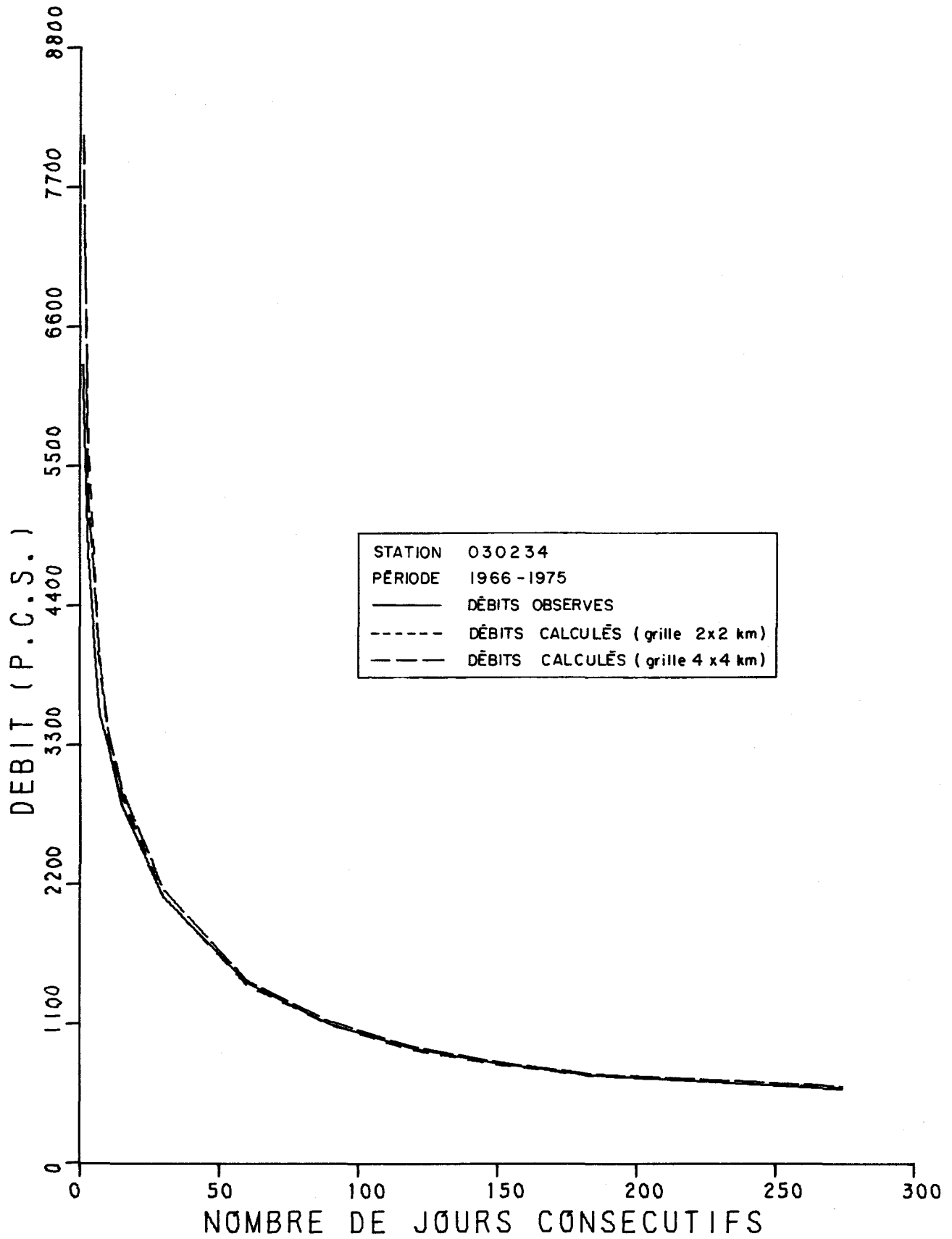


FIGURE 2.19. DÉBITS MAXIMA POUR N JOURS CONSÉCUTIFS (OBS. ET CAL.).

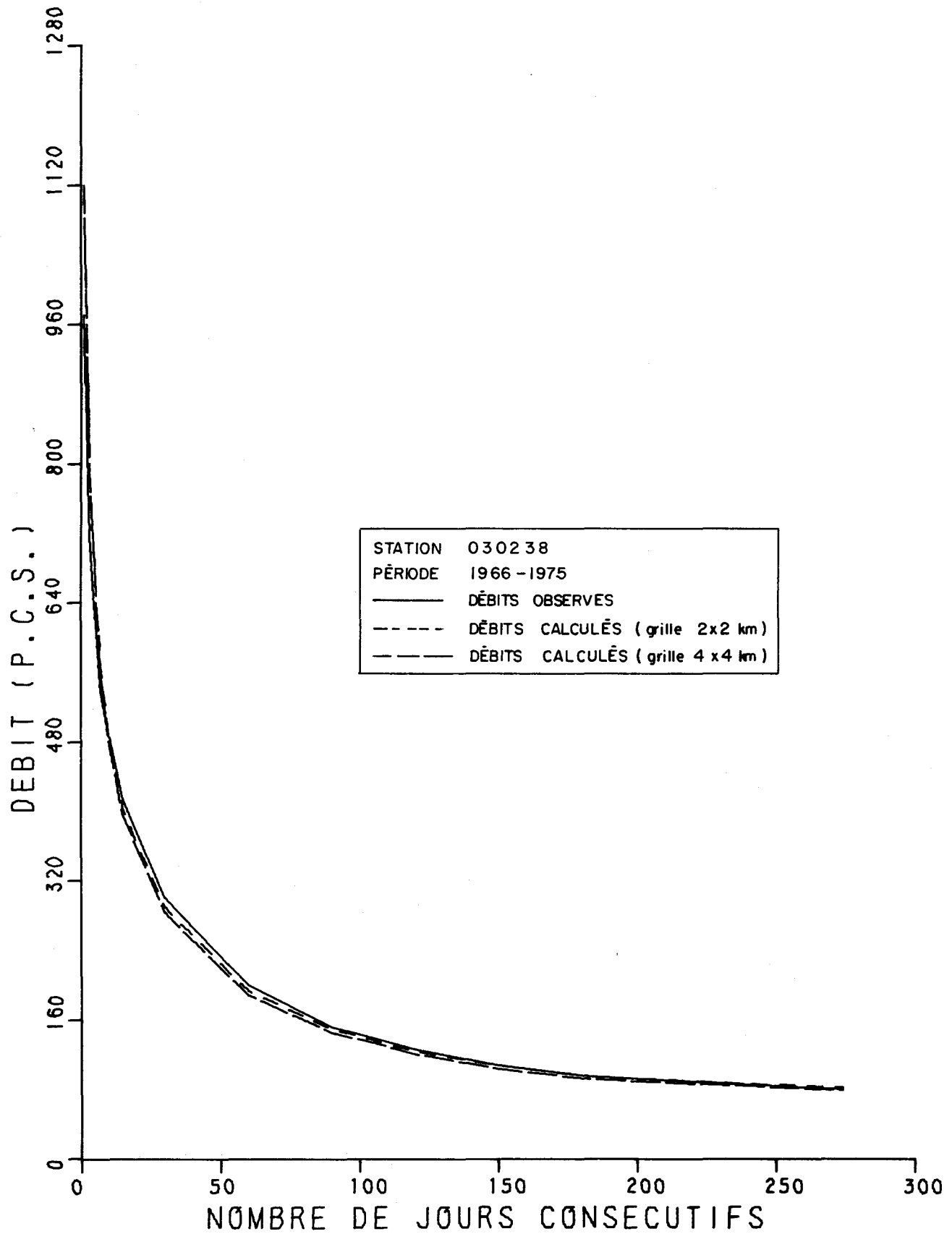


FIGURE 2.20. DEBITS MAXIMA POUR N JOURS CONSECUTIFS (OBS. ET CAL.).

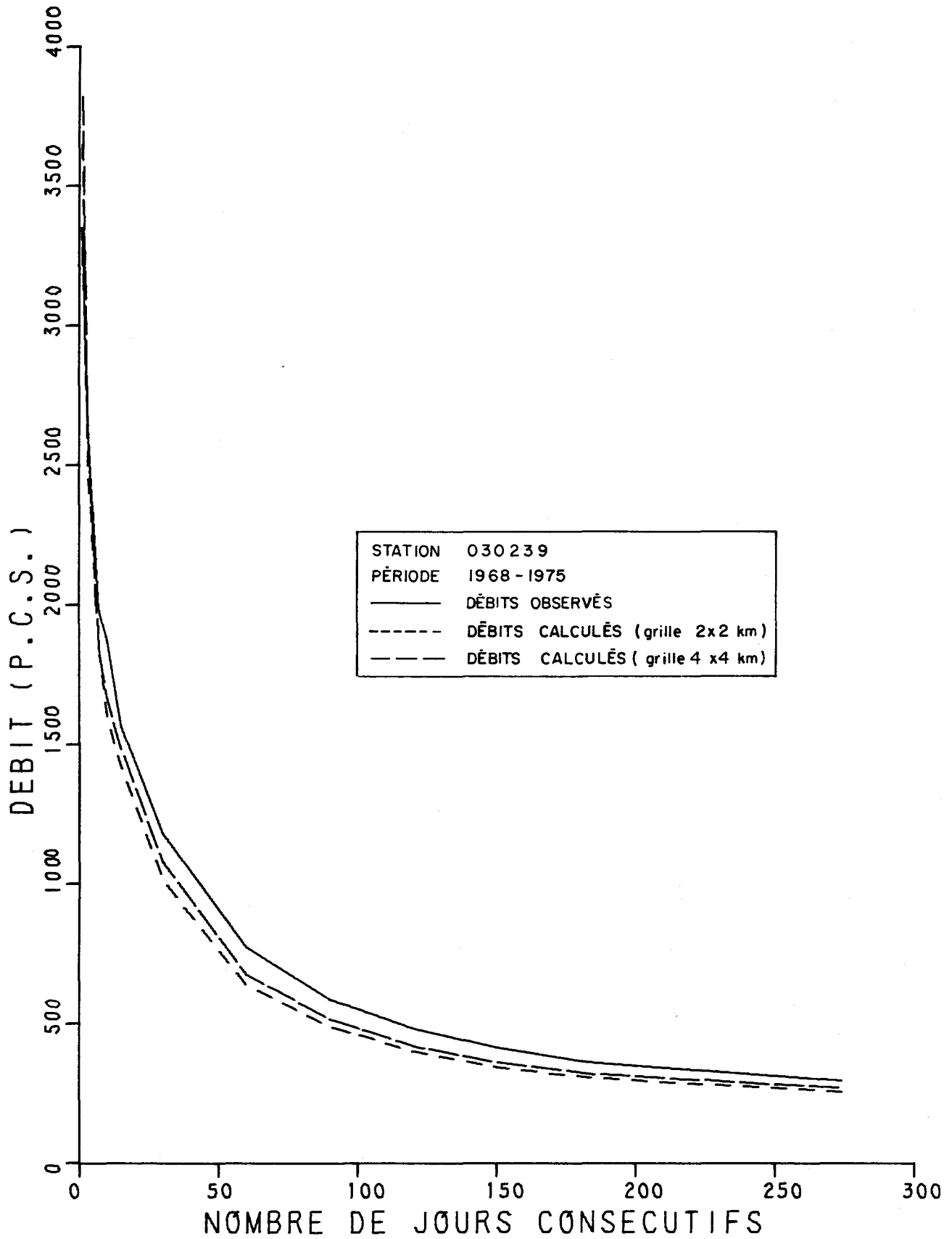


FIGURE 2.21. DÉBITS MAXIMA POUR N JOURS CONSECUTIFS (OBS. ET CAL.).

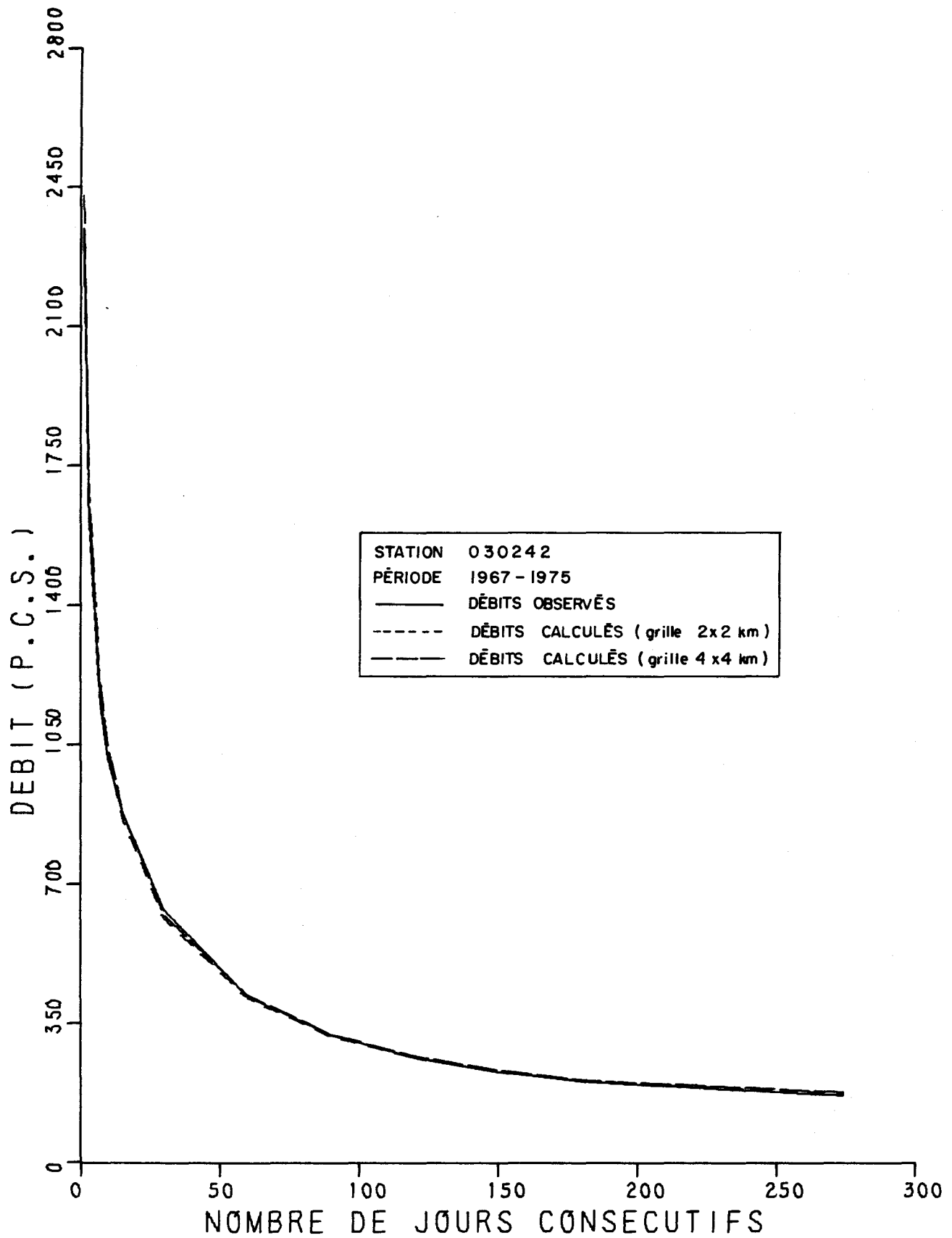


FIGURE 2.22. DEBITS MAXIMA POUR N JOURS CONSECUTIFS (OBS. ET CAL.).

CHAPITRE 3

COMPARAISON DES VARIATIONS DU RESERVOIR "NAPPE"
DU MODELE CEQUEAU AUX VARIATIONS
DE CERTAINS PIEZOMETRES

Les simulations présentées dans ce chapitre ne doivent pas être considérées comme les meilleurs résultats qui puissent être obtenus avec le modèle CEQUEAU. Ce sont des résultats préliminaires qui visaient davantage à vérifier si le réservoir "nappe" d'un modèle conçu pour l'hydrologie de surface, pouvait être représentatif du comportement d'une nappe phréatique. Suite à ces premiers résultats, d'autres simulations sont en cours.

3.1 LES EAUX SOUTERRAINES DANS LE BASSIN DE LA RIVIERE EATON

La rivière Eaton se situe dans une région qui a subi des influences glaciaires marquées. Ainsi chaque cycle de glaciation a amené des matériaux plus ou moins imperméables qui ont comblé les vallées originales, de sorte que l'on retrouve souvent, sous les vallées actuelles, des vallées pré-glaciaires.

L'hydrogéologie de ce bassin a été traitée par Simard (1970 et 1977) et nous ne ferons ici que présenter quelques points saillants de ces rapports, en ce qui a trait à la présence d'aquifères dans le bassin. Ainsi, d'après Simard (1977), *"La seule perméabilité importante des roches paléozoïques du bassin de la rivière Eaton est due aux systèmes de fractures; la roche ferme possède une perméabilité très faible"*. Toujours d'après Simard, dans la roche en place, il en résulte que *"l'écoulement souterrain s'effectue à travers les fissures et les joints, ce qui donne à la roche une perméabilité d'envergure"*. Les dépôts plus récents datant du quaternaire (sables et graviers profonds, drifts stratifiés de contact glaciaire, sables et graviers de terrasse de rivière et alluvions) qui ont comblé successivement les vallées pré-glaciaires forment aussi des aquifères plus ou moins importants, en fonction de leur perméabilité et de leur extension. Certains de ces aquifères sont captifs, tels celui de Clifton Est; Simard (1977) précise qu'il *"se compose d'une série de couches perméables, dont la puissance maximale atteint 70 pieds dans l'axe d'une vallée pré-glaciaire. L'aquifère s'étend d'un côté à l'autre de la vallée sur une largeur approximative"*

de 1,000 pieds". Simard ne donne toutefois pas sa longueur, quoiqu'il indique qu'elle a été calculée de façon indirecte. Il décrit aussi d'autres aquifères comme ceux de Sawyerville ou encore celui de Saint-Isidore d'Auckland.

Tous ces aquifères, et principalement les nappes d'eaux libres, subissent toutefois des variations de niveaux en fonction de l'alimentation consécutive à l'infiltration de l'eau de pluie en surface, à l'écoulement d'une partie de l'eau contenue dans l'aquifère et à la reprise d'une certaine quantité d'eau par évapotranspiration, lorsque le niveau de la nappe est suffisamment près de la surface. Ces variations de niveaux peuvent être observées en certains points à l'aide de piézomètres et la figure 3.1 indique leur emplacement sur le bassin.

3.2 METHODOLOGIE DE L'ETUDE

Comme la plupart des autres modèles hydrologiques, le modèle CEQUEAU, et plus précisément son module PRODUCTION, est basé sur des réservoirs en série représentant la variation et l'écoulement de l'eau dans la zone non saturée du sol (réservoir sol) et la variation et l'écoulement de l'eau dans la zone saturée (réservoir nappe). De plus, sa conception, qui permet d'appliquer ce module PRODUCTION à chacun des carreaux entiers, implique la possibilité d'obtenir à tout pas de temps, le niveau de l'eau existant dans le réservoir nappe de chacun des carreaux entiers. On pourrait dès lors cartographier ce niveau d'eau à chaque pas de temps (comme on le fait avec la neige au sol au chapitre 4) ou suivre la variation temporelle de la lame d'eau contenue dans le réservoir nappe, pour un carreau entier quelconque.

Le modèle CEQUEAU étant un modèle conçu pour l'hydrologie de surface, nous nous sommes demandés dans quelle mesure le réservoir "nappe" de son module PRODUCTION pouvait représenter le comportement des

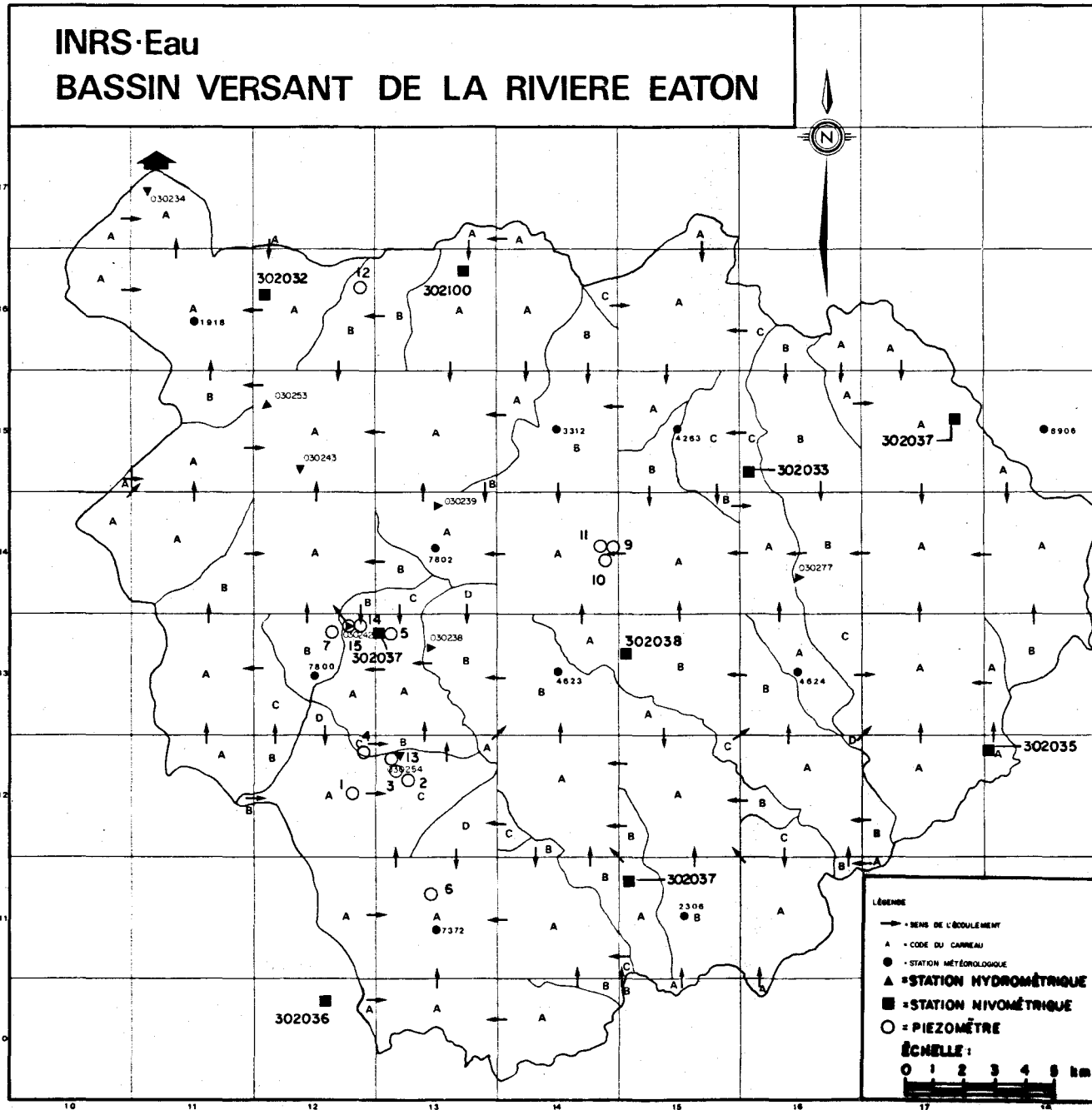


FIGURE 3.1 Le bassin de la rivière Eaton subdivisé par une grille de 4 km de côté.

nappes libres. Nous nous attendions à ce que cette simulation ne s'accorde pas nécessairement avec les variations des piézomètres utilisés, puisque le modèle n'avait pas été conçu dans ce but. De plus, implicitement le modèle suppose que la "nappe" s'étend à tout le bassin, alors que dans la réalité, les nappes ont une extension horizontale limitée. Conscients de ces divergences entre le modèle et l'hydrogéologie du bassin, nous avons quand même tenté de voir jusqu'à quel point le modèle pouvait simuler le comportement d'un aquifère dans la roche fracturée et dans les dépôts du quaternaire. Nous avons donc comparé les variations de niveau dans le réservoir nappe d'un carreau entier déterminé aux variations des piézomètres situés sur ce carreau.

Dans le cas d'un aquifère dans la roche fracturée, nous avons choisi les piézomètres F-1-P et F-4-P (figure 3.1) situés dans le bassin de la rivière Clifton (carreau 12-12) et avons comparé leur variation à celle de la lame contenue dans le réservoir nappe du même carreau. On peut noter les caractéristiques de ces piézomètres au tableau 3.1.

TABLEAU 3.1 Caractéristiques des piézomètres F-1-P et F-4-P.

PIEZOMETRE CARACTERISTIQUE	F-1-P	F-4-P
Diamètre (pouces)	6	6
Profondeur (pieds)	30	4
Coupe géologique:		
- terre (pieds)	0-2	0-2
- microgrès gris calcaireux altéré (pieds)	2-60	-
- microgrès gris calcaireux et schistes (pieds)	60-210	-
- grès fin calcaireux (pieds)	-	2-132

La variation temporelle du niveau d'un groupe de trois piézomètres, F-9-P, F-10-P et F-11-P, situés (figure 3.1) dans les alluvions près de la rivière du Nord (sous-bassin de la rivière Eaton (carreau 14-14) a aussi été comparée à la variation du réservoir nappe du même carreau. Les caractéristiques de ces piézomètres sont présentées au tableau 3.2.

TABLEAU 3.2 Caractéristiques des piézomètres F-9-P, F-10-P et F-11-P.

PIEZOMETRE CARACTERISTIQUE	F-9-P	F-10-P	F-11-P
Diamètre (pouces)	6	6	6
Profondeur (pieds)	10	12	23
Crépine:			
- longueur (pieds)	3	3	3
- profondeur (pieds)	7-10	9-12	20-23
- numéro	20	20	30
Coupe géologique:			
- sable et gravier silteux (alluvions) (pieds)	0-10	0-12	0-23
- silt et argile (pieds)	10	12	23

3.3 COMPARAISON DES VARIATIONS DE NIVEAU DES PIEZOMETRES F-1-P et F-4-P A CELLES DE LA LAME D'EAU DU RESERVOIR NAPPE SUR LE CARREAU 12-12, EN 1970 ET 1971

Les premières comparaisons que nous avons réalisées entre les variations de niveau des piézomètres F-1-P et F-4-P et la variation de la lame dans le réservoir nappe sur le carreau 12-12 indiquaient des réactions trop faibles de la lame simulée par rapport aux variations des piézomètres. Les valeurs prises par certains paramètres du modèle ont

donc été modifiées de façon à augmenter l'infiltration du réservoir SOL vers le réservoir NAPPE et accentuer les réactions (vidange) du réservoir NAPPE. Ces modifications sont présentées au tableau 3.3.

TABLEAU 3.3 Modifications apportées aux valeurs de quelques paramètres afin de mieux simuler les piézomètres.

PARAMETRE	VALEUR AU TABLEAU 1. 2	VALEUR MODIFIEE
CIN	0.2	0.3
CVNH	non utilisé	0.2
HINF	2.61	1.98
HNAP	-	1.0

Suite à ces modifications, la variation temporelle de la lame simulée s'accorde relativement bien avec celle du piézomètre F-1-P en 1970 (figure 3.2). Par ailleurs, on peut remarquer que l'accord entre les deux piézomètres F-1-P et F-4-P est moins bon. Dans ces conditions, ajuster davantage la lame simulée à l'un ou l'autre des piézomètres ne serait pas réaliste. En effet ces différences de réaction entre les deux piézomètres indiquent que leur représentativité spatiale ne s'étend pas à l'ensemble du carreau de 4 km par 4 km. D'autre part, certaines variations rapides de la nappe simulée ne sont pas traduites dans les courbes des piézomètres, compte tenu de l'intervalle entre les mesures. Ainsi, il n'y a pas de mesures entre le 12 et le 25 septembre 1970 et pendant ce temps la nappe simulée présente une baisse suivie d'une remontée, variation qui n'apparaît pas sur les courbes des piézomètres, mais qui est possible.

En 1971 (figure 3.3), seul le piézomètre F-1-P était en

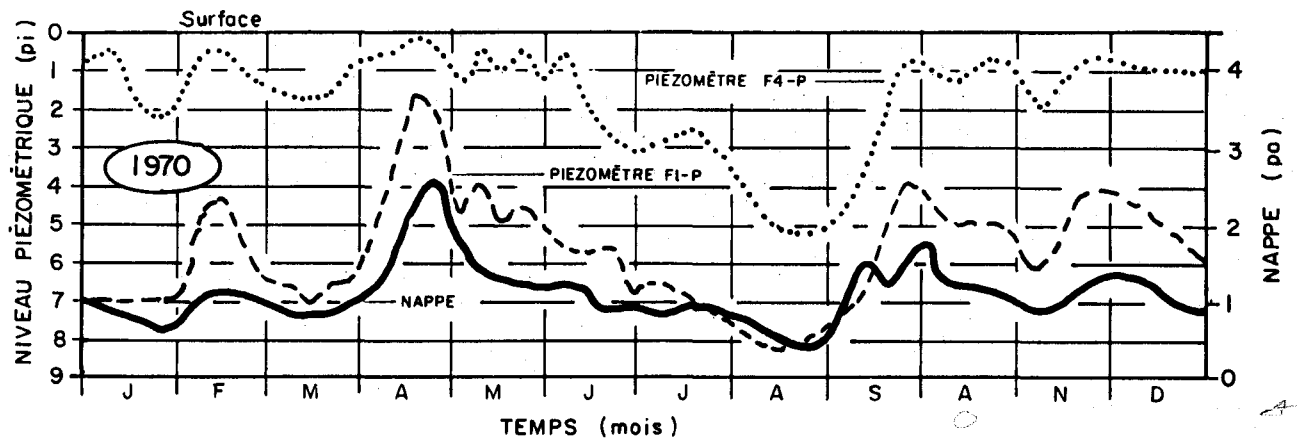


FIGURE 3.2 Variation du niveau des piézomètres F-1-P et F-4-P et de la lame d'eau dans le réservoir NAPPE du carreau 12-12, en 1970.

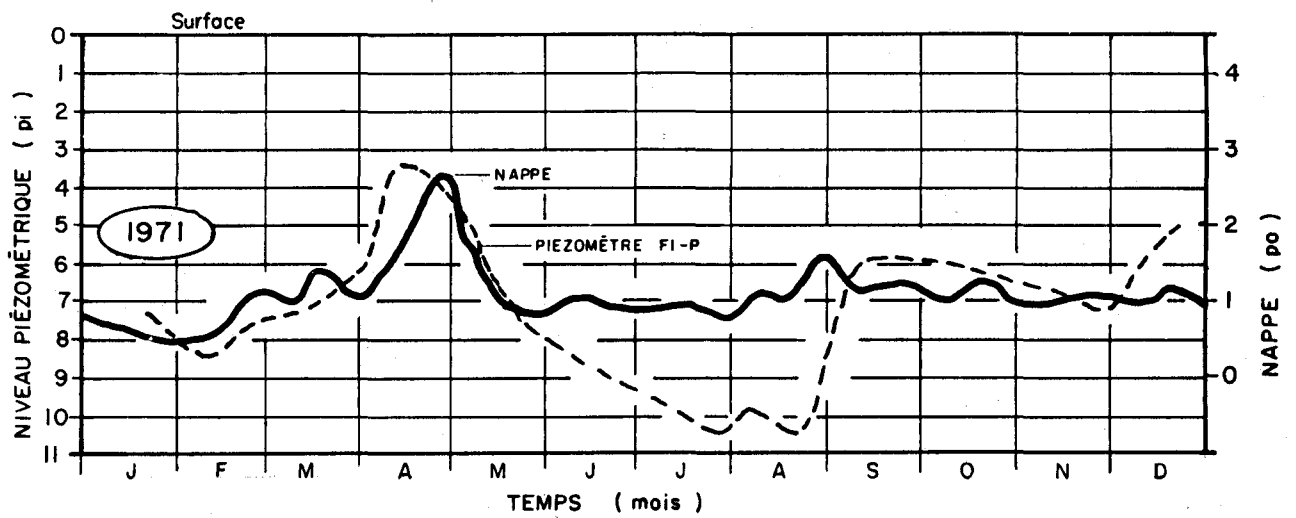


FIGURE 3.3 Variation du niveau du piézomètre F-1-P et de la lame d'eau dans le réservoir NAPPE du carreau 12-12, en 1971.

opération. L'accord est beaucoup moins bon qu'en 1970, le niveau du piézomètre présentant une baisse régulière du milieu d'avril à la fin de juillet, tandis que la nappe simulée baisse beaucoup plus rapidement pour demeurer à peu près stable en juin et juillet.

Enfin, il faudrait ajouter que les données qui nous ont été fournies sur les piézomètres ne font pas état d'essais de pompage qui ont eu lieu au cours de ces années. Par conséquent, il nous est difficile de savoir actuellement si certaines baisses ou remontées de niveau sont reliées à des pompages.

3.4 COMPARAISON DES VARIATIONS DE NIVEAU DES PIEZOMETRES F-9-P, F-10-P et F-11-P A CELLES DE LA LAME D'EAU DU RESERVOIR NAPPE SUR LE CARREAU 14-14, EN 1970 ET 1971

De manière à voir comment le réservoir NAPPE du modèle CEQUEAU réagissait dans des terrains différents de ceux des piézomètres F-1-P et F-4-P qui étaient dans la roche fissurée, nous avons voulu comparer les variations de la lame dans le réservoir nappe à celles des piézomètres situés dans des alluvions. Notons que les valeurs prises par les paramètres sont les mêmes que celles du tableau 3.3.

L'observation des figures 3.4 et 3.5 présentant la variation du niveau des piézomètres F-9-P, F-10-P et F-11-P en 1970 et 1971, de même que la variation de niveau du réservoir NAPPE sur le carreau 14-14 indique que les piézomètres réagissent de façon beaucoup plus similaire que les précédents, F-1-P et F-4-P (figure 3.2), quoique les remontées et les baisses ne soient pas toujours en phase.

Si la variation de niveau du réservoir NAPPE est comparée à celles des piézomètres, un accord remarquable est constaté en 1970 et 1971, et particulièrement en 1970 avec le piézomètre F-10-P. Encore une fois, l'intervalle de temps entre les mesures conduit à des courbes plus régulières que celles de la lame contenue dans le réservoir NAPPE du

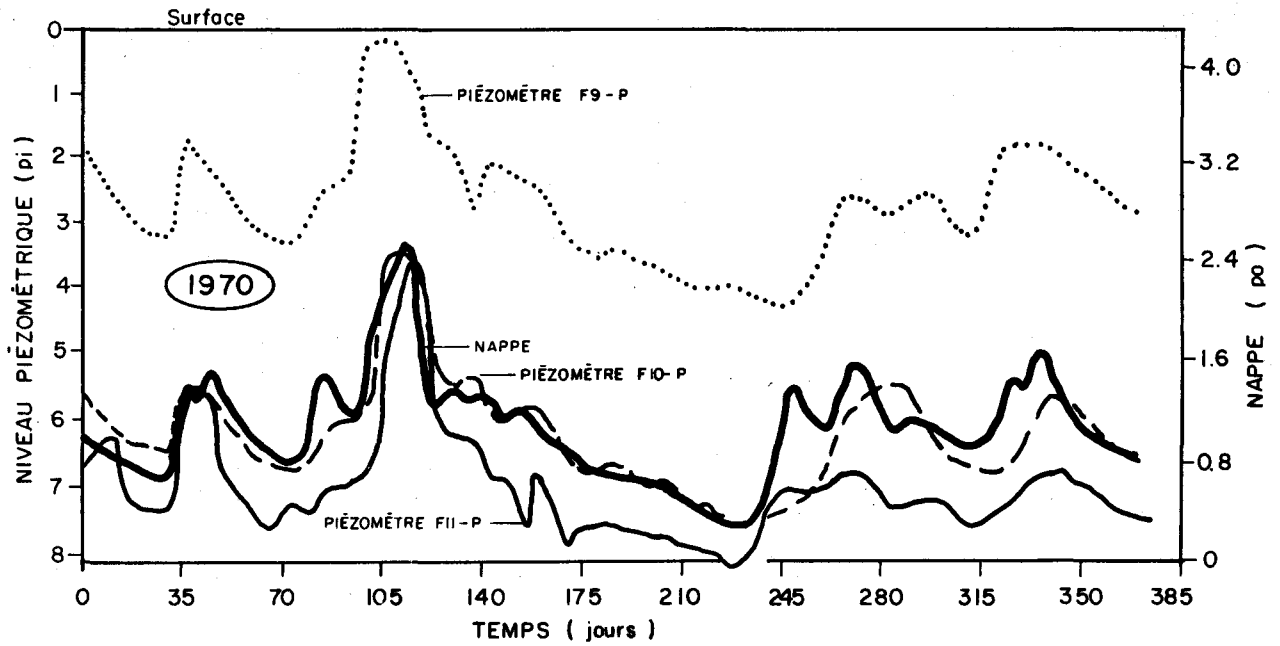


FIGURE 3.4 Variation du niveau des piézomètres F-9-P, F-10-P et F-11-P et de la lame d'eau dans le réservoir NAPPE du carreau 14-14, en 1970.

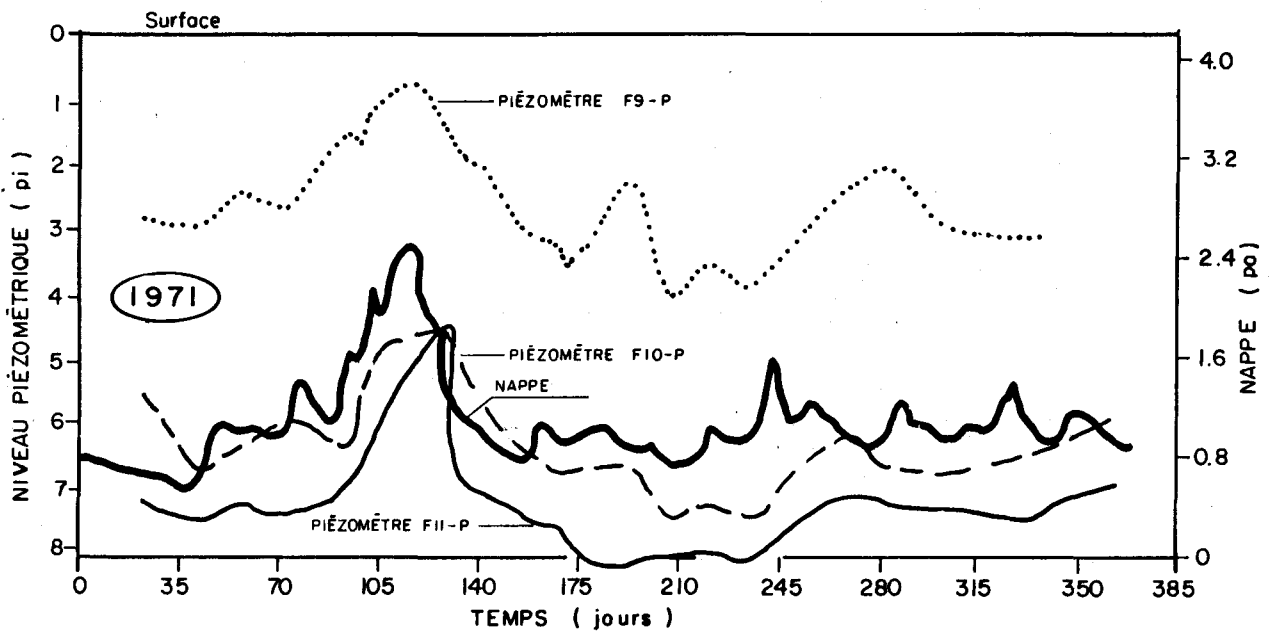


FIGURE 3.5 Variation du niveau des piézomètres F-9-P, F-10-P et F-11P et de la lame d'eau dans le réservoir NAPPE du carreau 14-14, en 1971.

carreau 14-14, surtout en automne, pour les deux années. La simulation permet donc d'avoir une idée des fluctuations réelles de niveau des piézomètres entre les mesures.

3.5 CONCLUSION

Les comparaisons entre la variation de niveau de piézomètres et la variation de la lame d'eau dans le réservoir NAPPE du modèle CEQUEAU, présentées dans ce chapitre ont montré que ce réservoir NAPPE réagissait de façon similaire à des nappes réelles, surtout lorsque ces aquifères étaient situés dans des sables et graviers près du cours d'eau. Cette constatation est très encourageante en ce qui a trait à la modélisation du bilan hydrologique, telle que traitée dans le modèle CEQUEAU. Ces premiers résultats vont d'une certaine façon au-delà de nos espérances. Nous comptons donc continuer à analyser le comportement du réservoir NAPPE à l'aide d'autres piézomètres et améliorer la simulation des eaux souterraines dans le modèle.

CHAPITRE 4

AMELIORATION DE LA SIMULATION DES DEBITS GRACE
A L'UTILISATION DES INFORMATIONS FOURNIES PAR
LA TELEDETECTION ET LES LIGNES DE NEIGE

4.1 CARTOGRAPHIE DU MANTEAU NIVAL PAR TELEDETECTION

La possibilité de délimiter l'extension du manteau nival sur un bassin à l'aide d'images obtenues par les satellites météorologiques ne fait plus de doute. En effet, de nombreuses études ont été réalisées jusqu'à maintenant dans ce domaine, en utilisant des images prises dans le visible, dans l'infrarouge ou dans les micro-ondes (McGinnis *et al.*, 1975; Gloersen and Salomonson, 1975; Rango and Itten, 1976; Rango, 1977; ...). Tous les satellites ne permettent pas cependant la même résolution au sol et la même fréquence d'observation. Le choix d'images produites par tel ou tel satellite dépendra donc de la résolution requise, des dimensions du bassin étudié et du pas de temps désiré (Rango and Salomonson, 1977).

Ainsi, les satellites de la série LANDSAT, bien que permettant une excellente résolution au sol (80 m) et produisant généralement des images multispectrales de grande qualité dans quatre bandes spectrales (0,5-0,6 μm , 0,6-0,7 μm , 0,7-0,8 μm et 0,8-1,1 μm), n'ont pas une fréquence de passage suffisante, une fois par dix-huit jours (ou neuf jours avec deux satellites), pour suivre seuls la fonte de la neige sur un bassin donné. L'idéal est d'utiliser, en plus des images LANDSAT et en autant que la superficie étudiée est suffisamment grande, un satellite, comme ceux de la série NOAA, qui couvre quotidiennement de grandes superficies. La résolution d'un tel satellite est moins grande mais sa fréquence de passage est un atout, lorsque l'on sait qu'au printemps en particulier, des formations nuageuses empêchent souvent de voir le sol.

En pratique, l'étude d'une image permet de distinguer entre les surfaces couvertes de neige et celles qui ne le sont pas, avec une précision qui dépend de la résolution au sol mais aussi de la sensibilité du capteur à bord du satellite. Il faut ajouter ici que si l'image est disponible sur papier, la décision de considérer qu'une surface est couverte de neige ou non découle aussi de la qualité de l'image photographique. Dans le cadre de l'étude hydrologique de la rivière Eaton,

les auteurs ont fait appel aux images fournies par les satellites LANDSAT.

Les dimensions du bassin de la rivière Eaton ne permettent pas en effet une étude détaillée de la fonte de la neige à partir des images fournies par des satellites de résolution plus faible. Toutefois, en 1975, des images prises par le satellite ESSA-8, ont été utilisées pour pallier à l'absence de données LANDSAT à certaines dates. La caméra de télévision du satellite ESSA-8 fonctionne dans le visible (0,5-0,7 μm) et a une résolution au sol d'environ 4 km.

4.2 SIMULATION ET CARTOGRAPHIE DE LA FONTE DE NEIGE PAR LE MODELE CEQUEAU

Précisons immédiatement que le modèle CEQUEAU simule la fonte de la neige à partir d'équations basées sur la méthode des degrés-jours. Il ne diffère donc pas de la plupart des modèles connus dont le module de fonte de neige est généralement basé soit sur les degrés-jours soit sur un bilan énergétique plus complexe, lorsque les données nécessaires sont disponibles.

Par contre, la synthèse de l'écoulement que réalise le modèle est basée sur le découpage d'un bassin versant en surfaces élémentaires de dimensions semblables, appelées "carreaux entiers", eux-mêmes subdivisés en "carreaux partiels", suivant le sens de l'écoulement (figure 4.1). Tant les caractéristiques de ce modèle à discrétisation spatiale, que ses applications possibles, ont été amplement décrites antérieurement (Girard *et al.*, 1972a, 1972b; Girard *et al.*, 1973; Morin *et al.*, 1975; Charbonneau *et al.*, 1977; Charbonneau *et al.*, 1979).

Cette division d'un bassin versant en "carreaux entiers" permet en particulier de suivre la variation de hauteur de l'équivalent en eau du manteau nival sur chaque carreau entier en tout temps. Il est possible de produire une carte indiquant l'équivalent en eau du manteau nival

sur chaque carreau entier, au jour désiré. Le modèle CEQUEAU permet donc de suivre les variations spatiales et temporelles du stock de neige sur un bassin versant pendant l'hiver, puis sa diminution progressive au printemps, jusqu'à la disparition complète de la neige sur tel ou tel carreau entier. La présentation de ces stocks sous forme de cartes indique dès lors quelles parties du bassin sont encore couvertes de neige, de même que l'équivalent en eau de la neige encore au sol. Sur ces cartes, chaque carreau entier est représenté par un "rectangle" de deux lignes et trois colonnes de manière à réduire la distorsion créée par l'imprimante entre hauteur et largeur; les caractères de 1 à 9 correspondent à la hauteur moyenne de l'équivalent en eau du manteau pondérée en fonction des superficies relatives de surfaces boisées et déboisées sur le carreau. Les valeurs supérieures à 10 pouces sont représentées par la lettre A. L'absence de symbole signifie moins de 1 pouce d'équivalent en eau.

4.3 METHODOLOGIE DE L'ETUDE

Nous avons procédé à une série d'essais dans le but de vérifier dans quelle mesure il y avait moyen d'améliorer la simulation des débits de la rivière Eaton en utilisant des renseignements complémentaires aux précipitations relevées aux stations météorologiques (figure 4.1). Lors de ces simulations nous avons pris comme point de référence, les simulations présentées antérieurement par Charbonneau *et al.* (1977). Les simulations avaient alors été réalisées en ayant recours uniquement aux précipitations relevées aux diverses stations météorologiques du bassin.

Dans une première phase, nous avons modifié les valeurs prises par les paramètres régissant la fonte de la neige dans le modèle, de manière à faire coïncider le mieux possible la simulation de la répartition spatiale du couvert de neige à une date donnée avec la répartition spatiale obtenue par interprétation de l'image LANDSAT disponible pour

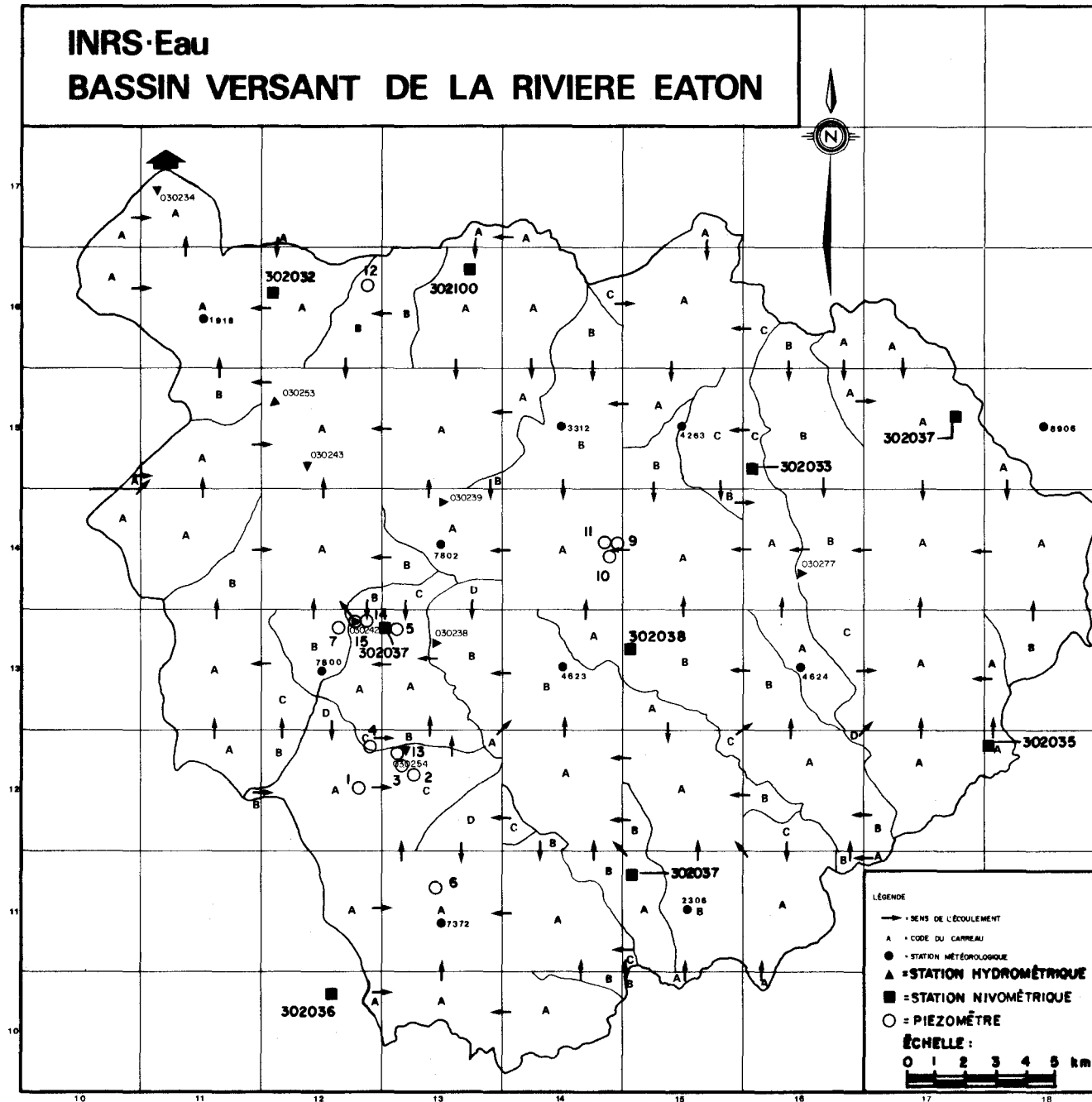


FIGURE 4.1 Le bassin de la rivière Eaton subdivisé par une grille de 4 km de côté.

la même date. Pour ce faire, des cartes indiquant l'équivalent en eau de la neige pour chaque carreau entier, tel que calculé par le modèle CEQUEAU, furent produites à tous les trois jours pendant la période de fonte.

La seconde phase a consisté à corriger les stocks de neige au sol à certaines dates à l'aide des épaisseurs réelles fournies par les mesures effectuées à des stations nivométriques situées sur le bassin (figure 4.1 et tableau 4.1).

Par suite de l'addition de ces informations supplémentaires, les cartes d'enneigement produites à différentes dates se sont avérées plus conformes à l'évaluation de la répartition spatiale de la neige sur le bassin d'après les images LANDSAT. Les nouveaux débits simulés se sont également rapprochés des débits observés d'une façon sensible.

4.4 SIMULATION DE REFERENCE, BASEE UNIQUEMENT SUR LES CHUTES DE NEIGE (SIMULATION NO 1)

Lors du premier rapport portant sur la simulation des débits sur la rivière Eaton (Charbonneau *et al.*, 1977), les simulations avaient été réalisées en subdivisant le bassin en carreaux de 2 km de côté. Pour notre simulation de référence, nous avons conservé les valeurs des paramètres utilisées dans ce rapport; toutefois le bassin a été subdivisé en carreaux de 4 km de côté. Comme le chapitre 2 du présent rapport indique que l'augmentation des dimensions des carreaux de 2 à 4 km ne change pas les caractéristiques des débits calculés de façon décelable, cette simulation basée sur des carreaux de 4 km de côté, permet une économie de temps d'ordinateur, sans perte de précision sur les débits. Le tableau 4.2 présente les valeurs prises par les paramètres pour chacun des essais réalisés dans ce chapitre.

La comparaison des débits simulés et calculés à la station 030234 en 1974 et 1975 (figures 4.2 et 4.3) permet de constater que le modèle

TABLEAU 4.1 Stations nivométriques sur le bassin de la rivière Eaton, utilisées pour corriger l'équivalent en eau de la neige au sol.

STATION	NUMERO FEDERAL	NOM	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (pi)
1	302031	Sawyerville North	45°20'	71°34'	1050
2	302033	Pine Brook North	45°23'	71°24'	1525
3	302034	West Ditton	45°24'	71°19'	1600
4	302035	Bellefeuille	45°19'	71°18'	1875
5	302036	East Clifton North	45°15'	71°36'	1475
6	302037	Eaton Second Branch	45°16'	71°26'	1625
7	302038	Maple Leaf	45°20'	71°27'	1275
8	302040	St-Malo	45°12'	71°30'	1850
9	302100	Burny	45°27'	71°32'	1100

TABLEAU 4.2 Valeurs prises par les paramètres du modèle CEQUEAU pour les quatre simulations.

PARAMETRES	ESSAI NO 1	ESSAIS NOS 2, 3 ET 4
<u>Réservoirs</u>		
CIN	0.2	0.2
CVMAR	0.025	0.025
CVNB	0.015	0.015
CVNH	Non utilisé	Non utilisé
CVSB	Non utilisé	Non utilisé
CVSI	0.35	0.35
HINF	2.61 po	2.61 po
HINT	2.40 po	2.40 po
HMAR	10.00 po	10.00 po
HNAP	Non utilisé	Non utilisé
HSOL	3.00 po	3.00 po
<u>Fonte de la neige</u>		
STRNE	30°F	30°F
TFC	0.080	0.070
TFD	0.070	0.070
TSC	27°F	28°F
TSD	30°F	32°F
TTD	0.70	0.70
TTS	30°F	30°F
<u>Evaporation</u>		
HPOT	2.40 po	2.40 po
EVNAP	0	0
XAA	1.00	1.00
XIT	30.00	30.00
<u>Transfert</u>		
EXXKT	0.004	0.004
ZN	1.0	1.0
<u>Divers</u>		
COEP	0.009 po/pi	0.009 po/pi
XINFMA	0.4 po/jour	0.4 po/jour
XLA	45°30'	45°30'
JONEI	50 jours	80 jours
JOEVA	80 jours	80 jours
TRI	0	0

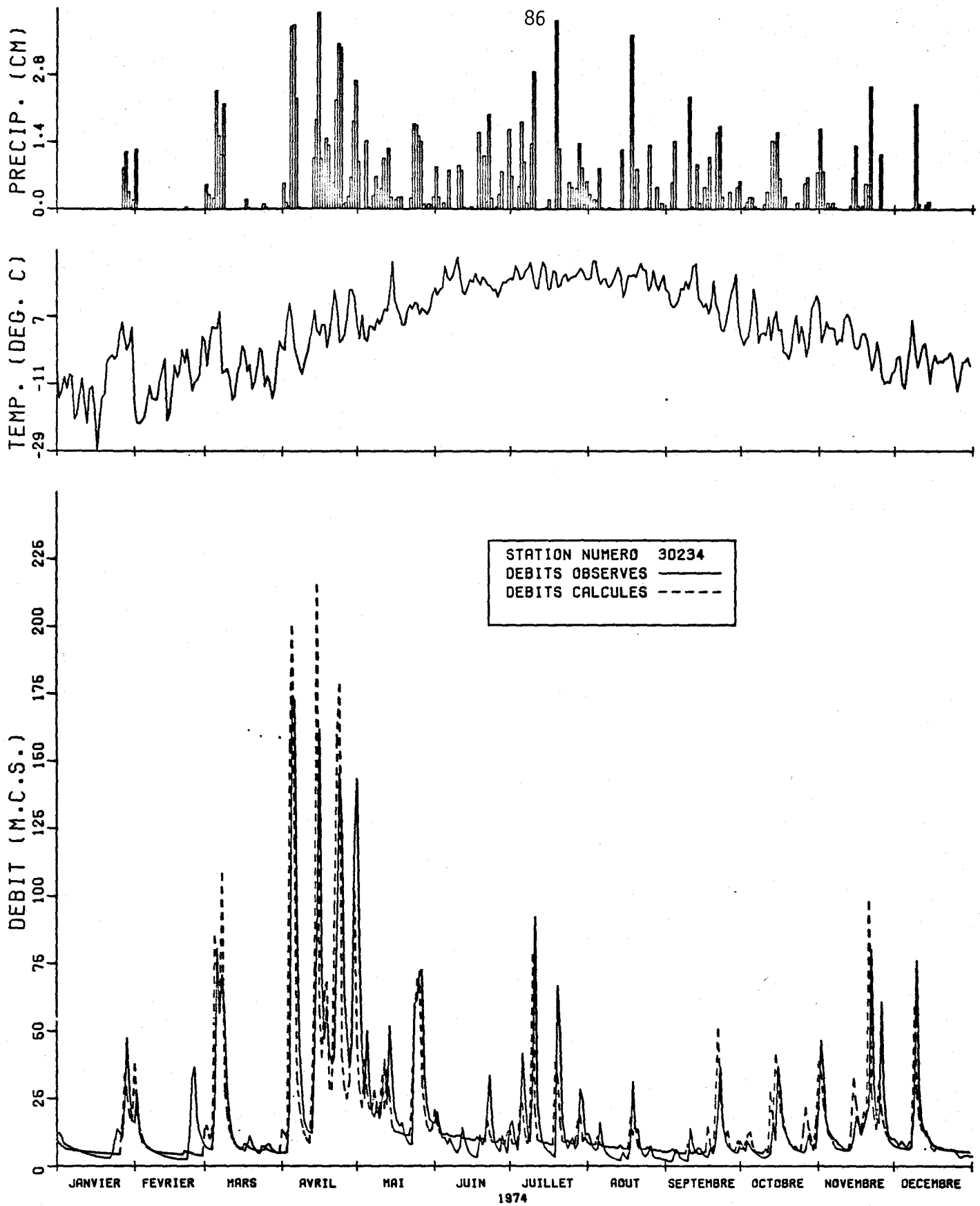


FIGURE 4.2 DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON

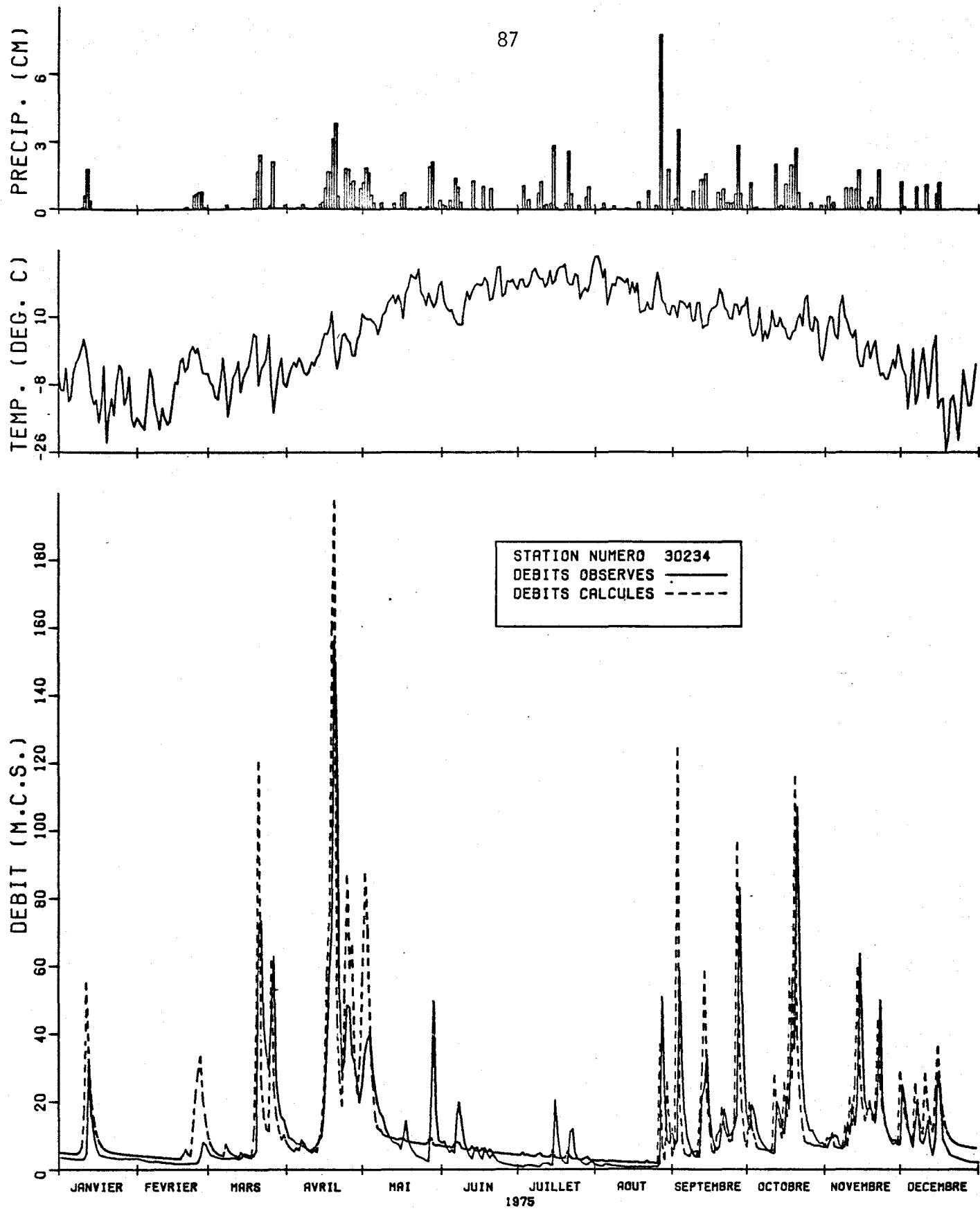


FIGURE 4.3 DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE EATON

réagit de façon généralement satisfaisante. En effet, le modèle simule adéquatement les variations rapides de débits qui caractérisent le régime hydrologique de la rivière Eaton. On observe toutefois que les débits maximums simulés en hiver sont généralement plus élevés que les débits observés et ce pour les deux années (tableau 4.3). La même observation est valable à la fin de l'automne alors qu'en été, les débits simulés et calculés sont relativement plus en accord.

Au niveau des lames mensuelles au printemps, soit de mars à mai, on remarque que le modèle surestime la lame observée en mars et la sous-estime en mai de chaque année (tableau 4.4). En 1974, le modèle sous-estime la lame totale écoulée de mars à mai de 5.8%, alors qu'en 1975, il la surestime de 15.5%.

TABLEAU 4.5 Dates et identifications des images LANDSAT disponibles pour la période étudiée.

DATE	IDENTIFICATION
15 mars 1974	E- 1600-15011
20 avril 1974	E- 1636-15002
28 mars 1975	E- 10978-14481
15 avril 1975	E- 10996-14471

Pour ce qui est de l'observation du retrait du manteau nival par télédétection, deux images sont disponibles à chaque année (tableau 4.5). Le 15 mars 1974, l'interprétation de l'image LANDSAT indique que le bassin de la rivière Eaton est encore totalement recouvert de neige. Le couvert de neige n'est toutefois pas tellement épais et discontinu. Cette interprétation est corroborée par le fait qu'il n'y a plus de neige aux stations climatologiques, mais que les relevés effectués les 11 et 12 mars aux stations nivométriques indiquent au contraire des

TABLEAU 4.3 Comparaison des débits maximums observés à différentes dates, au printemps, à la station 030234. Pour chaque simulation, la première ligne (A) présente les débits calculés et la seconde ligne (B) indique la différence entre le débit calculé et le débit observé.

		1974						1975			
		DEBITS MAXIMUMS (pi ³ /s)									
		28 janvier	5 mars	4 avril	15 avril	23 avril	30 avril	12 janvier	26 février	21 mars	19 avril
Observé		1680	2850	6160	5720	5130	5070	1100	287	2600	5520
Simulation No 1	A	3853	4408	9510	4297	7958	4102	3235	2501	5957	6483
	B	2173	1558	3350	-1423	2828	- 968	2135	2214	3357	963
Simulation No 2	A	2039	3674	7579	6843	7951	4488	2233	1366	4562	6799
	B	359	824	1419	1123	2821	- 582	1133	1079	1962	1279
Simulation No 3	A	2039	3757	7606	6792	7779	4308	2233	1462	4894	6514
	B	359	907	1446	1072	2649	- 762	1133	1175	2294	994
Simulation No 4	A	2039	3757	7606	6792	7779	4308	2233	1462	4894	6300
	B	359	907	1446	1072	2649	- 762	1133	1175	2294	780

TABLEAU 4.4 Comparaison des lames écoulées (en pouces) observées et calculées, au printemps, à la station 030234. Pour chaque simulation, la première ligne (A) présente les valeurs calculées et la seconde ligne (B) indique la différence entre la lame calculée et la lame observée.

		1974					1975				
		MARS	AVRIL	MAI	TOTAL	%	MARS	AVRIL	MAI	TOTAL	%
Lame observée		2.62	10.60	5.07	18.29		2.76	4.86	2.34	9.96	
Simulation No 1	A	3.80	9.14	4.29	17.23		3.84	6.27	1.38	11.49	
	B	1.176	-1.460	-0.780	-1.064	-5.8	1.079	1.416	-0.956	1.539	15.5
Simulation No 2	A	3.42	10.52	4.42	18.36		2.69	6.25	3.57	12.51	
	B	0.804	-0.078	-0.649	0.077	0.4	-0.071	1.396	1.237	3.562	25.7
Simulation No 3	A	3.45	10.16	4.38	17.99		2.86	6.14	2.35	11.35	
	B	0.830	-0.433	-0.691	-0.294	-1.6	0.098	1.287	0.010	1.395	14.0
Simulation No 4	A	3.45	10.16	4.38	17.99		2.86	5.72	1.51	10.09	
	B	0.829	-0.434	-0.691	-0.294	-1.6	0.098	0.861	-0.822	0.137	1.4

valeurs variant de 1.7 à 7.0 pouces d'équivalent en eau. Le modèle par contre, indique qu'il reste plus d'un pouce de neige uniquement sur 20 carreaux, tous situés dans la partie est du bassin (figures 4.4 et 4.5). Par ailleurs, le 7 mars (figure 4.4a), la moitié du bassin était déjà à découvert. Ce premier résultat permet donc, si on le relie à ceux du tableau 4.4, de penser que le modèle calcule une fonte de neige trop rapide et qu'il y aurait lieu de ralentir la fonte. D'autre part, l'observation des figures 4.4c à 4.4h permet de constater que le bassin se recouvre à nouveau de neige entre le 16 et le 19 mars et que ce couvert atteint un nouveau maximum le 3 avril (figure 4.4f). A partir de cette date, le retrait du manteau nival se produit rapidement, quoique retardé par de faibles chutes de neige dans la première quinzaine d'avril. Le 20 avril, toutefois, le modèle indique qu'il n'y a plus de neige sur le bassin (figure 4.4i). Au contraire, l'image LANDSAT démontre clairement qu'il reste de la neige dans la partie est du bassin. Les limites du manteau nival, telles qu'évaluées à partir d'une image LANDSAT, sont tracées sur l'image 4.4i, pour le 20 avril 1974.

On peut donc conclure qu'en 1974, le modèle simulait trop rapidement la fonte de la neige et qu'il était possible que le stock de neige réel au sol soit supérieur à celui qui a été estimé à partir des chutes de neige.

Par ailleurs, en 1975, la période de fonte, en particulier le mois d'avril, est relativement froide et sans pluies importantes, contrairement à 1974. Le stock de neige au sol est toutefois plus important en 1975 qu'en 1974. Ces caractéristiques se retrouvent dans la crue de printemps. Les crues subites sont moins nombreuses en 1975 qu'en 1974 et le débit monte moins haut. De plus, la lame totale écoulée au cours de cette période est plus faible en 1975 qu'en 1974.

Le couvert de neige demeure au sol jusqu'à la fin d'avril et les images LANDSAT disponibles en 1975 confirment ce résultat. Malheureusement, aucune image n'est disponible au moment où le bassin se dégage du couvert de neige. L'interprétation des images du satellite

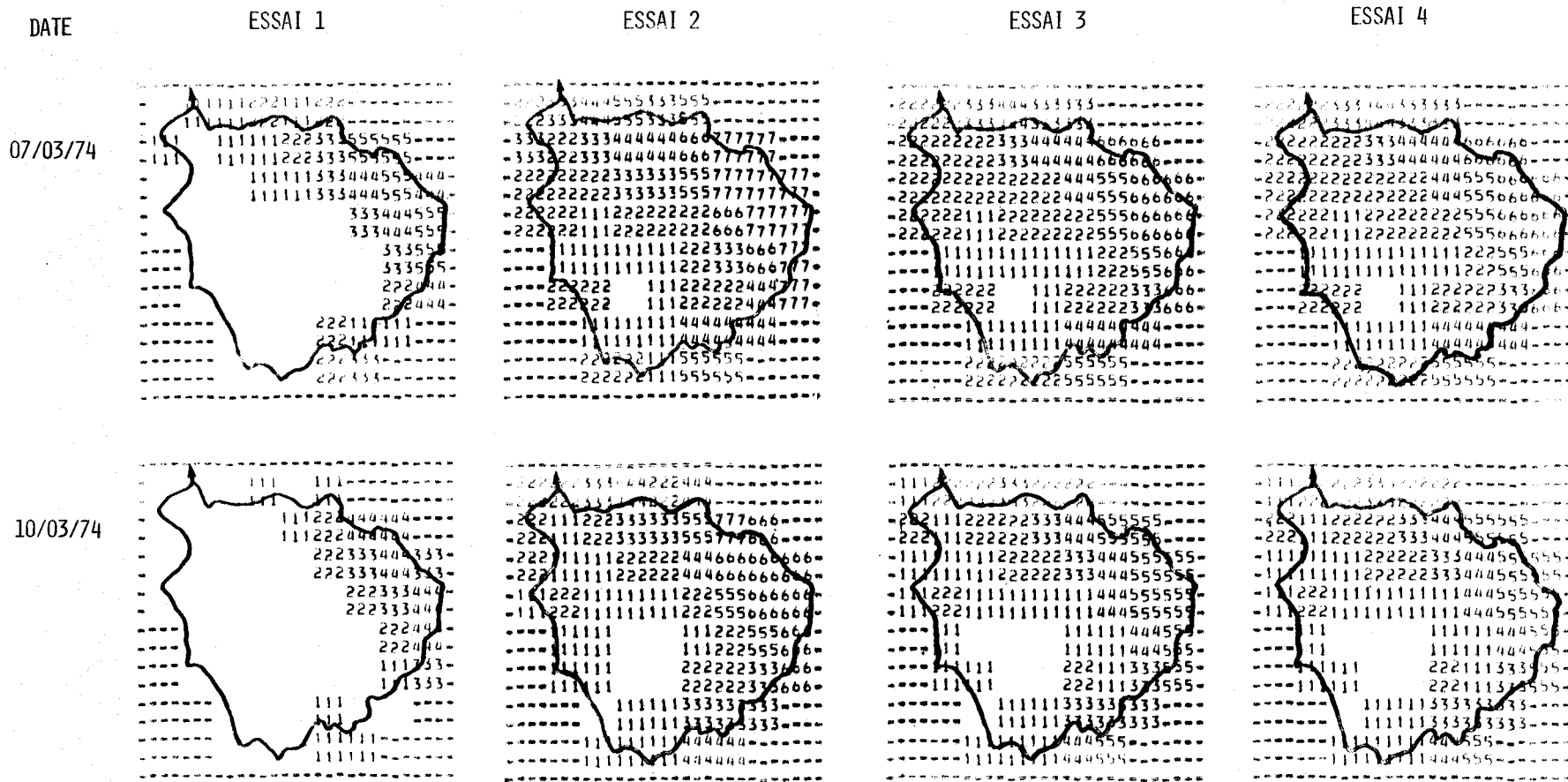


FIGURE 4.4a Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1974.

DATE

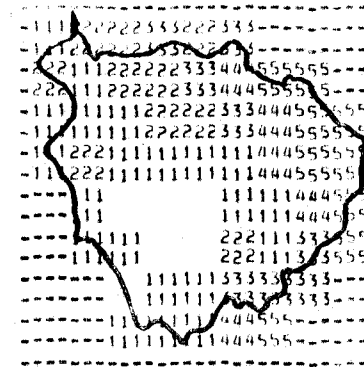
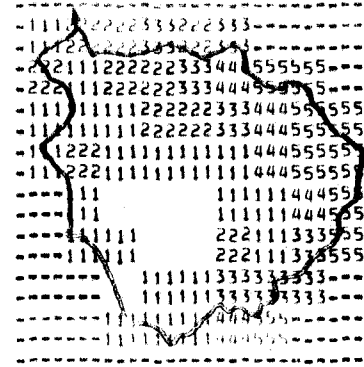
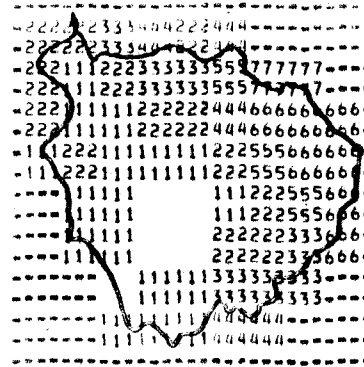
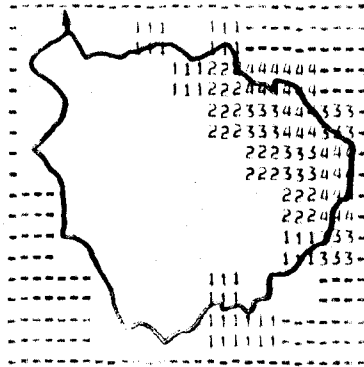
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

13/03/74



15/03/74

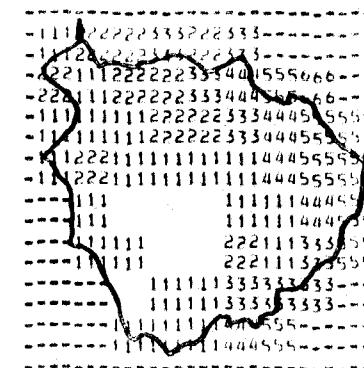
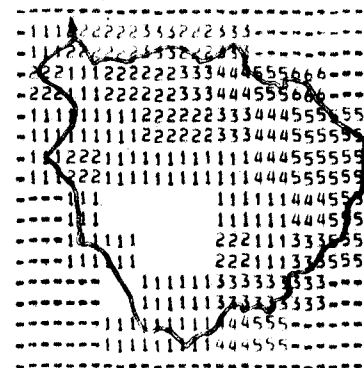
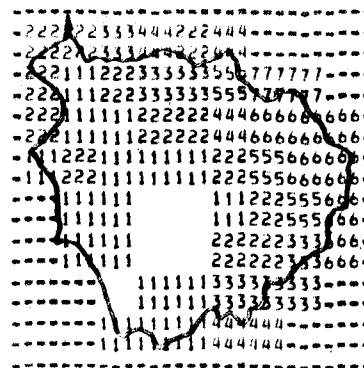
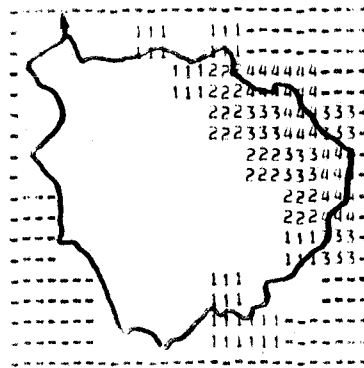


FIGURE 4.4b Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1974.

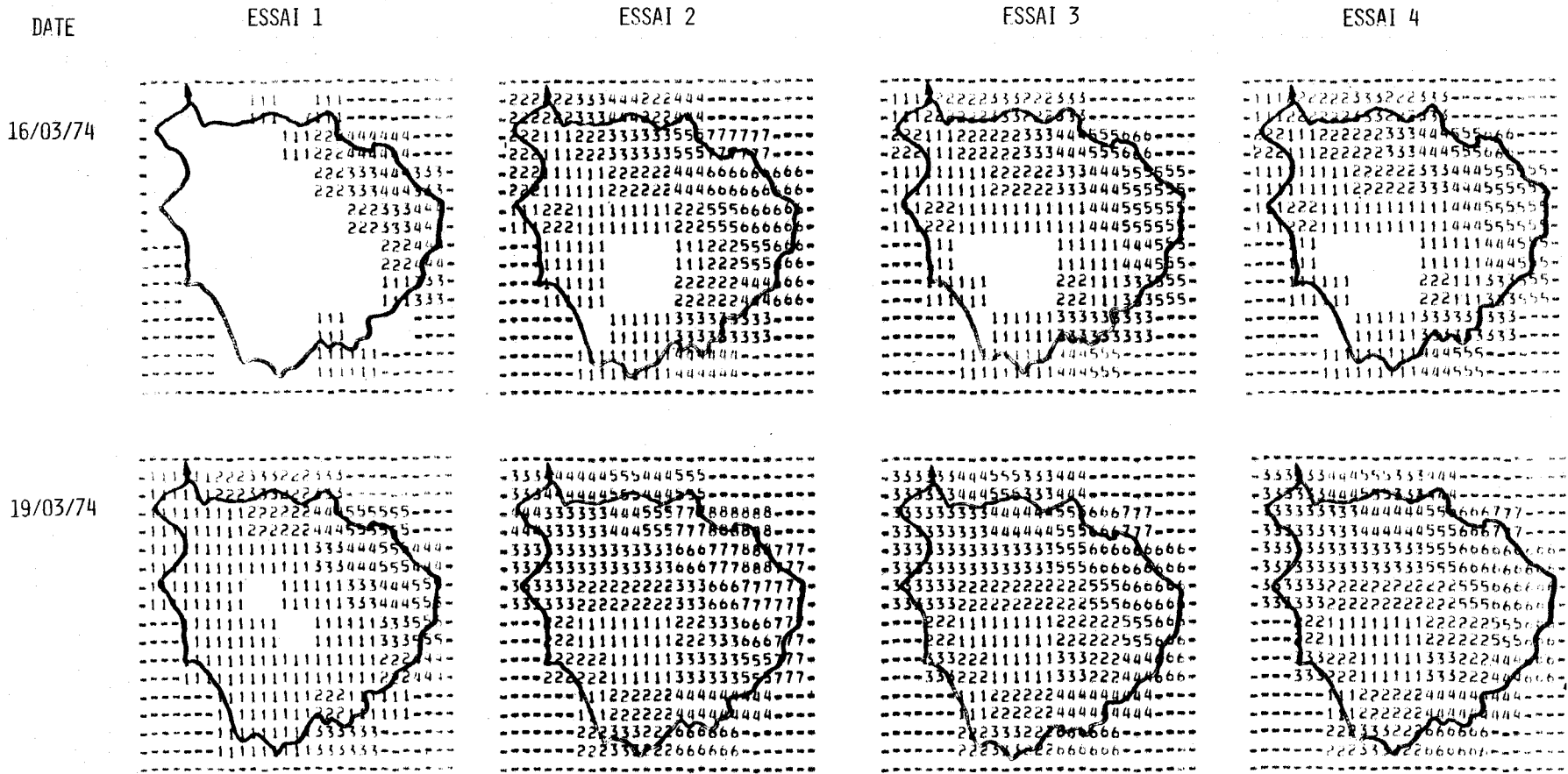


FIGURE 4.4c Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1974.

DATE

ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

22/03/74

-2222222233322333-----
-222222223333444666666-----
-22222222222333444666666-----
-222222222222244455555555-----
-222222222222244455555555-----
-2222221111111222444555666-----
-2222211111111122244455666-----
-22111111111111111444666-----
-22111111111111111222555-----
-22111111111111111222555-----
-22111111133322222-----
-2211111113332222-----
-1111111333444-----
-1122211333444-----

-444444555666444666-----
-444444555666444666-----
-55444444455555777999999-----
-55444444455555777999999-----
-444444444444777888999888-----
-444444444444777888999888-----
-44444422233333444777888888-----
-44444422233333444777888888-----
-3322222222233333777888-----
-3322222222233333777888-----
-3333311122233333555888-----
-3333311122233333555888-----
-2222222255555555-----
-2222222255555555-----
-33333333666777-----
-33333333666777-----

-444444555555444555-----
-444444555555444555-----
-444444444444555666777777-----
-444444444444555666777777-----
-44444433344433355666777777-----
-44444433344433355666777777-----
-4444442223333333666777777-----
-4444442223333333666777777-----
-33222222222222333666777-----
-33222222222222333666777-----
-3333311122233333555777-----
-3333311122233333555777-----
-2223322555555555-----
-2223322555555555-----
-33333333777777-----
-33333333777777-----

-444444555555444555-----
-444444555555444555-----
-444444444444555666777777-----
-444444444444555666777777-----
-44444433344433355666777777-----
-44444433344433355666777777-----
-4444442223333333666777777-----
-4444442223333333666777777-----
-33222222222222333666777-----
-33222222222222333666777-----
-3333311122233333555777-----
-3333311122233333555777-----
-2223322555555555-----
-2223322555555555-----
-33333333777777-----
-33333333777777-----

25/03/74

-33322333444333444-----
-33222333444333444-----
-332222233333355666666-----
-33222223333335566666666-----
-333333322222556666666666-----
-333333322222556666666666-----
-3333322222111222444666666-----
-333322222111222444666666-----
-222222211122222444666-----
-222222211122222444666-----
-222222211122222333555-----
-222222211122222333555-----
-22222223332222-----
-22222223332222-----
-2222222444444-----
-2222222444444-----

-4444445555777555666-----
-4444445555777555666-----
-554444444555666888999999-----
-554444444555666888999999-----
-444444444444777999999999-----
-444444444444777999999999-----
-444444444444777999999999-----
-4455533333333444888888999-----
-4455533333333444888888999-----
-4444443322222333444888999-----
-4444442222244444666888-----
-4444442222244444666888-----
-222333333666555555-----
-222333333666555555-----
-444444333777777-----
-444444333777777-----

-444444555666444555-----
-444444555666444555-----
-444444444444555666888888-----
-444444444444555666888888-----
-444444444444666777888888-----
-444444444444666777888888-----
-4444442222233333777888-----
-4444442222233333777888-----
-3322222222233333777888-----
-3322222222233333777888-----
-4444442222244444555777-----
-4444442222244444555777-----
-333333336665555555-----
-333333336665555555-----
-444444333777777-----
-444444333777777-----

-444444555666444555-----
-444444555666444555-----
-444444444444555666888888-----
-444444444444555666888888-----
-444444444444666777888888-----
-444444444444666777888888-----
-4444442222233333777888-----
-4444442222233333777888-----
-3322222222233333777888-----
-3322222222233333777888-----
-4444442222244444555777-----
-4444442222244444555777-----
-333333336665555555-----
-333333336665555555-----
-444444333777777-----
-444444333777777-----

FIGURE 4.4d Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1974.

DATE

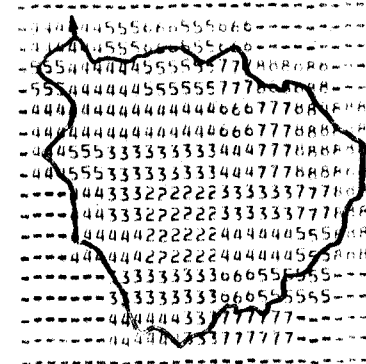
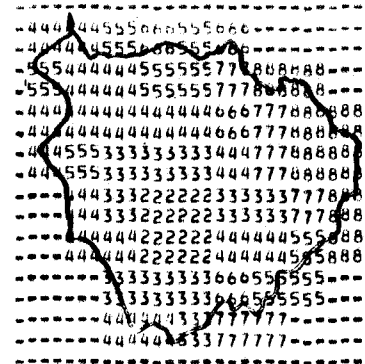
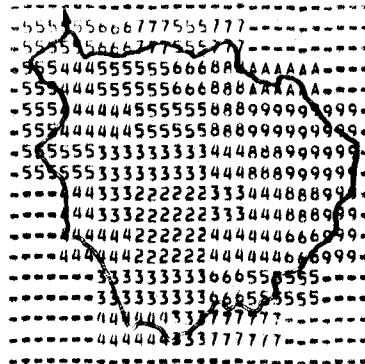
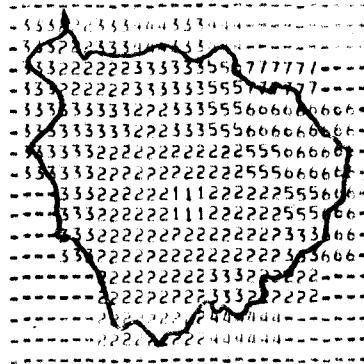
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

28/03/74



31/03/74

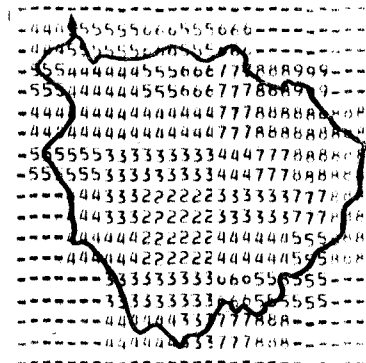
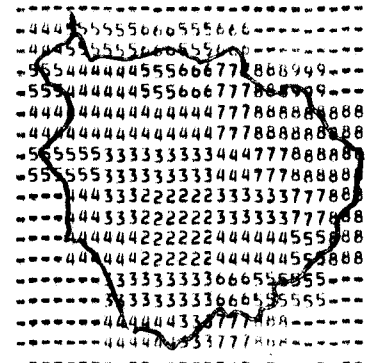
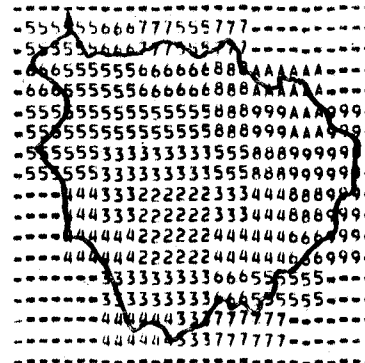
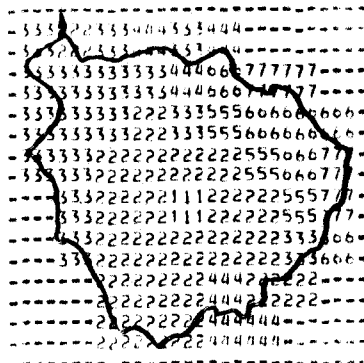


FIGURE 4.4e Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1974.

DATE

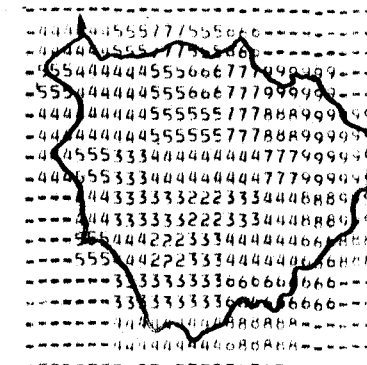
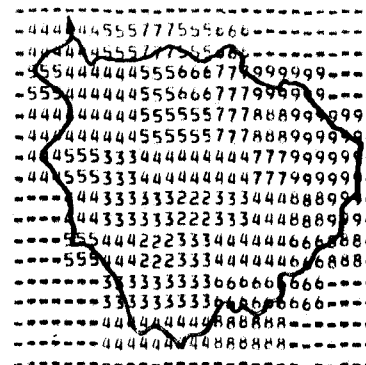
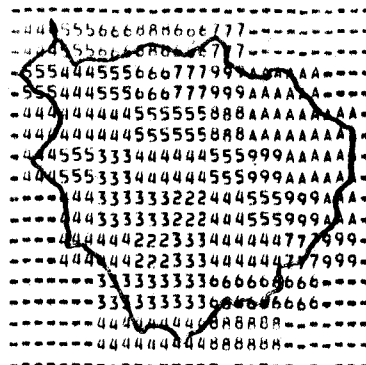
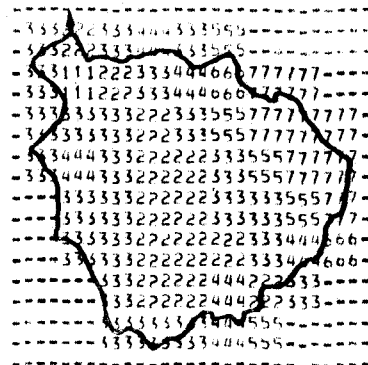
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

03/04/74



06/04/74

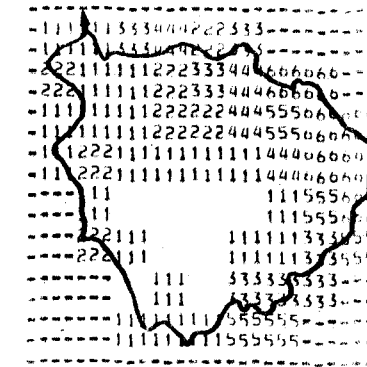
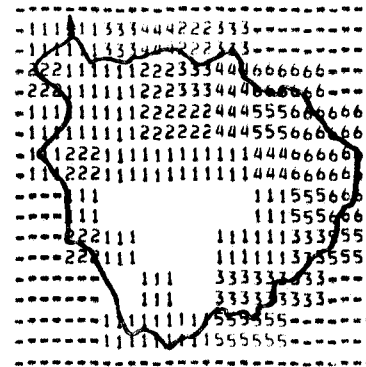
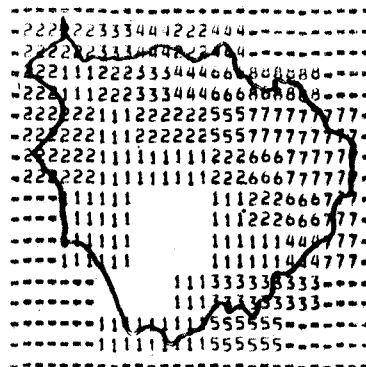
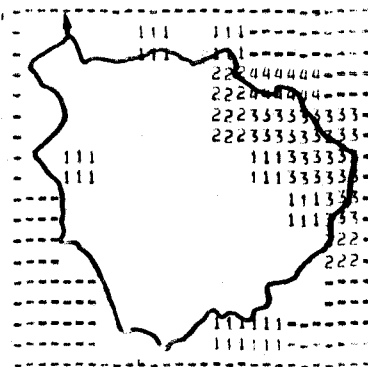


FIGURE 4.4f Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1974.

DATE

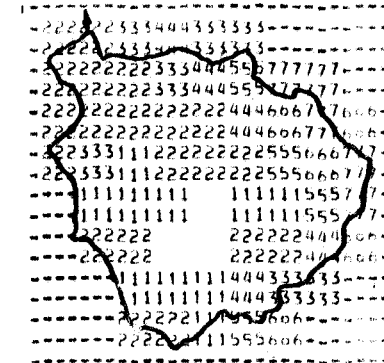
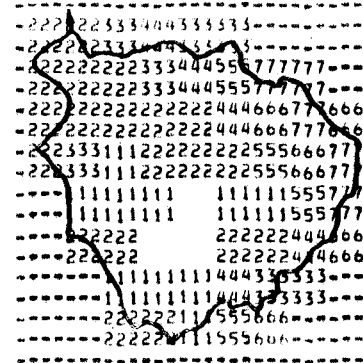
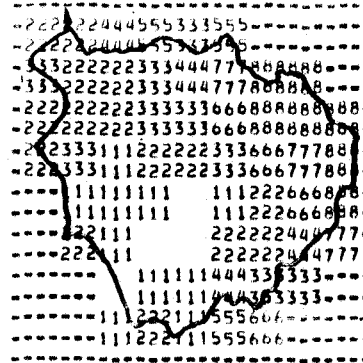
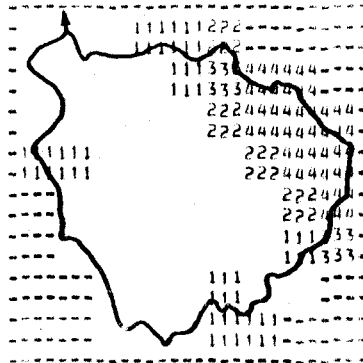
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

09/04/74



12/04/74

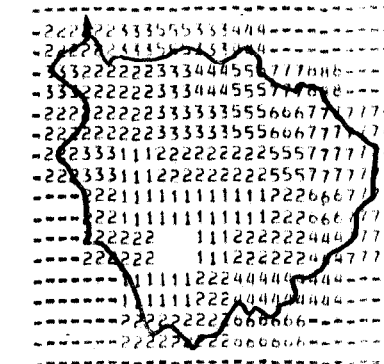
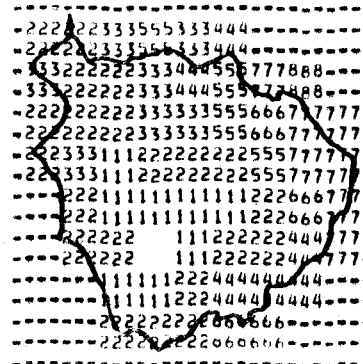
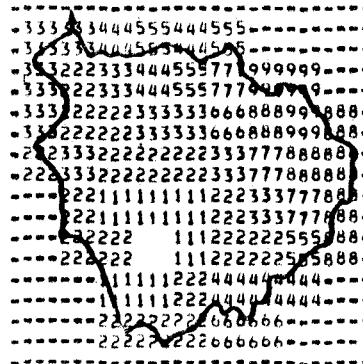
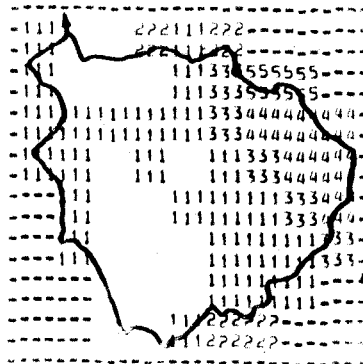


FIGURE 4.4g Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1974.

DATE

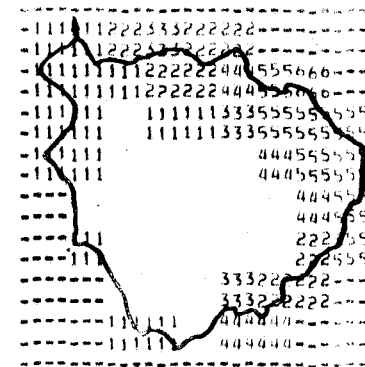
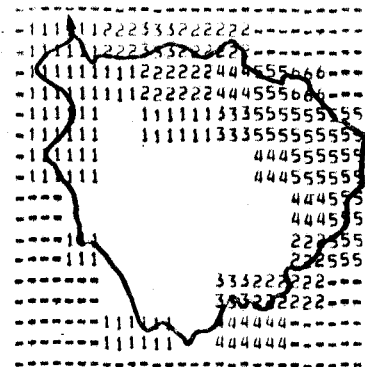
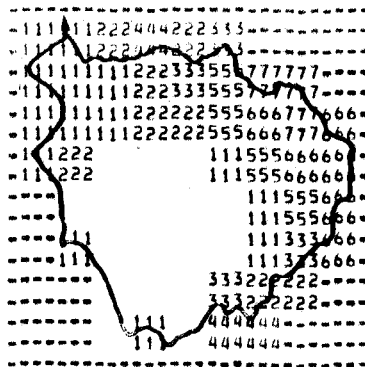
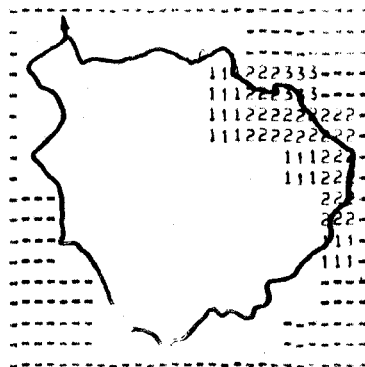
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

15/04/74



18/04/74

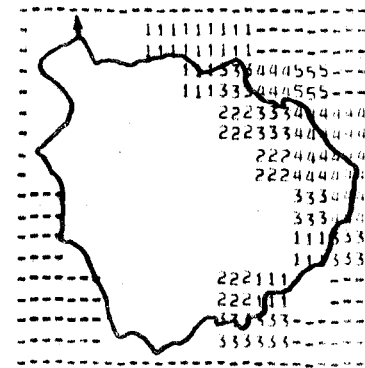
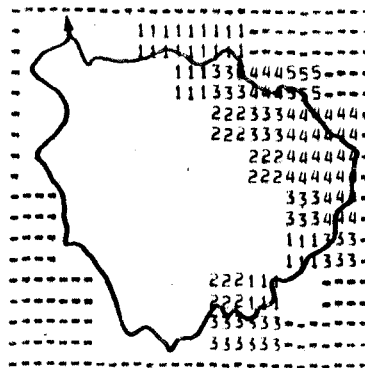
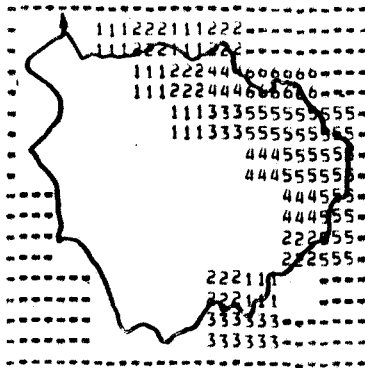
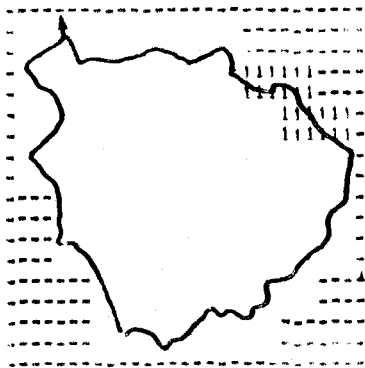


FIGURE 4.4h Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1974.

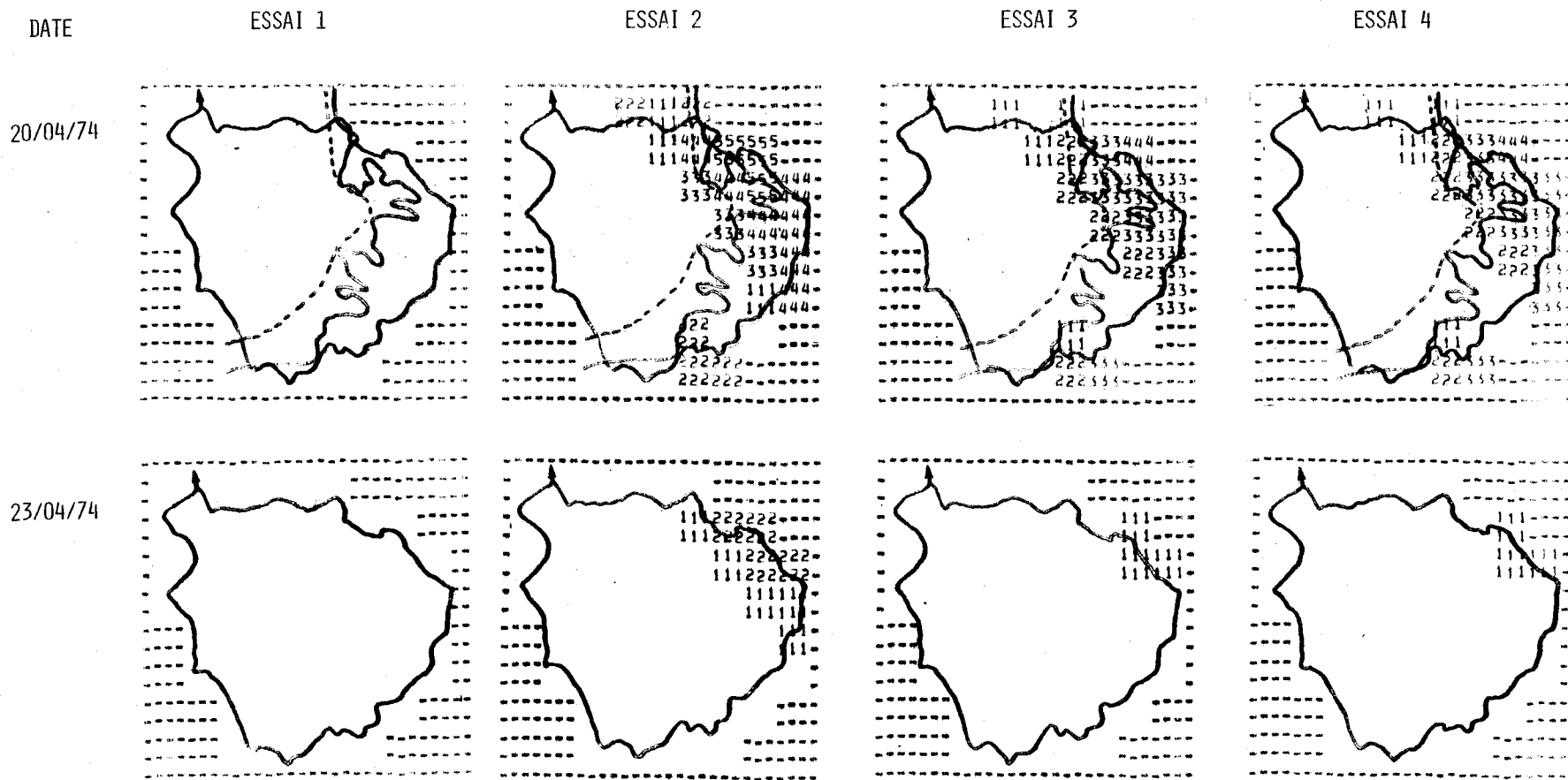


FIGURE 4.4i Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1974.

DATE

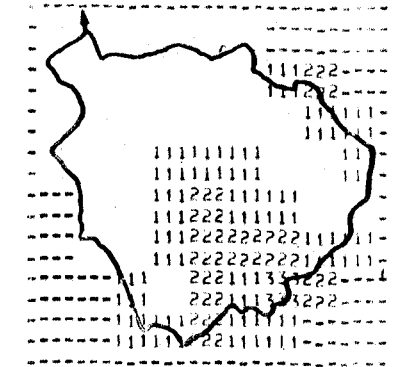
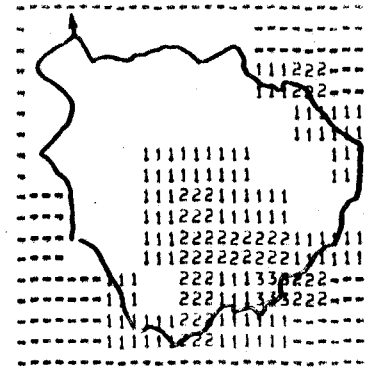
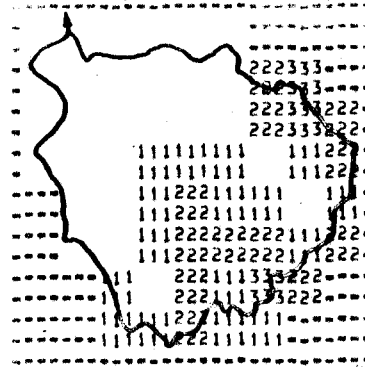
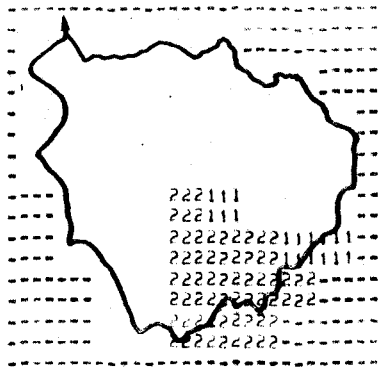
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

25/04/74



28/04/74

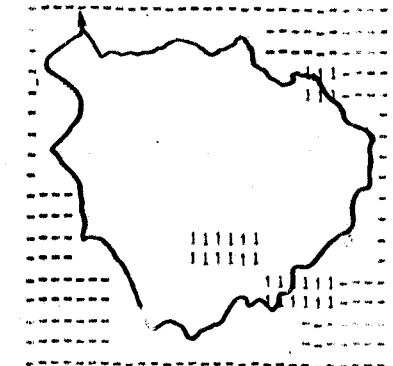
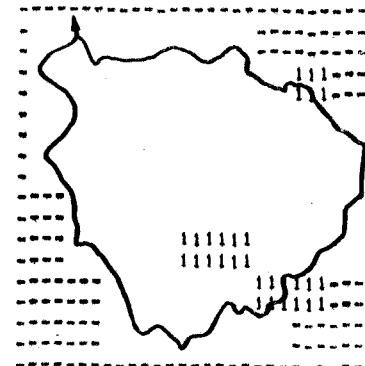
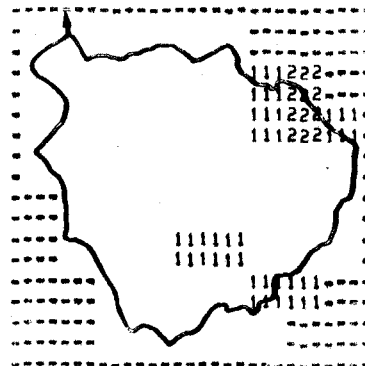
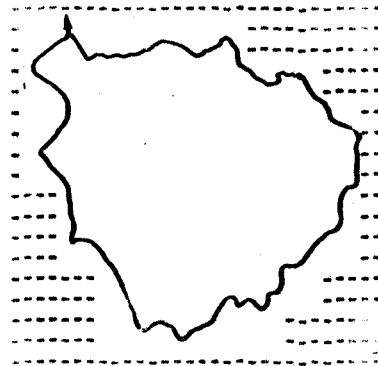


FIGURE 4.4j Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1974.

ESSA-8 permet toutefois de déterminer que le bassin ne se dégage complètement que vers le 30 avril 1975. Donc, en 1975, les images LANDSAT ne peuvent que confirmer la présence de neige au sol aux dates de passage.

4.5 SIMULATION BASEE SUR LES CHUTES DE NEIGE ET LES INFORMATIONS FOURNIES PAR SATELLITE (SIMULATION NO 2)

Suite à l'analyse des résultats précédents, les paramètres du module de fonte du modèle CEQUEAU (tableau 4.2) ont été modifiés de manière à retarder la fonte et diminuer les pointes de crues, surtout au début de la période de fonte. Ces modifications n'ont pas été réalisées en comparant uniquement les débits calculés et observés, mais plutôt en comparant la cartographie du couvert de neige fournie par le modèle à la cartographie résultant de l'interprétation des images LANDSAT. Rappelons, que ce ne fut possible que pour l'année 1974, la neige recouvrant entièrement le bassin pour chaque date de passage des satellites en mars et avril 1975.

La comparaison des cartes résultant des essais 1 et 2, sur les figures 4.4a à 4.4j, démontre très nettement l'effet de la modification des paramètres de fonte sur le stock de neige au sol à une date déterminée. Ainsi, le 15 mars 1974, le bassin est maintenant presque entièrement couvert de neige, alors que lors de la simulation No 1, 39 des 59 carreaux comportaient un stock de neige inférieur à un pouce. La nouvelle carte provenant du modèle s'accorde beaucoup plus avec les informations fournies par l'image LANDSAT disponible à cette date. De même, le 20 avril 1974, la carte simulée par le modèle indique qu'il reste de la neige dans la partie est du bassin, s'accordant en cela avec les limites du couvert de neige tracées sur la carte à partir de l'image LANDSAT.

Les tableaux 4.3 et 4.4 montrent qu'effectivement cette amélioration se fait sentir tant au niveau des lames mensuelles (les lames totales observées et simulées ne s'écartant que de 0.4%), qu'au niveau des débits de pointe qui se rapprochent beaucoup plus des débits observés que ceux de la première simulation.

Dans le cas de l'année 1975, la modification des paramètres de fonte a aussi pour effet de retarder la fonte. Les figures 4.5a à 4.5j indiquent en effet très clairement que dans le cas de la simulation No 2, les stocks de neige au sol à une date donnée sont supérieurs à ceux de la simulation No 1. Ce résultat est aussi traduit par les lames mensuelles. Ainsi, au tableau 4.4, on dénote une nette amélioration de la lame simulée en mars, mais une augmentation considérable de la lame écoulée en mai, ce qui conduit à une lame totale pour les mois de mars, avril et mai qui s'écarte davantage de la lame totale observée pour la même période. Les mêmes remarques s'appliquent aux pointes de crues présentées au tableau 4.3.

En résumé, cet essai démontre que l'utilisation des informations sur le couvert de neige au sol contenues dans les images obtenues par télédétection peut améliorer grandement la simulation des crues de fonte de neige au printemps, en permettant de suivre le retrait du manteau nival et d'ajuster le modèle à partir de ces observations.

4.6 SIMULATION BASEE SUR LES CHUTES DE NEIGE, LES INFORMATIONS FOURNIES PAR SATELLITES ET UN RELEVÉ DE NEIGE AU SOL EN FEVRIER (SIMULATION NO 3)

Les données de chutes de neige disponibles aux stations météorologiques n'indiquent que l'épaisseur de la chute de neige journalière. Par contre, du point de vue hydrologique, c'est l'équivalent en eau de ces chutes de neige qui est important. Comme ce renseignement n'est pas disponible on suppose que la neige fraîche a une densité de 0.1. Ainsi, il faut une chute de neige de 10 pouces pour laisser au sol un pouce d'équivalent en eau.

Faute de mieux, c'est cette relation qui est utilisée dans le modèle CEQUEAU. Donc, en plus de l'erreur due à la mesure ponctuelle d'une chute de neige, dont la distribution spatiale locale est très

DATE

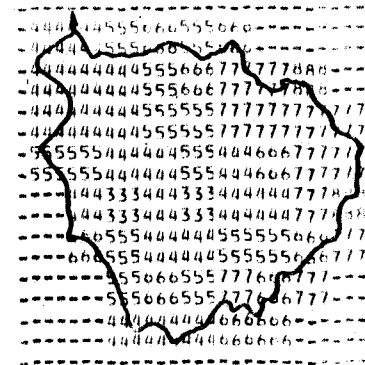
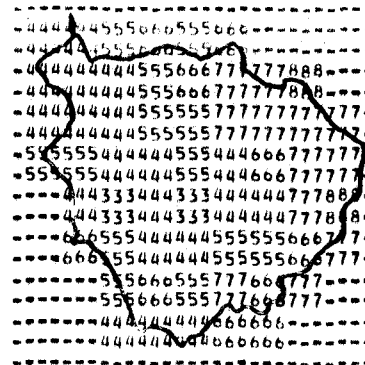
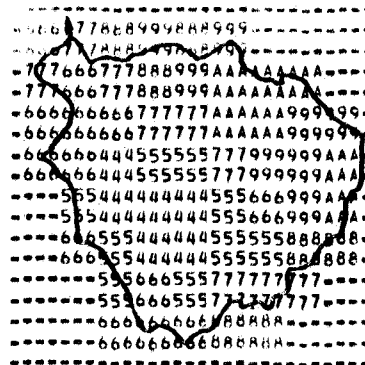
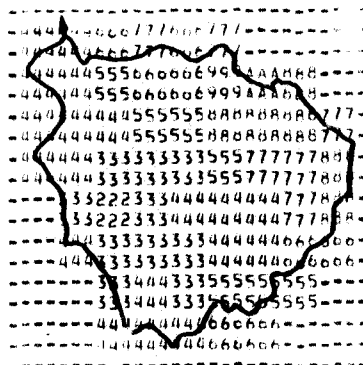
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

07/03/75



10/03/75

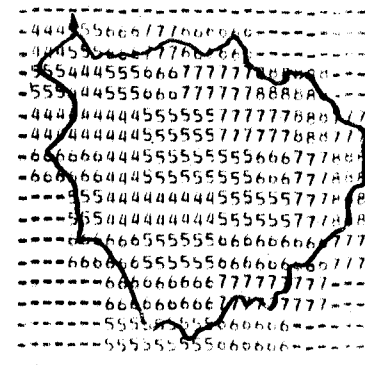
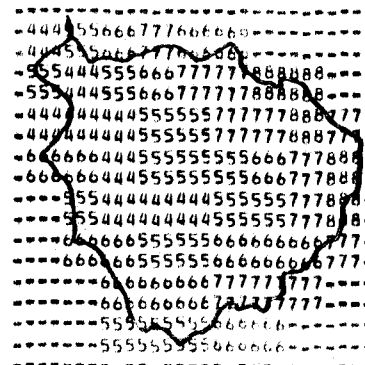
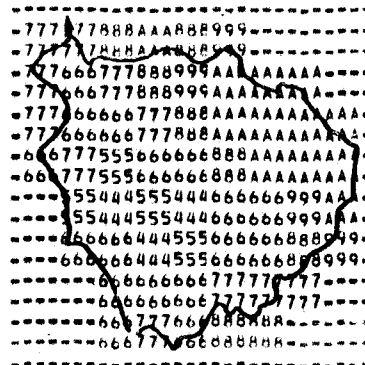
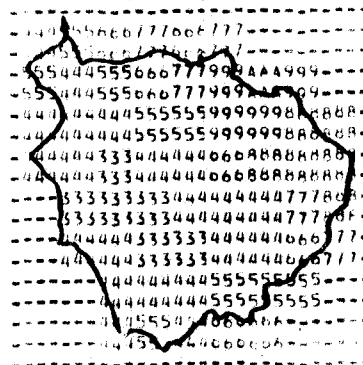


FIGURE 4.5a Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1975.

DATE

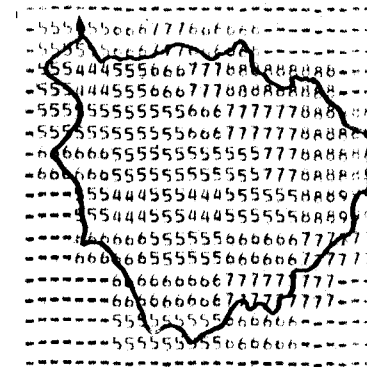
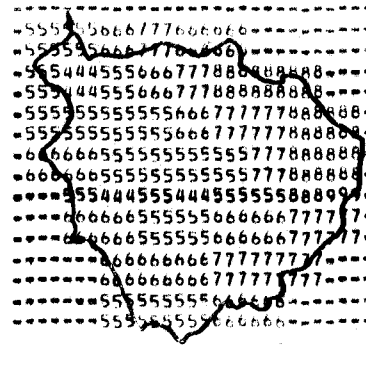
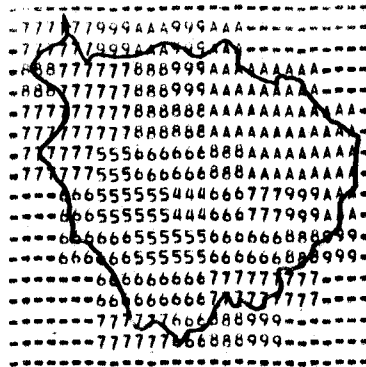
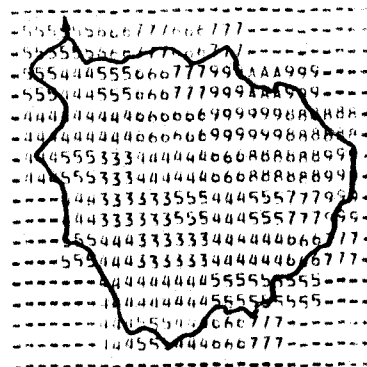
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

13/03/75



16/03/75

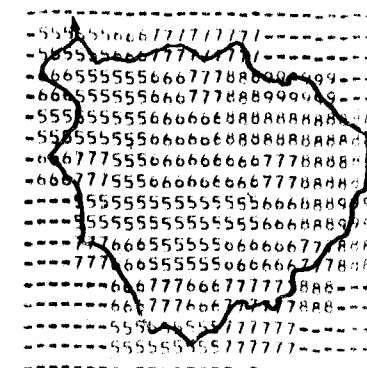
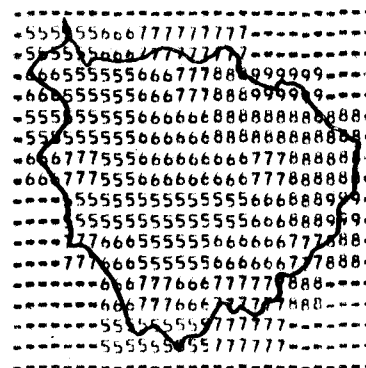
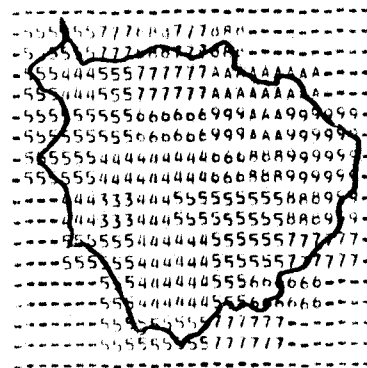


FIGURE 4.5b Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1975.

DATE

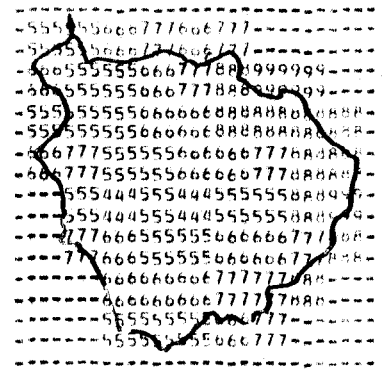
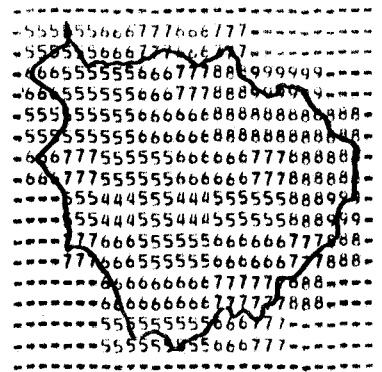
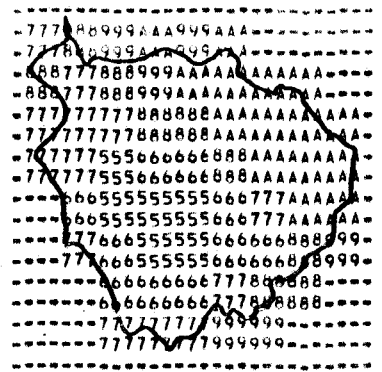
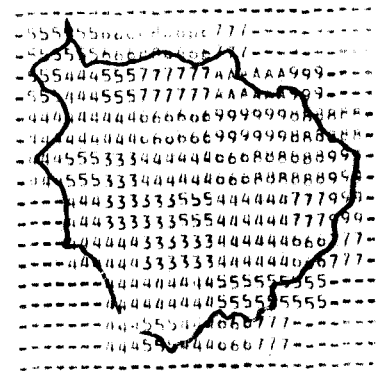
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

19/03/75



22/03/75

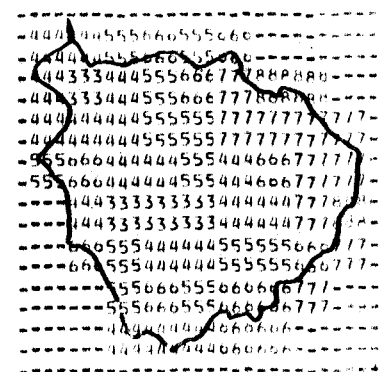
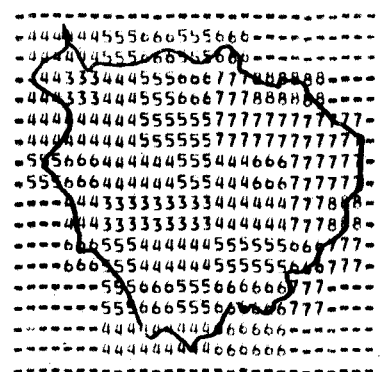
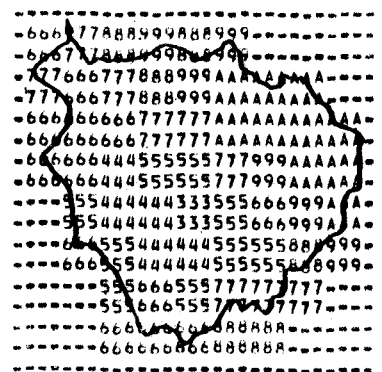
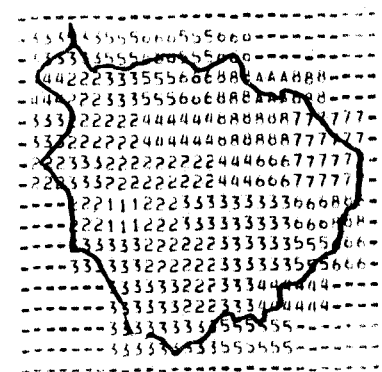


FIGURE 4.5c Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1975.

DATE

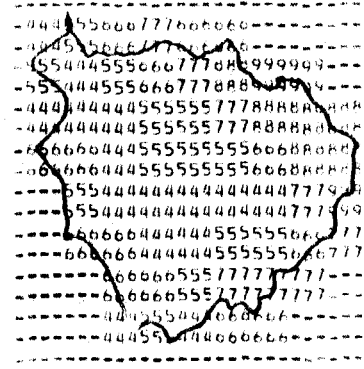
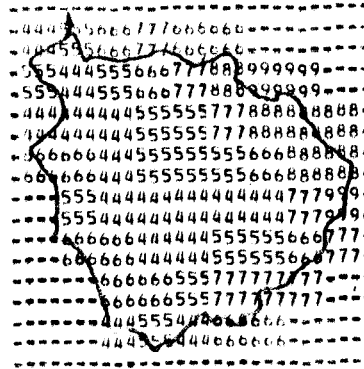
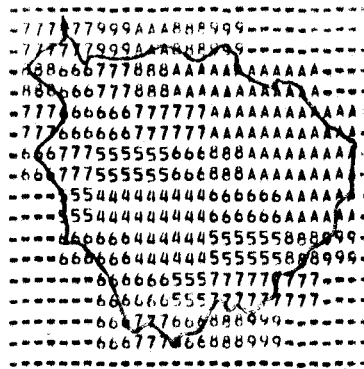
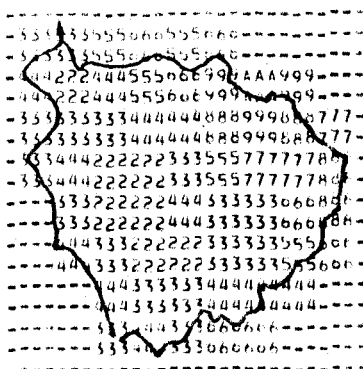
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

25/03/75



28/03/75

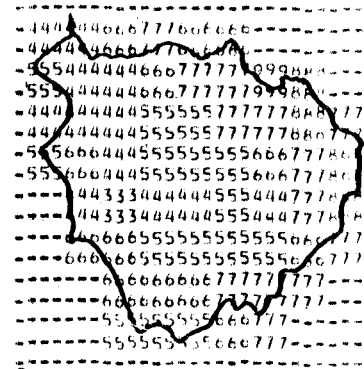
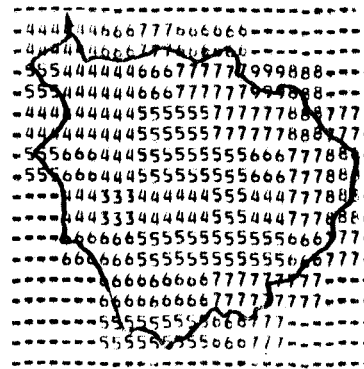
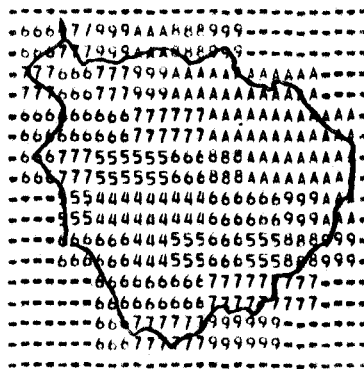
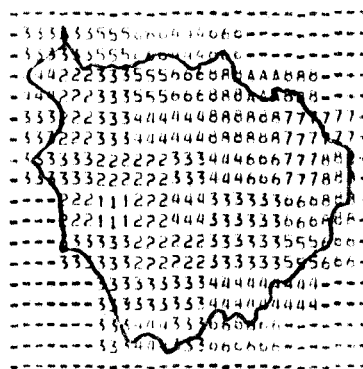


FIGURE 4.5d Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1975.

DATE

ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

31/03/75

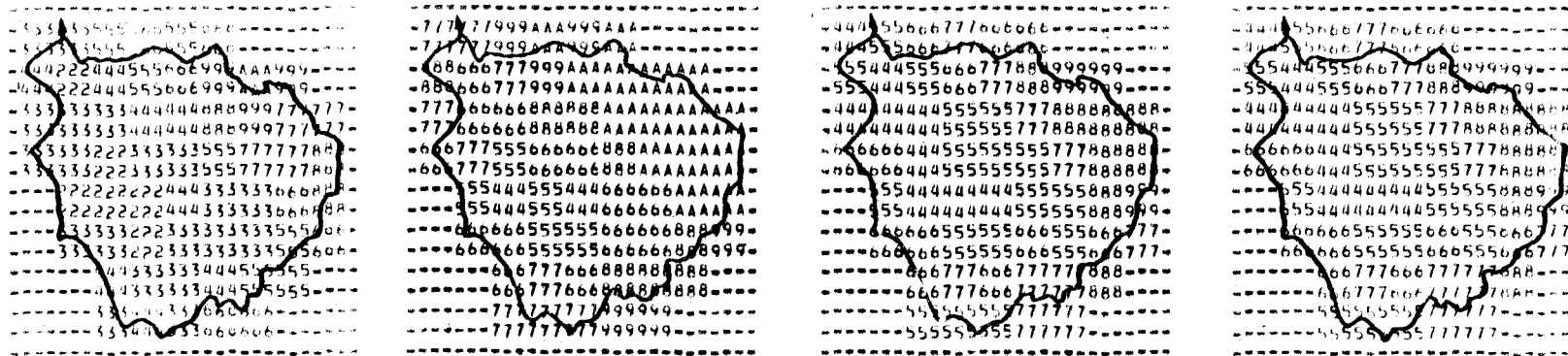


FIGURE 4.5e Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1975.

DATE

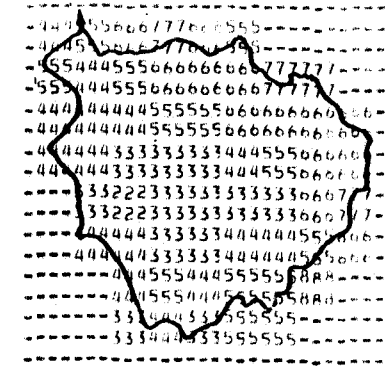
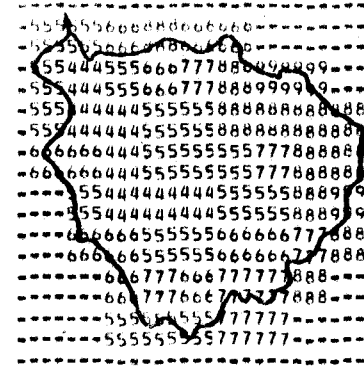
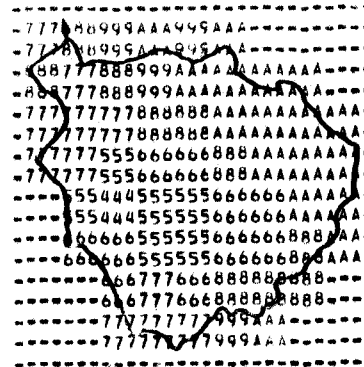
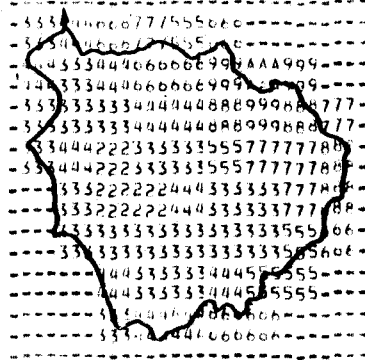
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

03/04/75



06/04/75

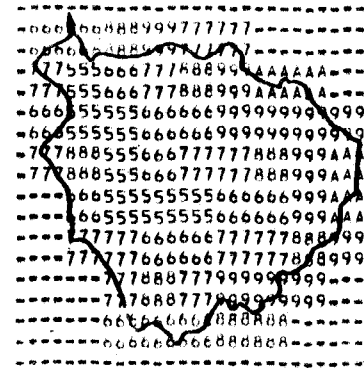
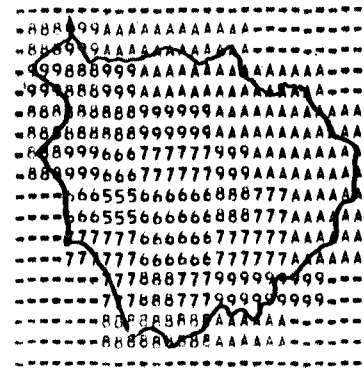
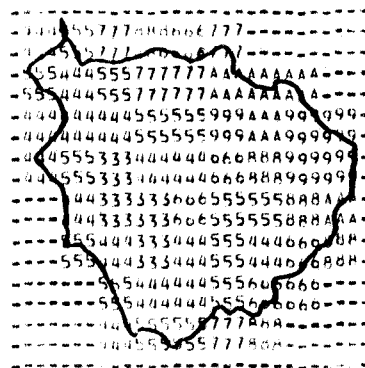


FIGURE 4.5f Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1975.

DATE

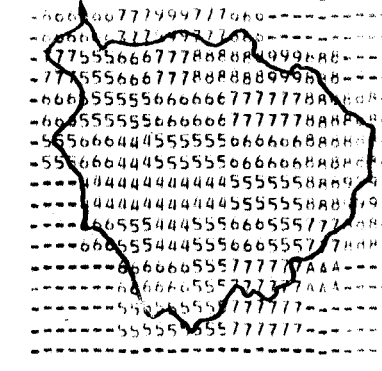
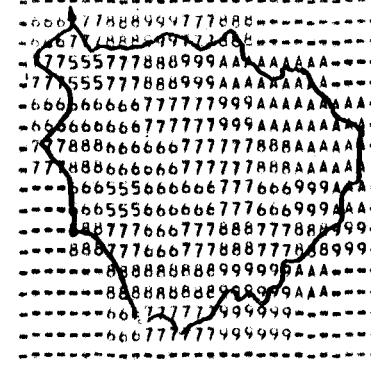
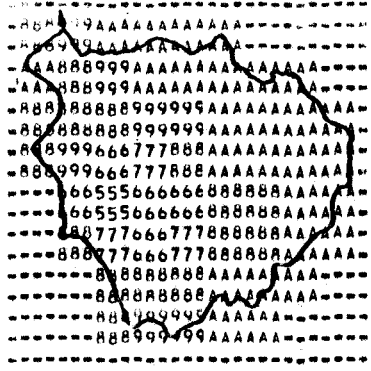
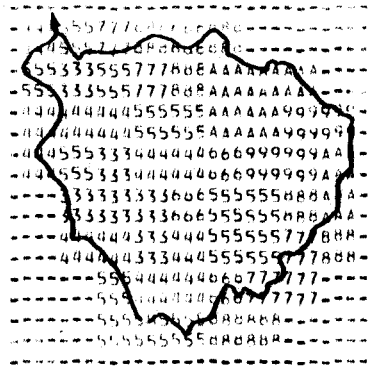
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

09/04/75



12/04/75

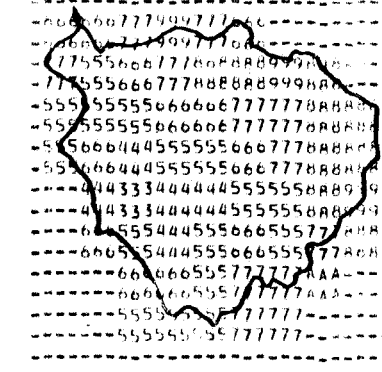
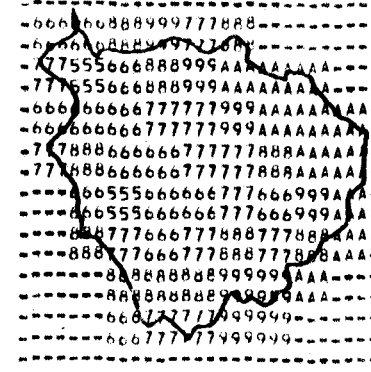
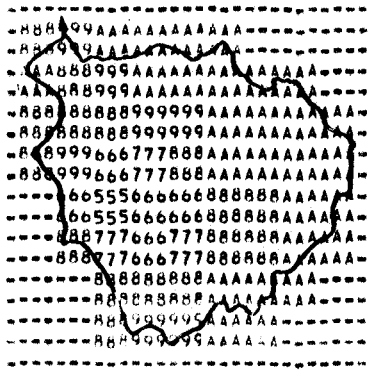
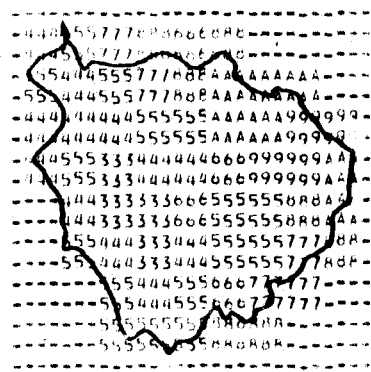


FIGURE 4.5g Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1975.

DATE

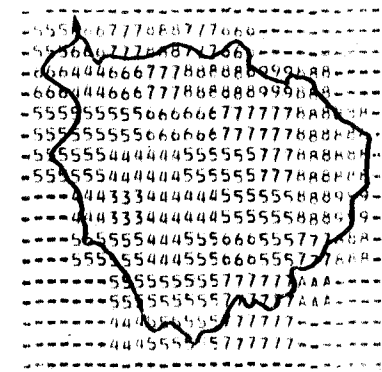
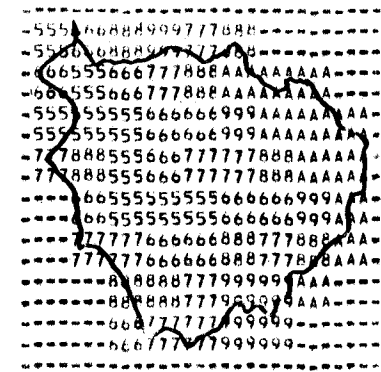
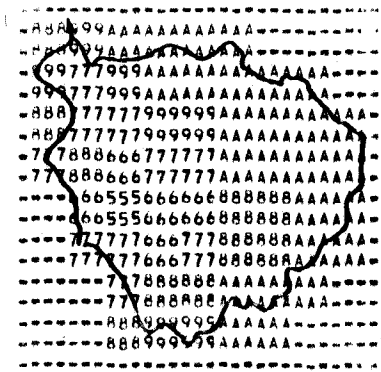
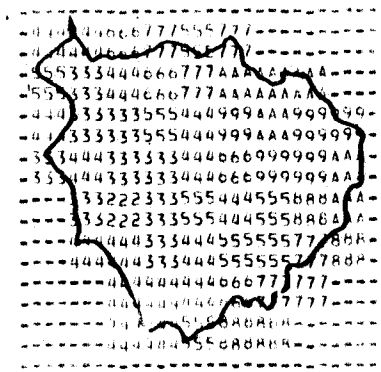
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

15/04/75



18/04/75

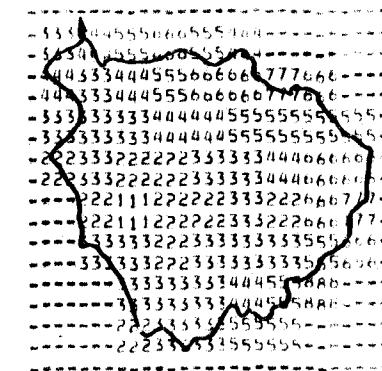
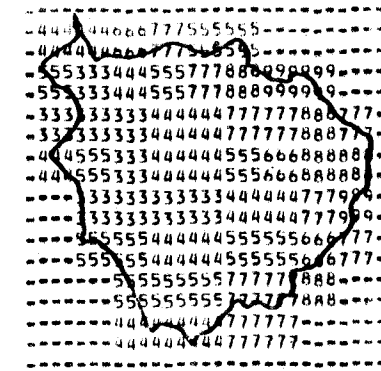
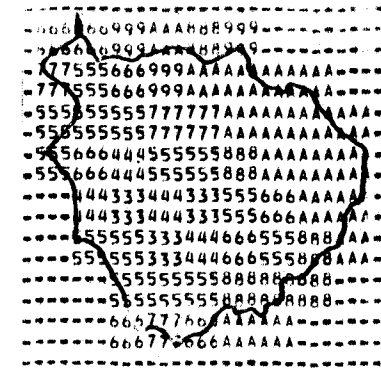
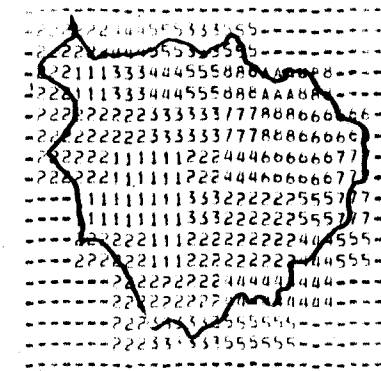


FIGURE 4.5h Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1975.

DATE

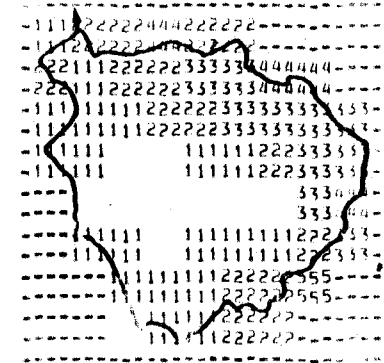
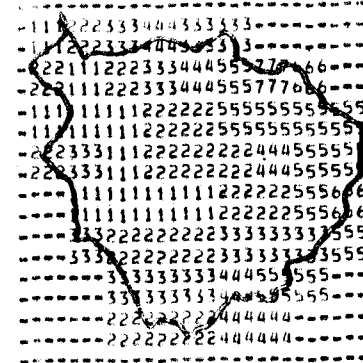
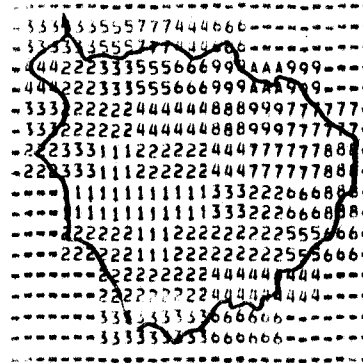
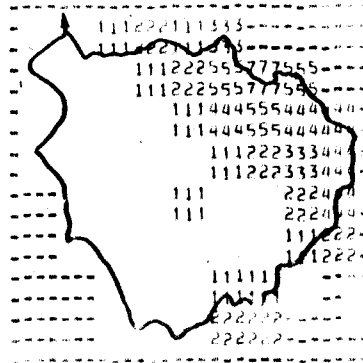
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

21/04/75



24/04/75

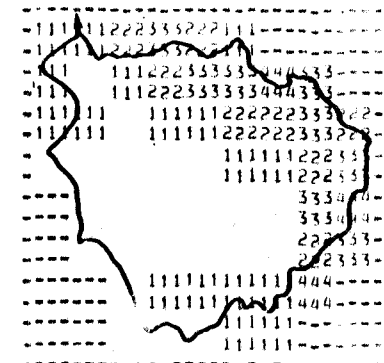
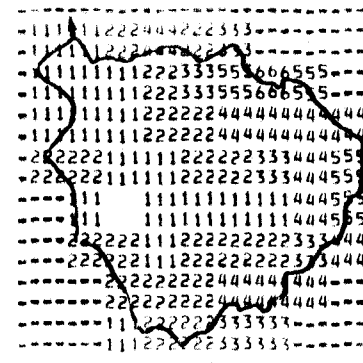
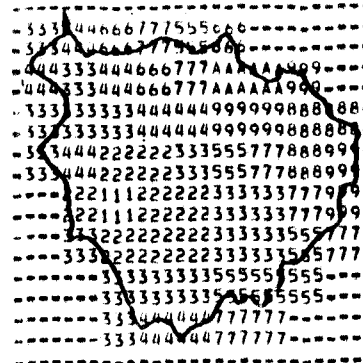
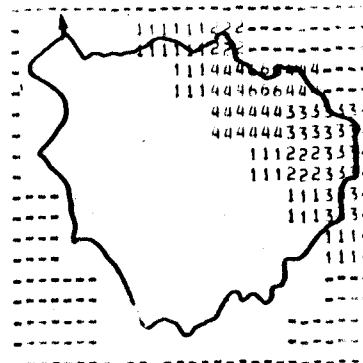


FIGURE 4.5i Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1975.

DATE

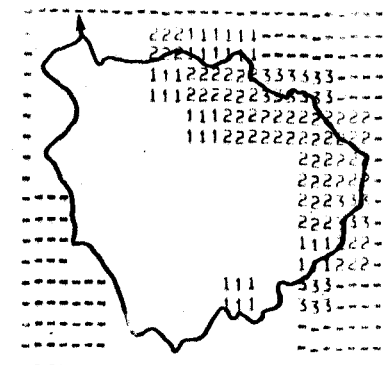
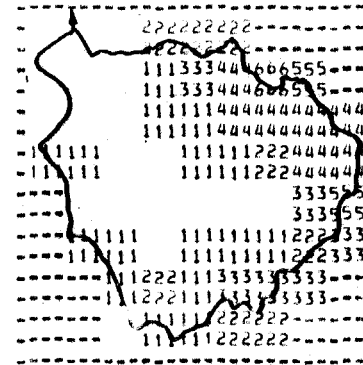
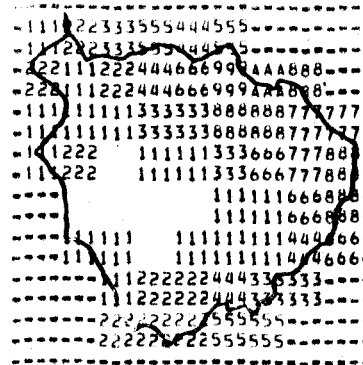
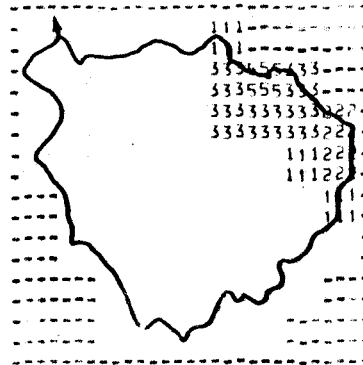
ESSAI 1

ESSAI 2

ESSAI 3

ESSAI 4

27/04/75



30/04/75

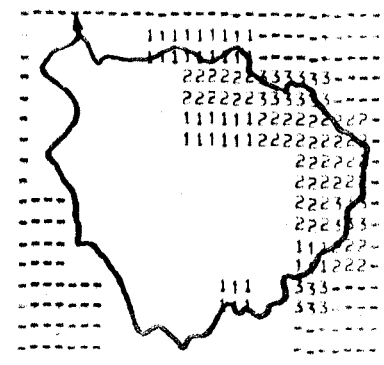
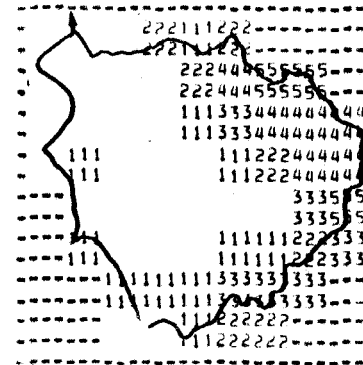
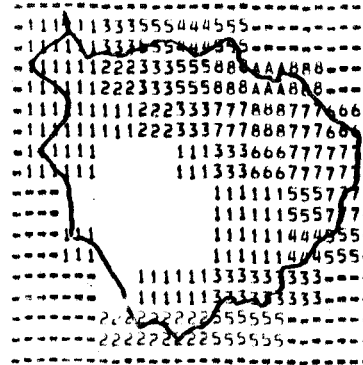
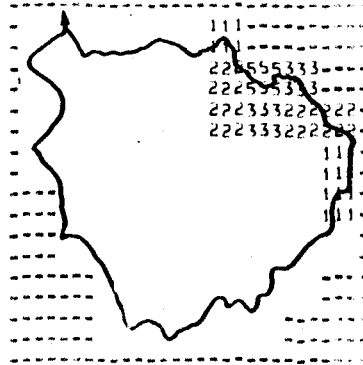


FIGURE 4.5j Distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige obtenue par simulation à différentes dates au printemps 1975.

influencée par le vent, il faut ajouter l'imprécision due à la conversion empirique d'une épaisseur de neige en équivalent en eau. Dans ces conditions, les simulations réalisées par n'importe quel modèle, que ce soit le modèle CEQUEAU ou un autre, sont nécessairement tributaires de problèmes d'estimation de l'équivalent en eau réel au sol.

Il a donc paru intéressant de vérifier comment la correction des équivalents en eau calculés dans le modèle par l'équivalent en eau du couvert nival mesuré aux stations nivométriques situées sur le bassin, pourrait modifier les hydrogrammes de crues, au printemps.

Le tableau 4.6 présente les corrections qui ont été apportées aux équivalents en eau calculés par le modèle sur chacun des carreaux. Dans le cas de la simulation No 3, une seule correction a été effectuée par année, soit les 12 février 1974 et 19 février 1975. En 1974, les corrections varient de + 8 à -23%, tandis qu'en 1975, elles vont de + 1 à -40%. Donc, en février de chaque année, les équivalents en eau calculés par le modèle à partir des chutes de neige aux stations météorologiques sont supérieur aux équivalents en eau mesurés aux stations nivométriques correspondantes. Ceci est particulièrement vrai en 1975.

La correction des équivalents en eau dans le modèle conduit à une légère sous-estimation de la lame d'eau totale en 1974 (tableau 4.4). En 1975, par contre, il y a amélioration marquée de la lame totale dont l'écart par rapport à la lame observée passe de 25.7% (simulation No 2) à 14.0 %, surtout grâce à l'amélioration de la lame écoulée en mai.

Au niveau des débits de pointe, les résultats sont sensiblement identiques. Ainsi en 1974 et 1975, certaines pointes sont améliorées et d'autres ne le sont pas (tableau 4.3). Notons à ce propos que la diminution brusque de l'équivalent en eau du stock de neige à une date donnée provoque un mûrissement plus rapide qui peut se traduire par une augmentation du débit pendant un certain temps, quoique naturellement le

TABLEAU 4.6 Corrections des équivalents en eau (pouces) de la neige sur le bassin à l'aide des relevés nivométriques aux stations identifiées dans le tableau.

ZONE				NUMERO DE LA STATION NIVOMETRIQUE	12 FEVRIER 1974			19 FEVRIER 1975			2 AVRIL 1975		
I		J			EQUIVALENT EN EAU		COEFFICIENT CORRECTION	EQUIVALENT EN EAU		COEFFICIENT CORRECTION	EQUIVALENT EN EAU		COEFFICIENT CORRECTION
de	à	de	à		à la station	moyenne sur la zone, avant correction		à la station	moyenne sur la zone, avant correction		à la station	moyenne sur la zone, avant correction	
10	14	13	14	302031	3.5	3.63	0.97	4.5	5.10	0.88	4.6	7.03	0.65
15	16	14	17	302033	4.1	5.33	0.77	5.0	8.39	0.60	6.2	8.34	0.74
17	18	14	18	302034	5.1	5.96	0.86	6.0	8.44	0.71	7.0	9.25	0.76
17	18	12	13	302035	4.3	5.23	0.82	5.7	7.42	0.77	6.8	8.21	0.83
11	13	11	12	302036	3.1	2.87	1.08	5.2	5.14	1.01	5.4	7.87	0.69
14	16	11	12	302037	3.5	3.56	0.98	5.0	5.29	0.94	5.1	7.62	0.67
15	16	13	13	302038	3.3	3.98	0.83	4.0	5.39	0.74	3.9	5.95	0.66
12	16	10	10	302040	3.5	3.36	1.04	4.2	6.09	0.69	4.9	7.00	0.70
10	14	15	17	302100	3.8	4.45	0.85	4.4	6.78	0.65	6.7	7.23	0.93

volume total écoulé soit plus faible, le stock étant plus faible.

La comparaison des cartes simulées pour les trois premiers essais en 1974 (figure 4.4) indique que la correction du stock de neige ne change pas la distribution spatiale de façon appréciable, quoique les stocks soient généralement plus bas d'un pouce. L'accord avec la cartographie du manteau nival, obtenue par interprétation des images LANDSAT des 15 mars et 20 avril 1974, demeure relativement satisfaisant. En 1975, la neige recouvre entièrement le bassin les 28 mars et 15 avril de sorte qu'il est difficile d'utiliser les images LANDSAT. Toutefois, la diminution de l'équivalent en eau sur le bassin qui peut être notée en comparant les simulations No 2 et No 3 sur les figures 4.5a à 4.5j, conduit à des dates de retrait du manteau nival davantage en accord avec l'interprétation des images ESSA-8 à la fin d'avril 1975. Rappelons ici que ces images sont beaucoup moins précises que celles des satellites LANDSAT et que leur qualité est aussi bien inférieure. Il n'en reste pas moins qu'elles permettent de savoir quand le retrait du manteau nival s'effectue dans la région où est située la rivière Eaton.

4.7 SIMULATION BASEE SUR LES CHUTES DE NEIGE, LES INFORMATIONS FOURNIES PAR SATELLITES, UN RELEVÉ DE NEIGE AU SOL EN FEVRIER 1974 et 1975 ET UN SECOND UNIQUEMENT EN AVRIL 1975 (SIMULATION NO 4)

En 1974, comme la lame totale écoulée était à peu près satisfaisante, après une correction en février, aucune autre modification n'a été effectuée. Par ailleurs, si la diminution à la simulation No 3 de l'équivalent en eau sur le bassin le 19 février 1975 (tableau 4.5) a permis d'améliorer les résultats par rapport à la simulation No 2, il n'en reste pas moins que la lame totale demeurerait trop élevée. Une autre correction a donc été apportée à l'équivalent en eau calculé par le modèle. Le 2 avril 1975, on constate en effet que pour les différentes zones du bassin ces équivalents en eau sont plus élevés que les valeurs observées aux stations nivométriques correspondantes; les équivalents calculés sont donc diminués en fonction des valeurs aux stations.

Suite à ces modifications, la lame d'eau totale calculée ne dépasse plus la lame observée que par 1.4% (tableau 1.4), ce qui est très satisfaisant sur l'ensemble de la période de fonte.

En ce qui a trait aux débits de crue, les simulations Nos 3 et 4 sont identiques (tableau 4.3), sauf la dernière crue de 1975, qui se produit après la seconde correction. On remarque que le débit du 19 avril 1975 s'est quelque peu amélioré.

Si l'on compare enfin les cartes simulées au printemps 1975 (figures 4.5a à 4.5j), on note que celles de mars sont identiques, ce qui est normal. Toutefois, suite à la diminution de l'équivalent en eau le 2 avril 1975, les cartes sont différentes, celles de la simulation No 4 présentant des valeurs plus faibles que celles de la simulation No 3. Il s'en suit un premier dégagement constaté le 30 avril correspond encore mieux aux estimations basées sur les images d'ESSA-8.

4.8 CONCLUSION

Les quelques essais qui sont présentés dans ce chapitre se veulent une démonstration de l'importance de données d'entrée vraiment représentatives dans les modèles, faute de quoi on ne peut penser simuler convenablement les événements hydrologiques. Les données étant cependant ce qu'elles sont, il est nécessaire de recourir à des données complémentaires pour obtenir de meilleures simulations. Dans ce cadre, l'utilisation conjointe de mesures d'équivalent en eau aux stations nivométriques et de la télédétection apparaît une solution des plus sûres. Rappelons ici que les mesures aux stations nivométriques sont généralement prises aux quinze jours. L'utilisation des images journalières prises par les nouveaux satellites météorologiques, de qualité bien supérieure à celles d'ESSA-8, combinée aux images de satellites dont la résolution au sol est beaucoup plus grande mais la fréquence de passage plus faible permettrait alors de suivre l'évolution du manteau nival entre les mesures au sol, en

particulier pendant la phase terminale. Là-dessus, nous n'en sommes qu'au début de l'utilisation très rentable des images prises par les satellites.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHARBONNEAU, R., FORTIN, J.P. and MORIN, G. (1977).
The CEQUEAU model: Description and examples of its use in problems related to water resources management. Bulletin des Sciences hydrologiques, AIHS, 22(1): 193-202.
- CHARBONNEAU, R., FORTIN, J.P. et MORIN, G. (1979).
Effet du pourcentage et de la distribution des surfaces boisées sur les crues de fonte de neige. Accepté pour publication dans "Journal of Hydrology".
- GIRARD, G., CHARBONNEAU, R. et MORIN, G. (1972a).
Modèle hydrophysiographique. Symposium international sur les techniques de modèles mathématiques appliquées aux systèmes des ressources en eau. Env. Canada, Ottawa, 9-12 mai, 1: 190-205.
- GIRARD, G., MORIN, G. et CHARBONNEAU, R. (1972b).
Modèle précipitations-débits à discrétisation spatiale. Cahiers ORSTOM, série hydrologique, IX(4): 35-52.
- GIRARD, G., MORIN, G. et CHARBONNEAU, R. (1973).
Utilisation d'un modèle de fonte de neige à mailles physiographiques. Bull. des Sciences hydrologiques, 18(1): 27-32.
- GLOERSEN, P. and SALOMONSON, V.V. (1975).
Satellites - New global observing techniques for ice and snow. Journal of Glaciology, 15(3): 373-389.
- McGINNIS, D.F., PRITCHARD, J.A. and WIESNET, D.R. (1975).
Determination of snow depth and snow extent from NOAA-2 satellite very high resolution data. WRR, 11(6): 897-902.
- MORIN, G., FORTIN, J.P. et CHARBONNEAU, R. (1975).
Utilisation du modèle hydrophysiographique CEQUEAU pour l'exploitation des réservoirs artificiels. Int. Symp. and Workshops on the application of mathematical models in hydrology and water resources systems, AIHS, Bratislava, 8-13 sept.
- RANGO, A. and ITTEN, K.I. (1976).
Satellites potentials in snowcover monitoring and runoff prediction. Nordic Hydrology, 7: 209-230.
- RANGO, A. (1977).
Remote sensing: snow monitoring tool for today and tomorrow. Western Snow Conference, Albuquerque, New Mexico, April 18-21.
- RANGO, A. and SALOMONSON, V. (1977).
The utility of short wavelength (< 1 mm) remote sensing techniques for the monitoring and assessment of hydrologic parameters. Proc. 11th Inter. Symp. Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan, pp. 55-66.

SIMARD, G. (1977).

Isotopes naturelles et systèmes d'écoulement souterrain, bassin de la rivière Eaton. Service des eaux souterraines. Ministère des Richesses naturelles.

SIMARD, G. (1970).

Etude hydrogéologique du bassin de la rivière Eaton. Service de l'Hydroécologie. Ministère des Richesses naturelles.