

**Record Number:**  
**Author, Monographic:** Morin, G.//Fortin, J. P.//Sochanska, W.  
**Author Role:**  
**Title, Monographic:** Simulation des débits du ruisseau des eaux volées et de ses sous-bassins  
**Translated Title:**  
**Reprint Status:**  
**Edition:**  
**Author, Subsidiary:**  
**Author Role:**  
**Place of Publication:** Québec  
**Publisher Name:** INRS-Eau  
**Date of Publication:** 1982  
**Original Publication Date:**  
**Volume Identification:**  
**Extent of Work:** vi, 63  
**Packaging Method:** pages  
**Series Editor:**  
**Series Editor Role:**  
**Series Title:** INRS-Eau, Rapport de recherche  
**Series Volume ID:** 152  
**Location/URL:**  
**ISBN:** 2-89146-150-9  
**Notes:** Rapport annuel 1982-1983  
**Abstract:** Rapport rédigé pour Environnement Canada  
10.00\$  
**Call Number:** R000152  
**Keywords:** rapport/ ok/ dl

SIMULATION DES DÉBITS  
DU RUISSEAU DES  
EAUX VOLÉES ET DE  
SES SOUS-BASSINS

Rapport rédigé pour  
Environnement Canada

par

G. Morin  
J.P. Fortin  
W. Sochanska

Rapport scientifique no 152

INRS-Eau

Décembre 1982

Rapport rédigé pour  
Environnement Canada

par

G. Morin

J.P. Fortin

W. Sochanska

Rapport scientifique no 152

SIMULATION DES DÉBITS  
DU RUISSEAU DES  
EAUX VOLÉES ET DE  
SES SOUS-BASSINS

INRS-Eau

Décembre 1982

## TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
LISTE DES TABLEAUX .....	ii
LISTE DES FIGURES .....	iii
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1 - Caractéristiques physiques du bassin versant du ruisseau des Eaux Volées .....	3
CHAPITRE 2 - Données pour la mise en opération du modèle CEQUEAU .....	7
CHAPITRE 3 - Résultats de la simulation des débits .....	14
RÉFÉRENCES .....	62

## LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
2.1 Stations météorologiques du bassin versant du ruisseau des Eaux Volées .....	11
2.2 Stations nivométriques du bassin versant du ruisseau de Eaux Volées .....	11
2.3 Données hydrométriques .....	12
3.1 Paramètres et constantes intervenant dans le modèle CEQUEAU ....	22
3.2 Valeurs des paramètres du modèle CEQUEAU utilisées pour la simulation des débits du ruisseau des Eaux Volées .....	23
3.3 Caractéristiques physiographiques des bassins versants prises en compte lors des simulations .....	24
3.4 Lames d'eau écoulées annuellement (en mm) .....	25
3.5 Erreur en pourcentage entre la lame d'eau annuelle calculée et la lame d'eau annuelle observée .....	26

## LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
1.1 Bassin versant du ruisseau des Eaux Volées .....	6
2.1 Schématisation du bassin versant du ruisseau des Eaux Volées ...	13
3.1 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées (station 51003, 1969) .....	27
3.2 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées (station 51003, 1970) .....	28
3.3 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées (station 51003, 1971) .....	29
3.4 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées (station 51003, 1973) .....	30
3.5 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées (station 51003, 1974) .....	31
3.6 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées (station 51003, 1975) .....	32
3.7 Débits moyens mensuels observés et calculés, station 051003 ....	33
3.8 Débits journaliers maximaux mensuels observés et calculés, station 051003 .....	34
3.9 Débits journaliers, observés et calculés, classés, station 051003 .....	35

	<u>Page</u>
3.10 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées (station 51002, 1970) .....	36
3.11 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées (station 51002, 1971) .....	37
3.12 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées (station 51002, 1972) .....	38
3.13 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées (station 51002, 1974) .....	39
3.14 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées (station 51002, 1975) .....	40
3.15 Débits moyens mensuels observés et calculés, station 051002 ....	41
3.16 Débits journaliers maximaux mensuels observés et calculés, station 051002 .....	42
3.17 Débits journaliers, observés et calculés, classés, station 051002 .....	43
3.18 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51004, 1969) .....	44
3.19 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51004, 1970) .....	45
3.20 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51004, 1971) .....	46
3.21 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51004, 1972) .....	47

	<u>Page</u>
3.22 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51004, 1973) .....	48
3.23 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51004, 1974) .....	49
3.24 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51004, 1975) .....	50
3.25 Débits moyens mensuels observés et calculés, station 051004 ....	51
3.26 Débits journaliers maximaux mensuels observés et calculés, station 051004 .....	52
3.27 Débits journaliers, observés et calculés, classés, station 051004 .....	53
3.28 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51007, 1971) .....	54
3.29 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51007, 1972) .....	55
3.30 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51007, 1973) .....	56
3.31 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51007, 1974) .....	57
3.32 Débits observés et calculés sur le bassin versant du ruisseau des Aulnaies (station 51007, 1975) .....	58
3.33 Débits moyens mensuels observés et calculés, station 051007 ....	59



	<u>Page</u>
3.34 Débits journaliers maximaux mensuels observés et calculés, station 051007 .....	60
3.35 Débits journaliers, observés et calculés, classés, station 051007 .....	61

## 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.

Compte tenu de l'avancement des travaux accomplis à l'aide des données du bassin représentatif de la rivière Eaton, nous avons décidé d'utiliser pour la dernière étude de ce projet les données du ruisseau des Eaux Volées.

L'étude a pour but de vérifier la précision des débits simulés avec le modèle CEQUEAU sur des petits bassins et, si nécessaire, modifier le modèle pour mieux prendre en compte les caractéristiques physiques des petits bassins et développer un modèle de fonte le plus près possible de la physique du phénomène en utilisant que les données de précipitation et de température.

## CHAPITRE 1

### CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLÉES

Le bassin expérimental du ruisseau des Eaux Volées est situé dans la Forêt Montmorency qui sert de station d'expérimentation forestière de l'Université Laval.

La Forêt Montmorency, d'une superficie de 25.8 milles carrés, est située à l'intérieur du parc des Laurentides entre les latitudes nord de 47°13' et 47°22' et les longitudes ouest 71°05' et 71°11'.

Le Service d'hydrométrie du ministère des Richesses naturelles a installé quatre stations de jaugeage à l'intérieur des limites du bassin versant du ruisseau des Eaux Volées. Chaque station se compose d'un jaugeur avec déversoir en V et est équipée d'un limnigraphe automatique.

#### 1.1 DESCRIPTION DES SOUS-BASSINS

La figure 1.1 montre l'emplacement des sous-bassins qui ont été numérotés 5, 6, 7 et 7a. Le sous-bassin 7a correspond à la station 051004 et le sous-bassin 6 à la station 051002. La station 051007 comprend les sous-bassins 7 et 7a et la station 051003 comprend l'ensemble des sous-bassins.

Il apparaît utile de décrire sommairement l'aspect physique des sous-bassins avant de procéder à la simulation des débits. Le bassin expérimental [1] est situé dans la zone tempérée froide du plateau laurentien et les précipitations y sont élevées. Le sol est généralement recouvert de dépôts morainiques. Quant à la forêt, elle occupe environ 70% de la surface et se compose principalement de sapins.

Le sous-bassin 7a, d'une altitude moyenne de 883 mètres, est le plus escarpé des quatre bassins. Entièrement boisé, il est exempt de lacs et comporte peu de mort-terrain. Sa capacité de rétention est donc faible.

Le sous-bassin 6 est très différent du bassin 7a. D'altitude moyenne un peu plus faible (827 m), il se compose en partie d'une large zone de dépôts meubles recouverts d'herbe et d'arbustes. Un important marécage

s'étend sur les limites sud-est du sous-bassin. Il faut noter la présence du lac Huppé situé à l'extérieur du bassin versant s'écoulant théoriquement vers l'extérieur.

Les eaux de ce lac ont été autrefois détournées par la construction de barrages et le creusage de chenaux dans le but de faciliter le flottage du bois. Les barrages sont maintenant détruits, mais il est possible, sinon probable, que des eaux du lac continuent à s'écouler vers le ruisseau des Eaux Volées, soit par ruissellement en temps de crue, soit par infiltration à travers les dépôts meubles. Ce sous-bassin semble posséder d'importantes capacités de rétention dont l'influence devrait se remarquer au niveau des crues et des étiages.

Le sous-bassin 7 a une altitude moyenne plus faible (784 m). Un marécage de faible étendue entoure un petit élargissement du ruisseau des Aulnaies. Ce marécage peut cependant avoir un effet tampon sur la propagation des crues.

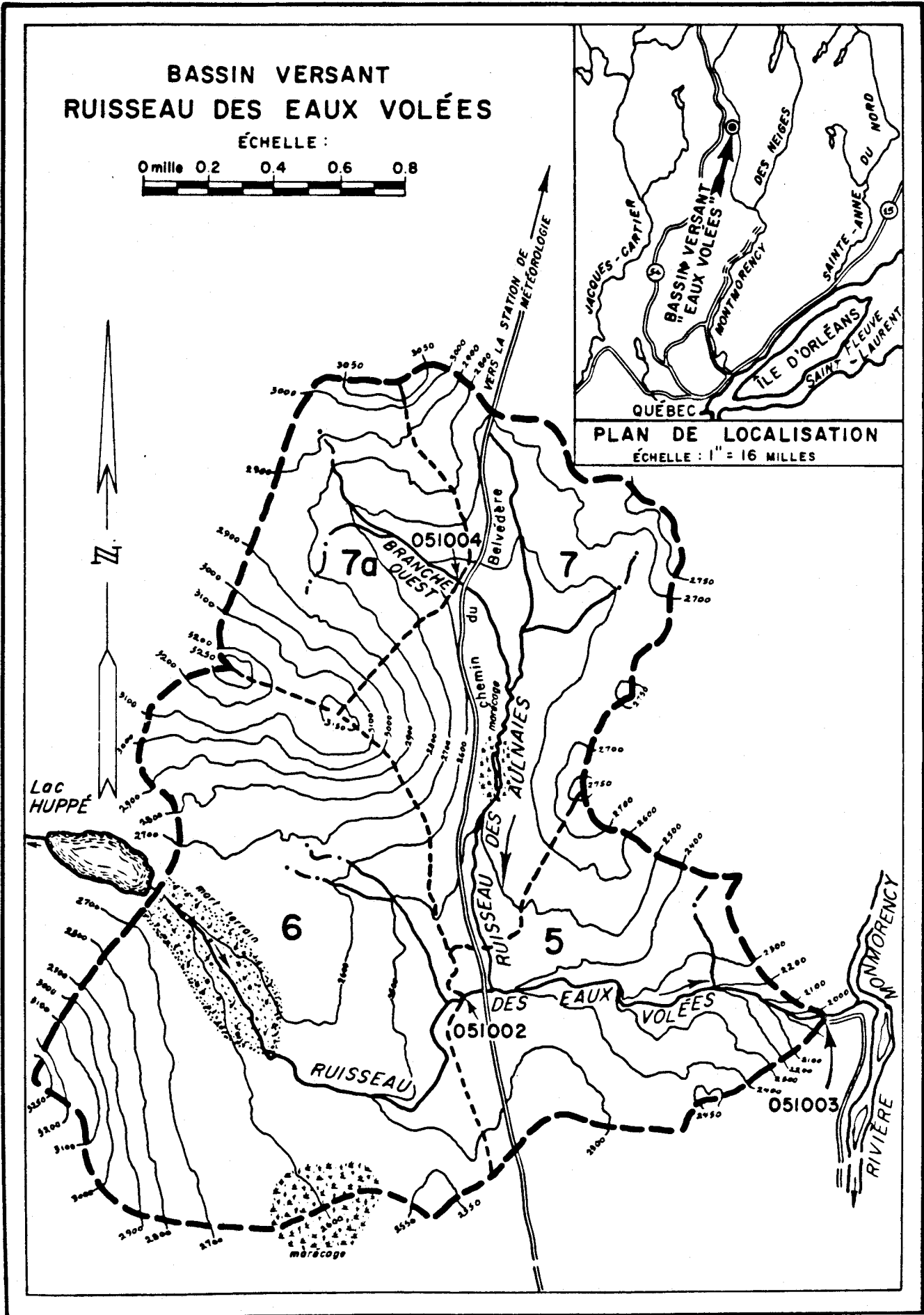


Figure 1.1 Bassin versant du ruisseau des Eaux Volées.

## CHAPITRE 2

DONNÉES POUR LA MISE EN  
OPÉRATION DU MODÈLE CEQUEAU



Comme on l'a vu précédemment [2, 3], le modèle CEQUEAU utilise différentes données d'entrée pour évaluer les débits issus de chaque carreau partiel. On peut séparer les données d'entrée du modèle en trois types:

- physiographiques;
- de drainage;
- météorologiques.

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

## 2.1 DONNÉES PHYSIOGRAPHIQUES

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

Pour la présente étude, compte tenu de la dimension des sous-bassins versants (1.2 à 9.2 km<sup>2</sup>) et de la topographie, on a utilisé des carreaux de 500 m par 500 m. Les données physiographiques qui ont été utilisées sont les suivantes:

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

Ces données ont été extraites des cartes topographiques à l'échelle de 1:6 000 sur lesquelles on avait tracé la grille déterminant les carreaux.

## 2.2 DONNÉES DE DRAINAGE

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

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

Ce numéro indique donc le sens d'écoulement pour chaque carreau partiel. C'est l'ensemble de ces informations que l'on appelle la banque de drainage. La schématisation du bassin versant à l'aide des carreaux entiers et des carreaux partiels est illustré à la figure 2.1.

## 2.3 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET NIVOMÉTRIQUES

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

Les trois stations météorologiques utilisées pour la simulation des débits sont listées au tableau 2.1. La première station fait partie du réseau de mesure de la province de Québec alors que les deux dernières stations sont opérées par le département de Foresterie de l'Université Laval.

Le tableau 2.2 présente la liste des stations nivométriques sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées. La fréquence des observations pour ces stations est très variable et peut varier de 15 jours à 1 mois.

## 2.4 DONNÉES HYDROMÉTRIQUES

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

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

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

Les observations des débits disponibles sur le bassin versant du ruisseau des Eaux Vollées sont résumées dans le tableau 2.3.

TABLEAU 2.1 Stations météorologiques du bassin versant du ruisseau des Eaux Volées.

Numéro fédéral	Numéro provincial	Nom	Altitude	I	J	Période
7042388	6741	Forêt Montmorency	640	16	24	1969-75
	6746	Forêt Montmorency B	733	14	12	1969-75
	6748	Forêt Montmorency A	792	14	16	1969-75

TABLEAU 2.2 Stations nivométriques du bassin versant du ruisseau des Eaux Volées.

Numéro	I	J	Altitude	Période
FM-1	12	18	879	1969-75
FM-A	14	16	800	1969, 1970, 1975
FM-B	14	12	754	1969, 1970, 1975
FM-B	13	10	777	1969, 1970, 1975

TABLEAU 2.3 Données hydrométriques.

Numéro	Nom	Bassin versant km <sup>2</sup>	Période
051003	A	9.2	1969-75
051002	B	3.9	1969-75
051004	C	1.2	1969-75
051007	D	3.6	1961-75

A = Ruisseau des Eaux Volées à 0.1 mille de la Forêt Montmorency.

B = Ruisseau des Eaux Volées à 0.1 mille en amont du chemin du Belvédère.

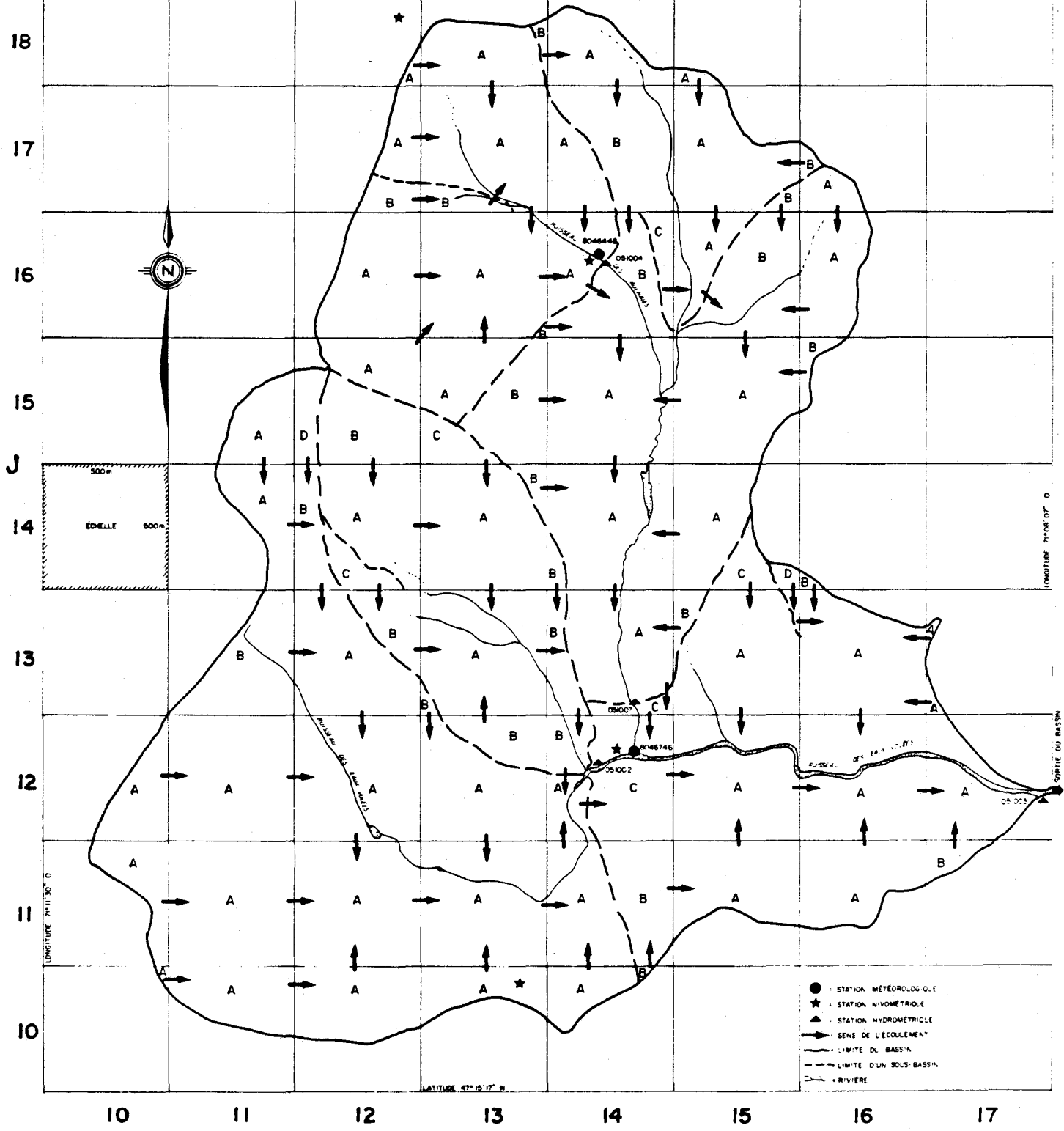
C = Ruisseau des Aulnaies ouest à 0.1 mille en amont du chemin du Belvédère.

D = Ruisseau des Aulnaies à 100 pieds du ruisseau des Eaux Volées.

CARREAU 16, 24  
7042388

LATITUDE 47° 18' 14" N

# Bassin du ruisseau des Eaux-Volées



I

Figure 2.1 Schématisation du bassin versant du ruisseau des Eaux Volées.

## CHAPITRE 3

### RÉSULTATS DE LA SIMULATION DES DÉBITS

Les simulations des débits du ruisseau des Eaux Volées ont été faites en utilisant les données des stations météorologiques et nivométriques listées aux tableaux 2.1 et 2.2. Lorsqu'il y a des manques d'observation à l'une ou l'autre des stations météorologiques utilisées, la valeur moyenne observée à l'ensemble des autres stations est alors affectée à la station où il y a absence d'observation.

### 3.1 PARAMÈTRE DU MODÈLE CEQUEAU

Le modèle CEQUEAU décrit précédemment [3] 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 dans le modèle CEQUEAU 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.

Les paramètres qui interviennent dans le modèle CEQUEAU, listés au tableau 3.1, sont groupés selon les différentes parties du cycle hydrologique dans lesquelles ils interviennent.

Le tableau 3.1 démontre qu'on utilise trois sortes de "paramètres" ou "constantes" qu'on peut expliciter ainsi: le terme "paramètres" peut signifier:

- un paramètre proprement dit, uniquement déterminé par essai et erreur;
- un paramètre déterminé par la physique du phénomène. Il est généralement 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 ou physiographiques du bassin versant étudié (ex.: temps de concentration et latitude moyenne du bassin versant).

### 3.2 CALAGE DU MODÈLE

Les sept années d'observations, soit de 1969 à 1975, ont servi au calage du modèle, c'est-à-dire à l'ajustement des paramètres du modèle afin de déterminer les valeurs qui permettent d'obtenir la meilleure reproduction des hydrogrammes observés.

Pour l'ajustement des paramètres, on compare pour chaque bassin et pour toute la période de calage:

- les lames d'eau annuelles et mensuelles observées et calculées;
- le synchronisme des débits observés et calculés;
- l'importance (débit de pointe et volume) des crues observées et calculées;
- les étiages observés et calculés.

Les règles suivantes ont gouverné la démarche d'ajustement des paramètres:

- les sous-bassins versants sont considérés indépendamment les uns des autres;
- les simulations des périodes d'hiver sont analysées en se souvenant que les débits pour cette période sont imprécis; c'est la période également où les données météorologiques sont le plus susceptibles d'erreur.

Si les premiers essais permettent d'obtenir rapidement des simulations satisfaisantes, les améliorations ultérieures peuvent n'être que locales, c'est-à-dire qu'une crue mieux représentée peut l'être au détriment d'une autre et réciproquement.

À ce stade, les simulations sont satisfaisantes dans l'ensemble, c'est-à-dire sans erreur systématique. On peut considérer que les phénomènes sont bien représentés par le modèle avec les valeurs de ces paramètres.

Le tableau 3.2 présente les valeurs des paramètres retenues pour les simulations du bassin versant du ruisseau des Eaux Volées.

Pour que le bilan annuel soit satisfaisant sur les bassins versants des stations 051004 et 051002, on a corrigé les précipitations en appliquant un facteur de correction sur les carreaux affectant ces bassins versants.

Les facteurs utilisés sont 0.92 pour les carreaux compris entre 10 et 13 en abscisse et 10 à 14 en ordonnée, et 0.85 pour les carreaux compris entre 11 et 13 en abscisse et 15 à 18 en ordonnée.

De plus, compte tenu de la géologie très différente d'un sous-bassin à l'autre, on a utilisé des coefficients d'infiltration variables dans l'espace. Ces coefficients sont 0.25 pour les carreaux du sous-bassin 051002, de 0.15 pour les carreaux du sous-bassin 051004 et de 0.20 pour les autres carreaux.

### 3.3 RÉSULTATS DES SIMULATIONS

Le modèle CEQUEAU, de par sa structure, simule les débits à la sortie de chaque carreau partiel. Avec la grille de 500 mètres par 500 mètres qu'on a utilisé pour le découpage de bassin versant, on a obtenu 85 carreaux partiels pour le bassin versant du ruisseau des Eaux Volées. Pour les besoins de cette étude, seuls les débits simulés aux emplacements des quatre stations hydrométriques où l'on dispose de débits mesurés sont présentés.

Le tableau 3.3 représente les principales caractéristiques physiques des quatre stations hydrométriques où on a simulé les débits.

L'emplacement géographique des stations hydrométriques apparaissent aux figures 1.1 et 2.1.

Les lames d'eau mesurées à chacune des stations hydrométriques pour les années à l'étude sont données au tableau 3.4. On observe de forts écoulements en 1974 et une année sèche en 1971.

Les figures montrant les résultats des simulations annuelles aux quatre stations hydrométriques comportent:

- les débits moyens journaliers observés et calculés;
- les températures moyennes journalières sur le sous-bassin de la station considérée;
- les précipitations liquides journalières du sous-bassin de la station considérée;
- la fonte journalière calculée par le modèle pour le sous-bassin de la station considérée.

Pour juger de façon globale pour l'ensemble de la période, de l'exactitude des débits simulés par rapport aux débits observés, on présente à chaque station trois graphiques montrant:

- les débits moyens mensuels observés et calculés;
- les débits journaliers maximaux mensuels observés et calculés;
- les débits journaliers observés, calculés et classés.

### 3.3.1 Ruisseau des Eaux Volées à la station 051003.

Les hydrogrammes journaliers observés et calculés sont montrés aux figures 3.1 à 3.6. L'étude de ces graphiques montre que, dans l'ensemble, les résultats sont satisfaisants. On calcule, quelques fois, des débits

supérieurs aux débits observés mais l'inverse se produit également, ce qui nous porte à conclure qu'il n'y a pas d'erreur systématique.

Les figures 3.7 à 3.9 nous permettent de juger de l'ensemble des débits simulés par rapport aux débits calculés.

La figure 3.7 montre les débits moyens mensuels observés en fonction des débits moyens mensuels calculés. La dispersion des points par rapport à la ligne à 45° montre la différence entre les débits observés et calculés. Une sous-évaluation des débits calculés est représentée par une série de points au-dessus de la ligne à 45° alors qu'une surévaluation est représentée par les points sous la ligne à 45°. Si les points sont situés de part et d'autre de la ligne à 45°, on peut conclure qu'il n'y a pas d'erreur systématique, ce qui est le cas des débits mensuels calculés à la station 051003.

La figure 3.8 utilise la même représentation pour les débits journaliers maximaux mensuels, c'est-à-dire que pour chaque mois, on met en graphique le débit journalier maximal observé et calculé. L'étude de cette figure nous permet de conclure qu'il n'y a pas d'erreur systématique sur les débits maximaux journaliers. On observe cependant une plus grande dispersion des points.

La figure 3.9 montre les courbes de débits journaliers classés calculés à partir des débits journaliers observés et calculés. On observe une légère sous-estimation pour les grands débits et une surestimation pour les débits d'étiages.

### 3.3.2 Ruisseau des Eaux Volées à la station 051002

Les hydrogrammes annuels des débits observés et calculés à cette station sont montrés aux figures 3.10 à 3.14. Les statistiques de l'ensemble des simulations apparaissent aux figures 3.15 à 3.17. Sur la figure 3.15, on observe une erreur systématique sur les débits moyens mensuels calculés

supérieurs à  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Par contre, cette erreur systématique n'apparaît plus sur les débits journaliers maximaux (figure 3.16). Les courbes des débits classés (figure 3.17) montrent que les débits journaliers calculés reproduisent bien les débits journaliers observés pour toutes les fréquences.

### 3.3.3 Ruisseau des Eaux Volées à la station 051004

Les figures 3.18 à 3.24 montrent les hydrogrammes observés et calculés. La figure 3.25 montre les débits moyens mensuels observés et calculés. On observe une surestimation des très faibles débits ( $Q < 0.025 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Quant à la figure 3.26, elle montre une sous-estimation des débits maximaux journaliers pour les débits supérieurs à  $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ . Les courbes des débits journaliers classés (figure 3.27) montre une bonne coïncidence entre les courbes des débits observés et calculés.

### 3.3.4 Ruisseau des Aulnaies à la station 051007

Les hydrogrammes annuels des débits observés et calculés sont montrés aux figures 3.28 à 3.32.

Les figures 3.33 et 3.34 montrent qu'il n'existe pas d'erreur systématique pour les débits moyens mensuels et pour les débits journaliers maximums mensuels. Les courbes de débits classés (figure 3.35) montrent une légère sous-estimation des débits compris entre  $0.1$  à  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$  et une surestimation des débits inférieurs à  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 3.4 CONCLUSION

Dans l'ensemble, les simulations des écoulements du bassin versant du ruisseau des Eaux Volées sont satisfaisantes si on tient compte du fait que les données météorologiques utilisées proviennent de deux stations seulement. La station principale, située sur le carreau  $I = 16$  et  $J = 24$ , n'a pas été prise en compte par le modèle puisqu'elle était située trop loin.

Le tableau 3.5 montre l'erreur en pourcentage des lames d'eau annuelles calculées par rapport aux lames d'eau annuelles mesurées (tableau 3.4) à chacune des stations. En moyenne, la lame calculée est trop faible sur le bassin 051003 et trop forte sur les trois autres bassins. Ceci peut s'expliquer par le manque de représentativité des données météorologiques pour chacun des bassins versants qui ont des microclimats très différents compte tenu de l'importance du relief.

L'application du modèle CEQUEAU sur un très petit bassin versant de montagne a fait ressortir la sensibilité et l'importance de quelques paramètres. On retrouve, en premier lieu, le paramètre de transformation de la pluie en neige. Une légère erreur de ce paramètre implique un faux bilan de fonte de neige. De plus, compte tenu que le modèle utilise le pas de temps journalier, on doit travailler soit avec la température moyenne journalière ou soit avec la température maximale et minimale journalière. Des essais de simulation en utilisant le paramètre de transformation pluie-neige avec la température moyenne puis avec la température maximale journalière nous ont montré que quelques crues du début de l'hiver peuvent être bien représentées par la première méthode et pas du tout par la seconde pour des années et inversement pour d'autres années.

Les paramètres de gradient de température et de gradient de pluie ont également une très grande importance en région montagneuse.

À l'intérieur de ce projet, une nouvelle sous-routine de fonte a été développée et essayée sur le bassin des Eaux Volées. Les résultats obtenus sont satisfaisants mais avant d'introduire cette sous-routine dans le modèle CEQUEAU, il est nécessaire de la vérifier sur plusieurs autres bassins versants pour s'assurer de son efficacité pour des conditions physiographiques et météorologiques différentes.

TABLEAU 3.1 Paramètres et constantes intervenant dans le modèle CEQUEAU.

Douze paramètres des réservoirs SOL-NAPPE-MARAIS:

CIN	(a)	coefficient d'infiltration du réservoir SOL au réservoir NAPPE
CVMAR	(a)	coefficient de vidange du réservoir LACS et MARAIS
CVNB	(a)	coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange basse)
CVNH	(a)	coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange haute)
CVSB	(a)	coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange basse)
CVSI	(a)	coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange intermédiaire)
HINF	(a)	seuil d'infiltration vers le réservoir NAPPE
HINT	(a)	seuil de vidange intermédiaire du réservoir SOL
HMAR	(a)	seuil de vidange du réservoir LACS et MARAIS
HNAP	(a)	seuil de vidange haute du réservoir NAPPE
HRIMP	(a)	hauteur de précipitation pour qu'il y ait ruissellement sur des surfaces imperméables
HSOL	(a)	hauteur du réservoir SOL

Sept paramètres régissant la fonte de neige:

STRNE	(b)	seuil de transformation pluie-neige
TFC	(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)	seuil de mûrissement du stock de neige

Quatre paramètres qui gouvernent l'évapotranspiration:

EVNAP	(a)	pourcentage d'évapotranspiration pris dans le réservoir NAPPE
HPOT	(a)	seuil 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

Un paramètre et une constante du transfert:

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

Divers paramètres et constantes:

COET	(b)	coefficient de correction des températures avec l'altitude
COEP	(b)	coefficient de correction des précipitations avec l'altitude
FACT	(a)	facteur modifiant les précipitations moyennes sur un ensemble de carreaux entiers
JOEVA	(a)	variables décalant la date d'insolation potentielle maximale,
JONEI	(b)	respectivement pour l'évapotranspiration et pour la neige
XINFMA	(b)	infiltration maximale par jour
XLA	(c)	latitude moyenne du bassin versant
TRI	(c)	pourcentage de surface imperméable

- a : paramètre déterminé par essai et erreur  
 b : paramètre déterminé selon la physique du phénomène  
 c : constante déterminée à l'aide des caractéristiques hydrologiques et physiographiques du bassin versant

TABLEAU 3.2 Valeurs des paramètres du modèle CEQUEAU utilisées pour la simulation des débits du ruisseau des Eaux Volées.

<u>Douze paramètres des réservoirs SOL-NAPPE-MARAIS:</u>		
CIN	(a)	variable par carreau
CVMAR	(a)	0.0250
CVNB	(a)	0.01
CVNH	(a)	0.02
CVSB	(a)	0.00
CVSI	(a)	0.15
HINF	(a)	45.0 mm
HINT	(a)	55.0 mm
HMAR	(a)	250.0 mm
HNAP	(a)	150.0 mm
HRIMP	(a)	15.0 mm
HSOL	(a)	90.0 mm
<u>Sept paramètres régissant la fonte de neige:</u>		
STRNE	(b)	1.0°C (par rapport à Tmax)
TFC	(b)	2.5 mm/°C/jour
TFD	(b)	3.5 mm/°C/jour
TSC	(b)	-0.5°C
TSD	(b)	-1.5°C
TTD	(b)	0.70
TTS	(b)	-3.0°C
<u>Quatre paramètres qui gouvernent l'évapotranspiration:</u>		
EVNAP	(a)	0.10
HPOT	(a)	10.0 mm
XAA	(b)	0.77
XIT	(b)	17.0
<u>Un paramètre et une constante du transfert:</u>		
EXXKT	(a)	0.001
ZN	(c)	1.0 jour
<u>Divers paramètres et constantes:</u>		
COET	(b)	-6°C/1 000 m
COEP	(b)	0.0
FACT	(a)	0.85 et 0.92
JOEVA	(a)	80.0
JONEI	(b)	80.0
XINFMA	(b)	15.0 mm/jour
XLA	(c)	47°15'
TRI	(c)	0.30

- a : paramètre déterminé par essai et erreur  
 b : paramètre déterminé selon la physique du phénomène  
 c : constante déterminée à l'aide des caractéristiques hydrologiques et physiographiques du bassin versant



TABLEAU 3.3 Caractéristiques physiographiques des bassins versants prises en compte lors des simulations.

Nom	Numéro	Surface (km <sup>2</sup> )	Nombre de carreaux entiers	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude moyenne (m)
A	051003	9.2	54	925	707	810.0
B	051002	3.9	26	925	754	819.7
C	051004	1.2	10	925	800	865.7
D	051007	3.6	24	925	762	830.6

A = Ruisseau des Eaux Volées à 0.1 mille de la Forêt Montmorency.

B = Ruisseau des Eaux Volées à 0.1 mille en amont du chemin du Belvédère.

C = Ruisseau des Aulnaies ouest à 0.1 mille en amont du chemin du Belvédère.

D = Ruisseau des Aulnaies à 100 pieds du ruisseau des Eaux Volées.

TABLEAU 3.4 Lames d'eau écoulées annuellement (en mm).

Année	051003	051002	051004	051007
1969	1072	906	915	--
1970	1120	970	926	--
1971	956	891	766	--
1972	1218	1133	1168	1165
1973	1332	1444	1100	1309
1974	1353	1179	1252	1280
1975	993	876	867	908
Moy.	1149	1057	999	1165

TABLEAU 3.5 Erreur en pourcentage entre la lame d'eau annuelle calculée et la lame d'eau annuelle observée.

Année	051003	051002	051004	051007
1969	- 9.8	3.4	+ 6.6	--
1970	- 4.0	4.6	9.8	--
1971	- 0.4	2.8	12.3	--
1972	-10.5	- 5.2	-19.8	- 8.9
1973	- 7.9	-18.2	1.0	- 5.4
1974	- 0.2	10.8	- 2.9	5.8
1975	- 0.4	5.2	10.9	15.8
Moy.	- 4.7	+ 0.5	+ 2.5	+ 1.8

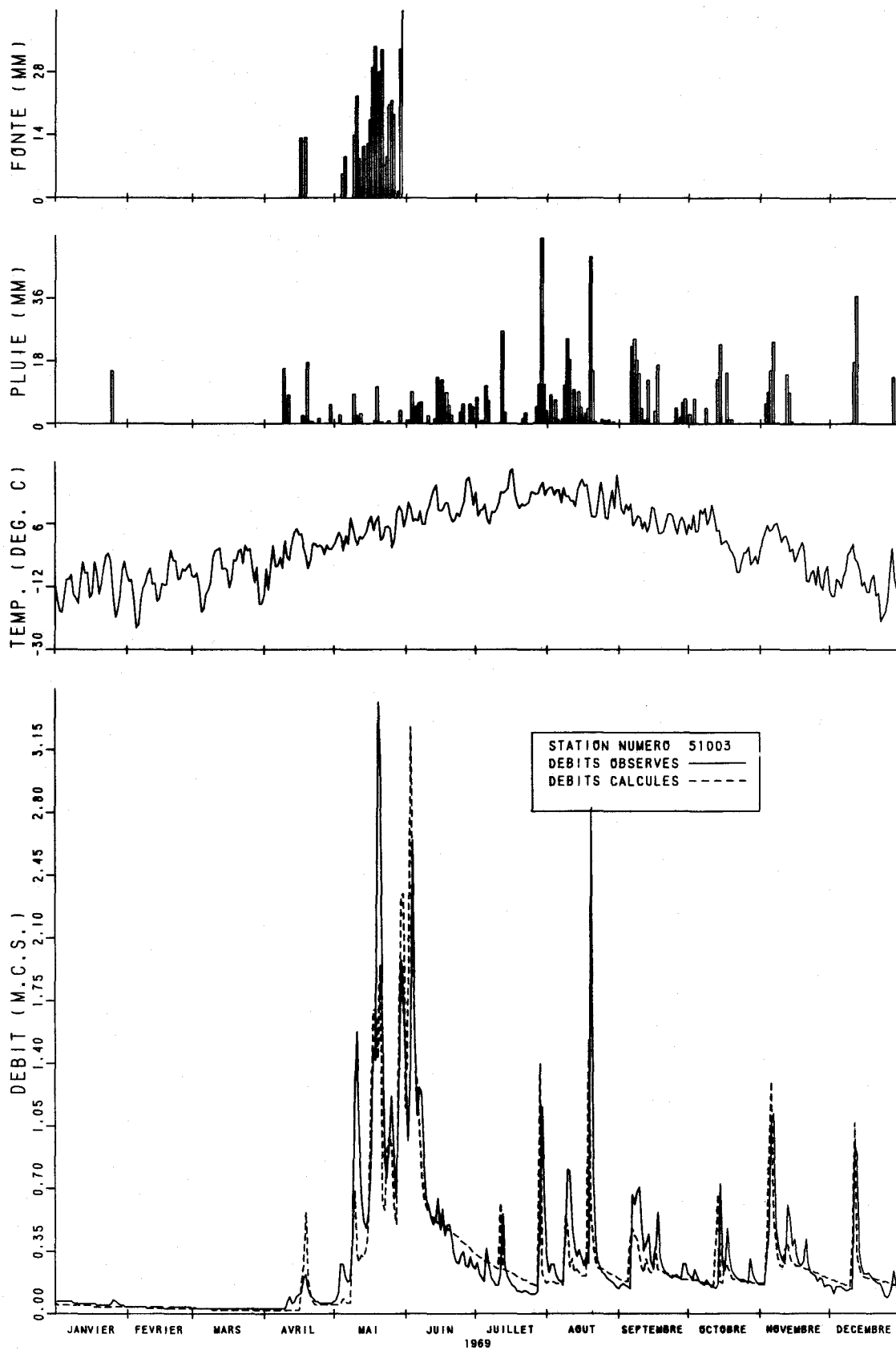


FIGURE 3. 1. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLEES

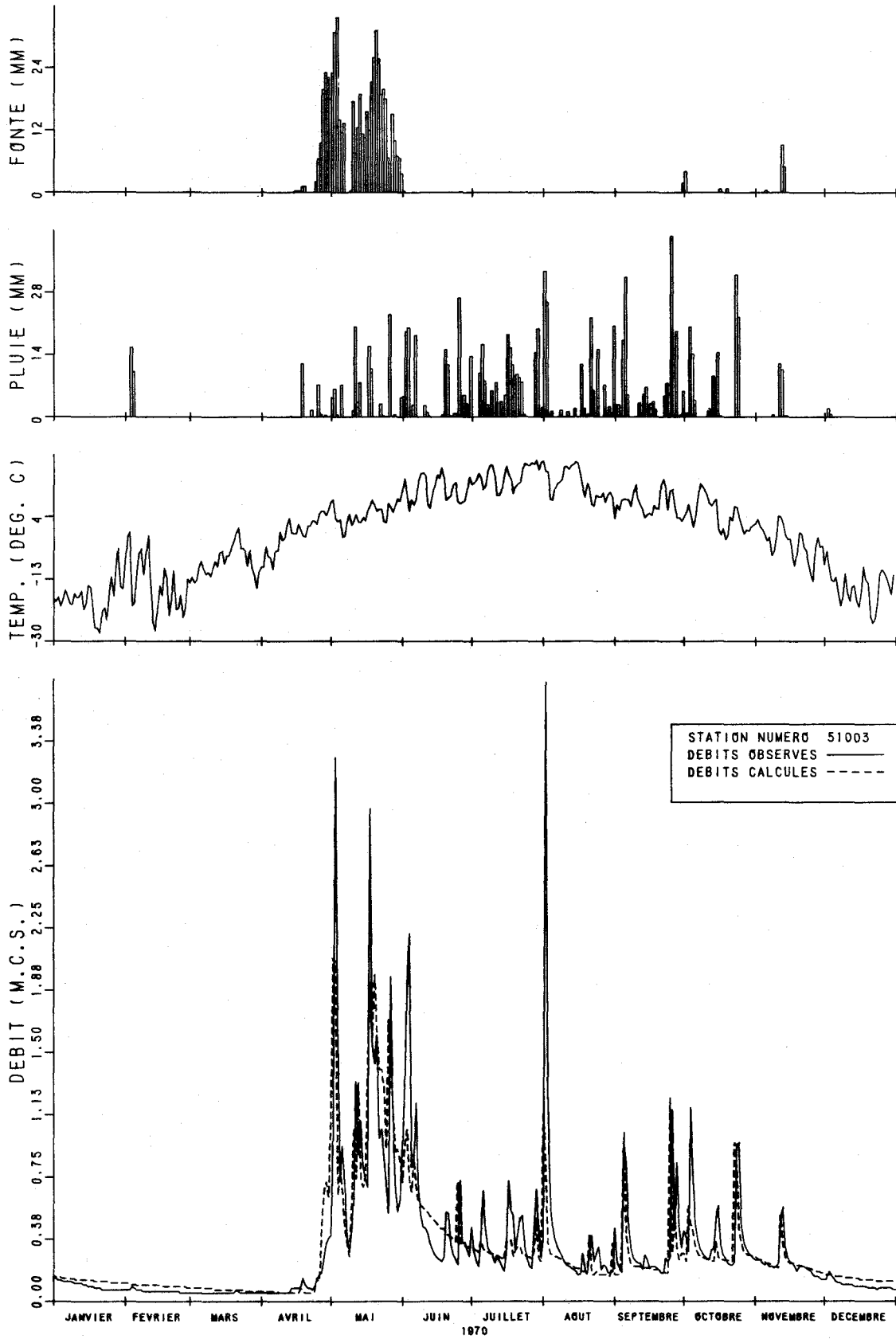


FIGURE 3.2. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLEES

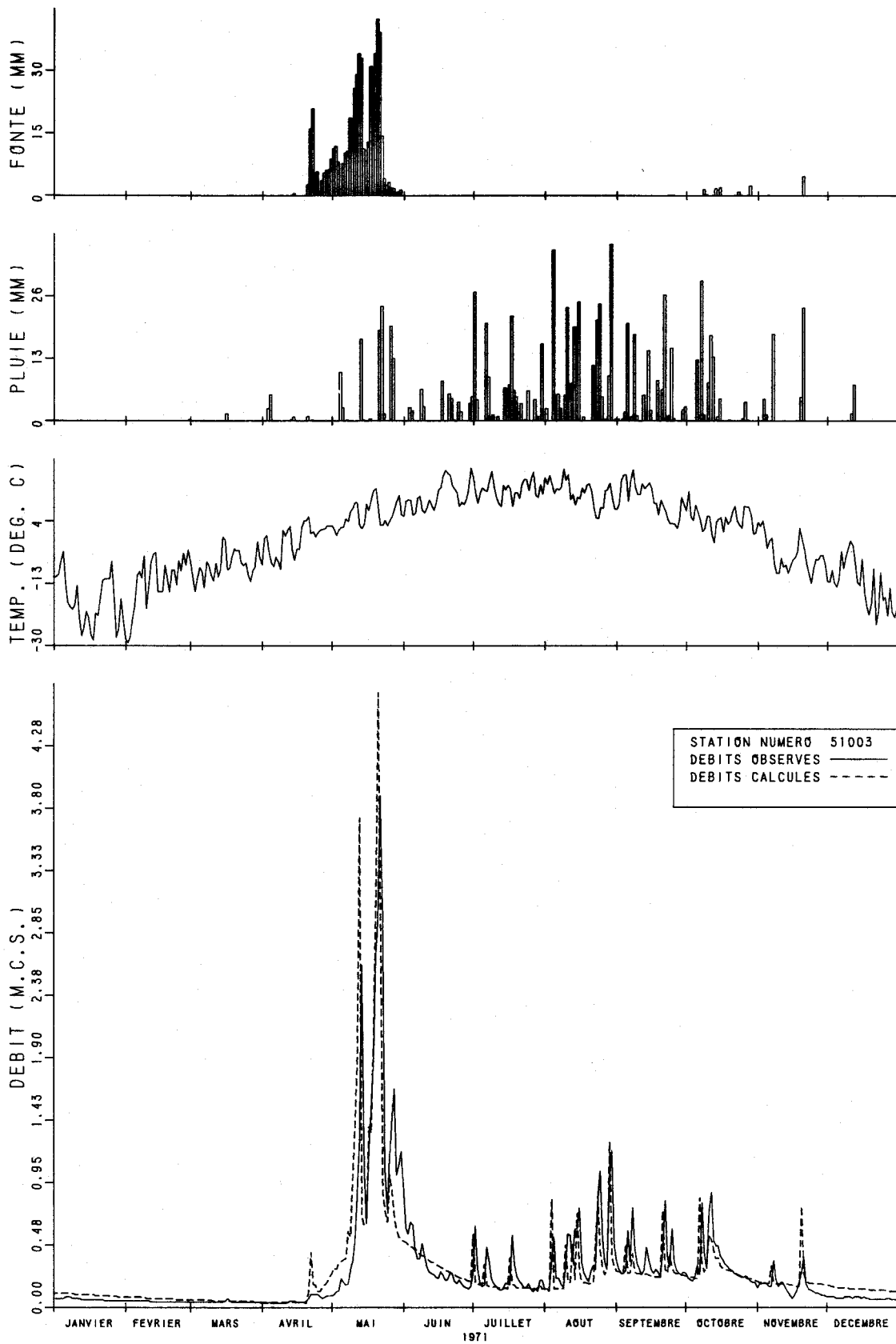


FIGURE 3.3. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLEES

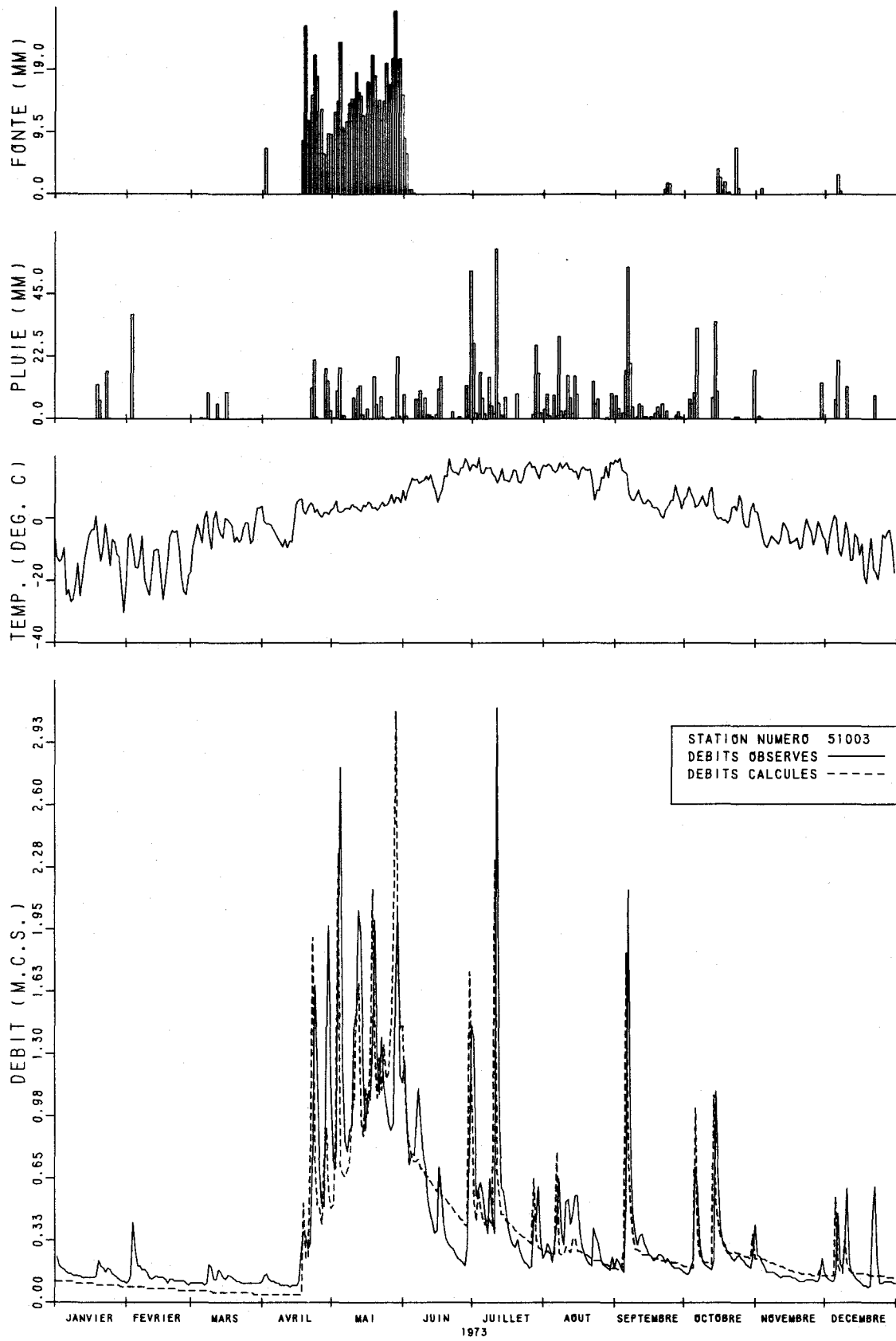


FIGURE 3.4. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLEES

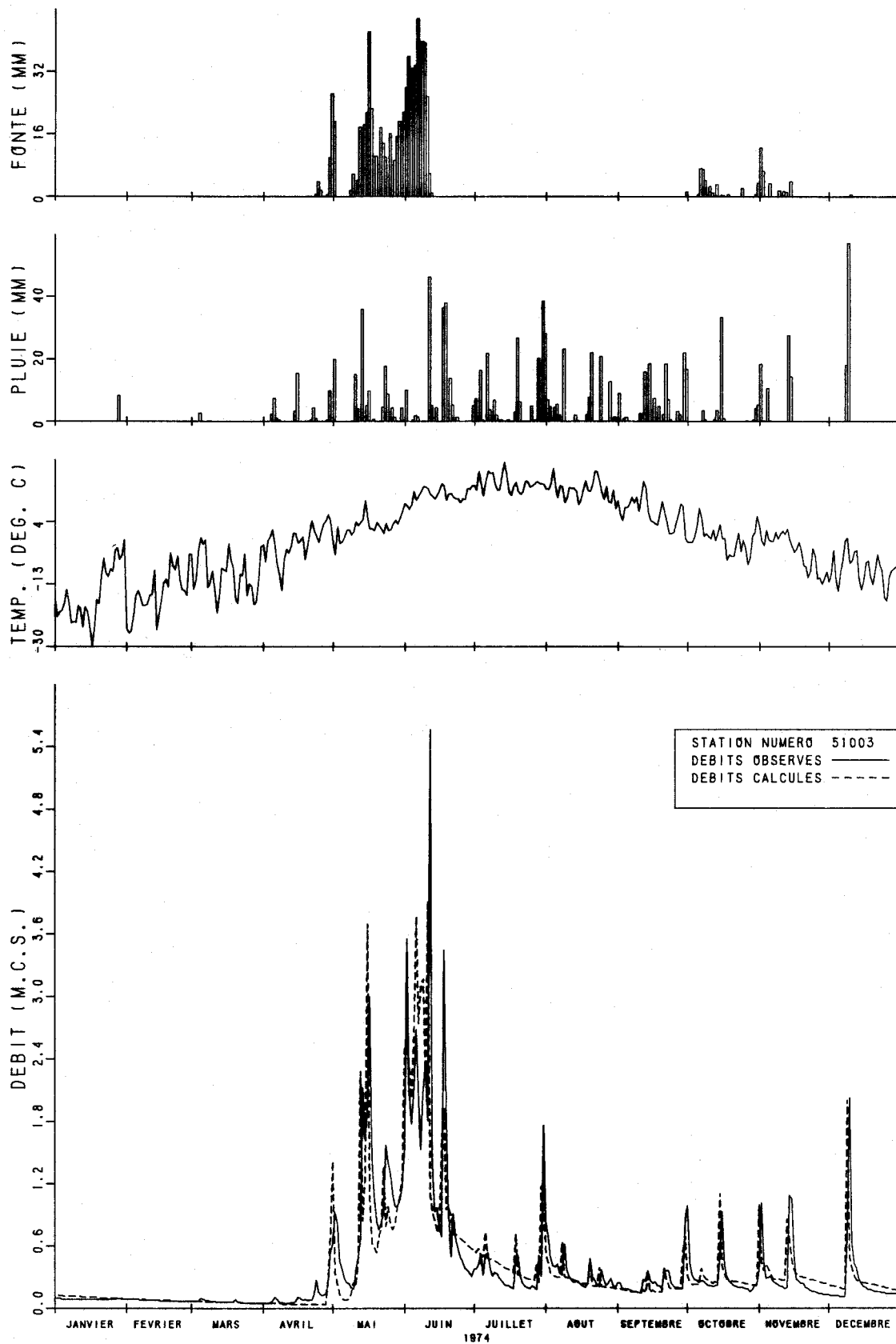


FIGURE 3.5 DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLEES



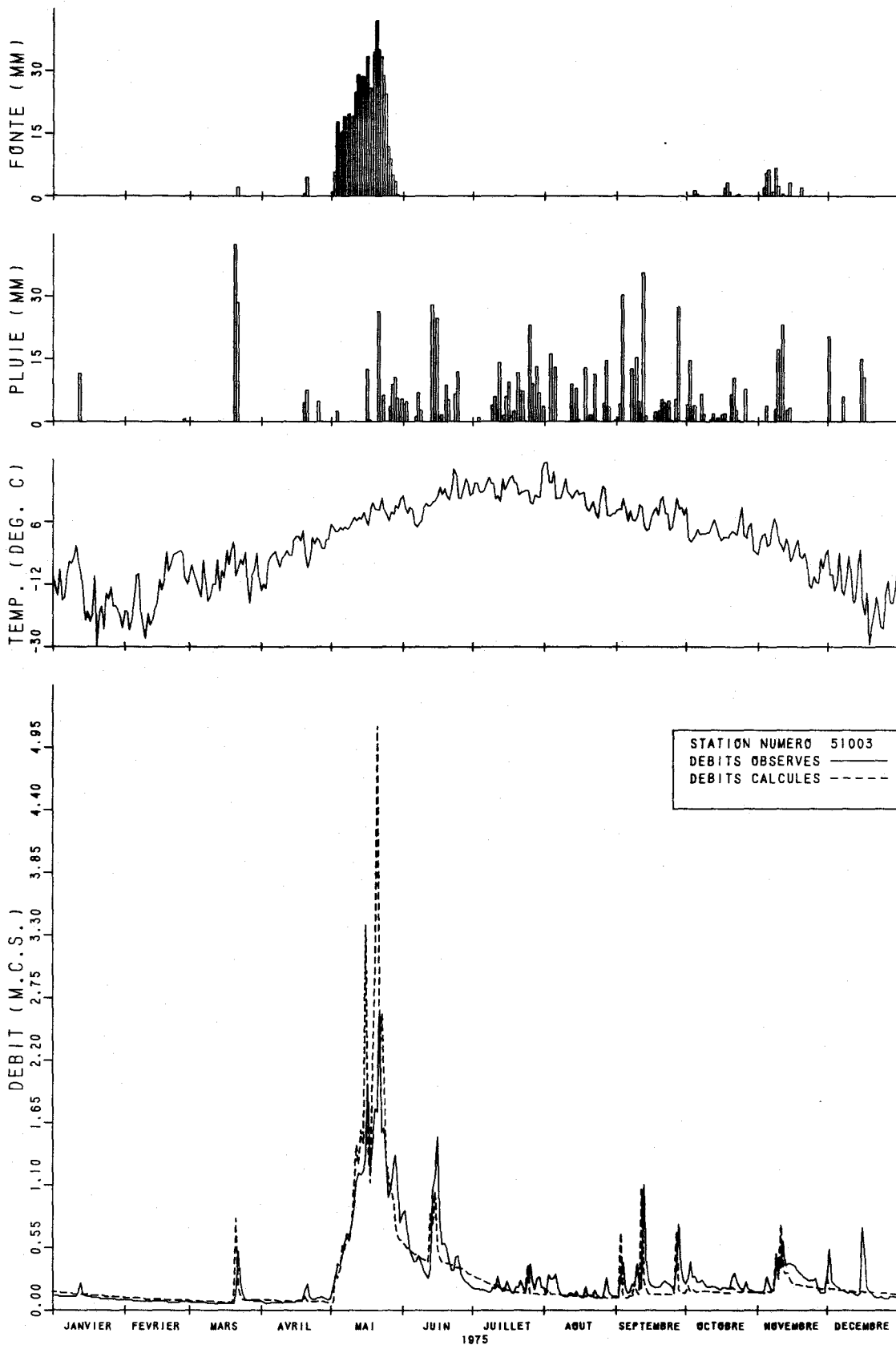


FIGURE 3.6. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLEES

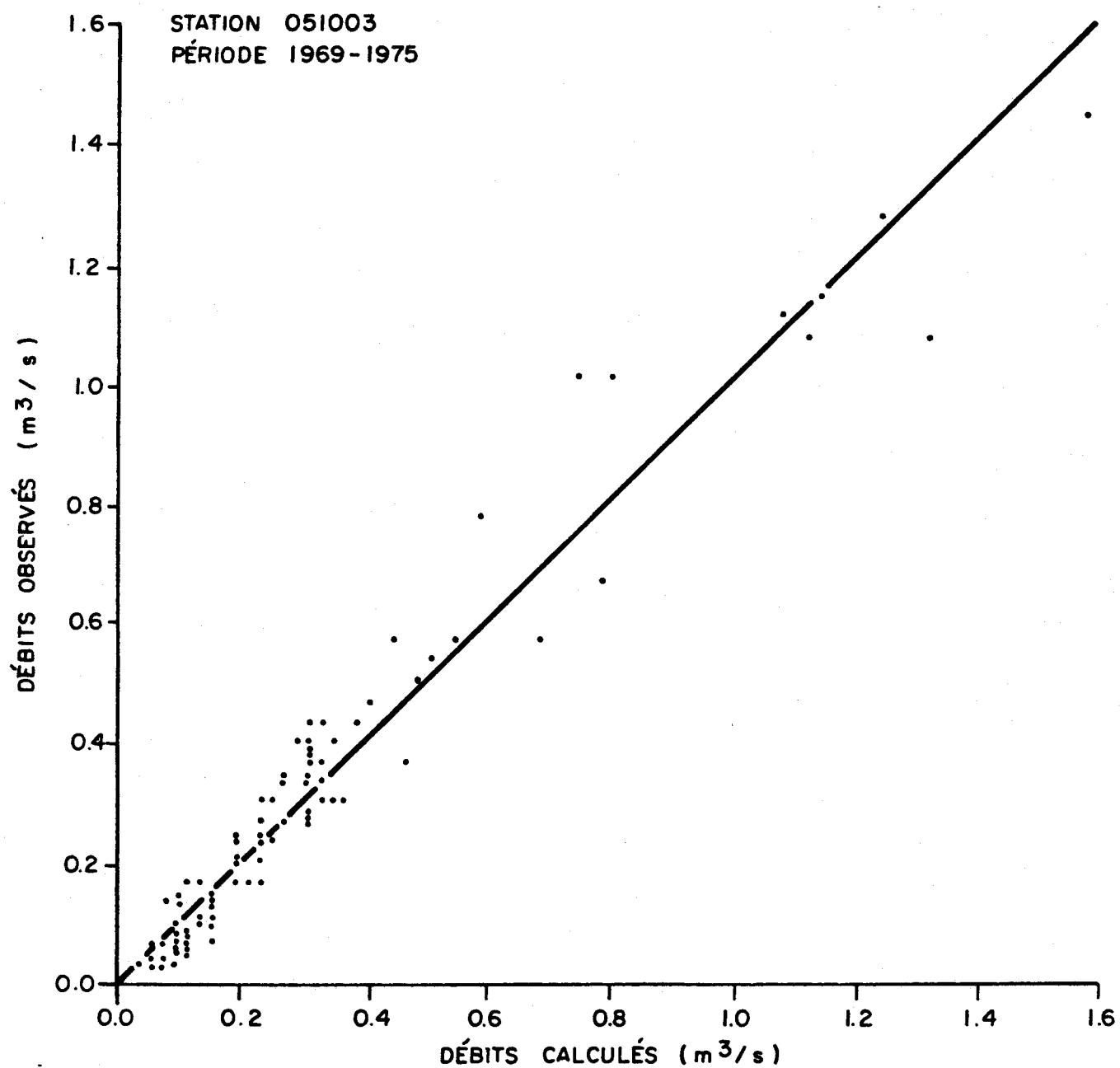


FIGURE 3.7 Débits moyens mensuels observés et calculés, station 051003.

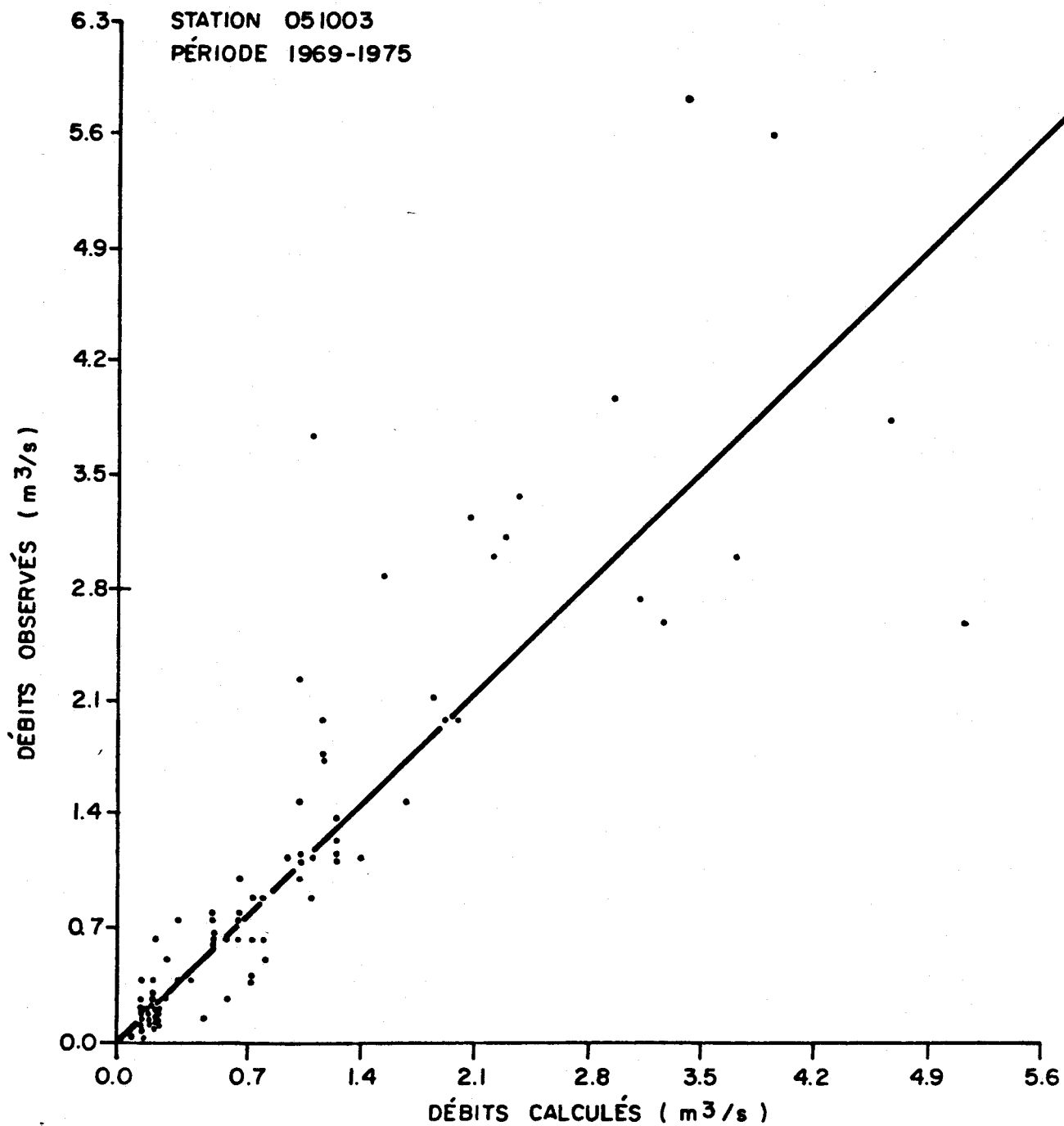


FIGURE 3.8 Débits journaliers maximaux mensuels observés et calculés, station 051003.

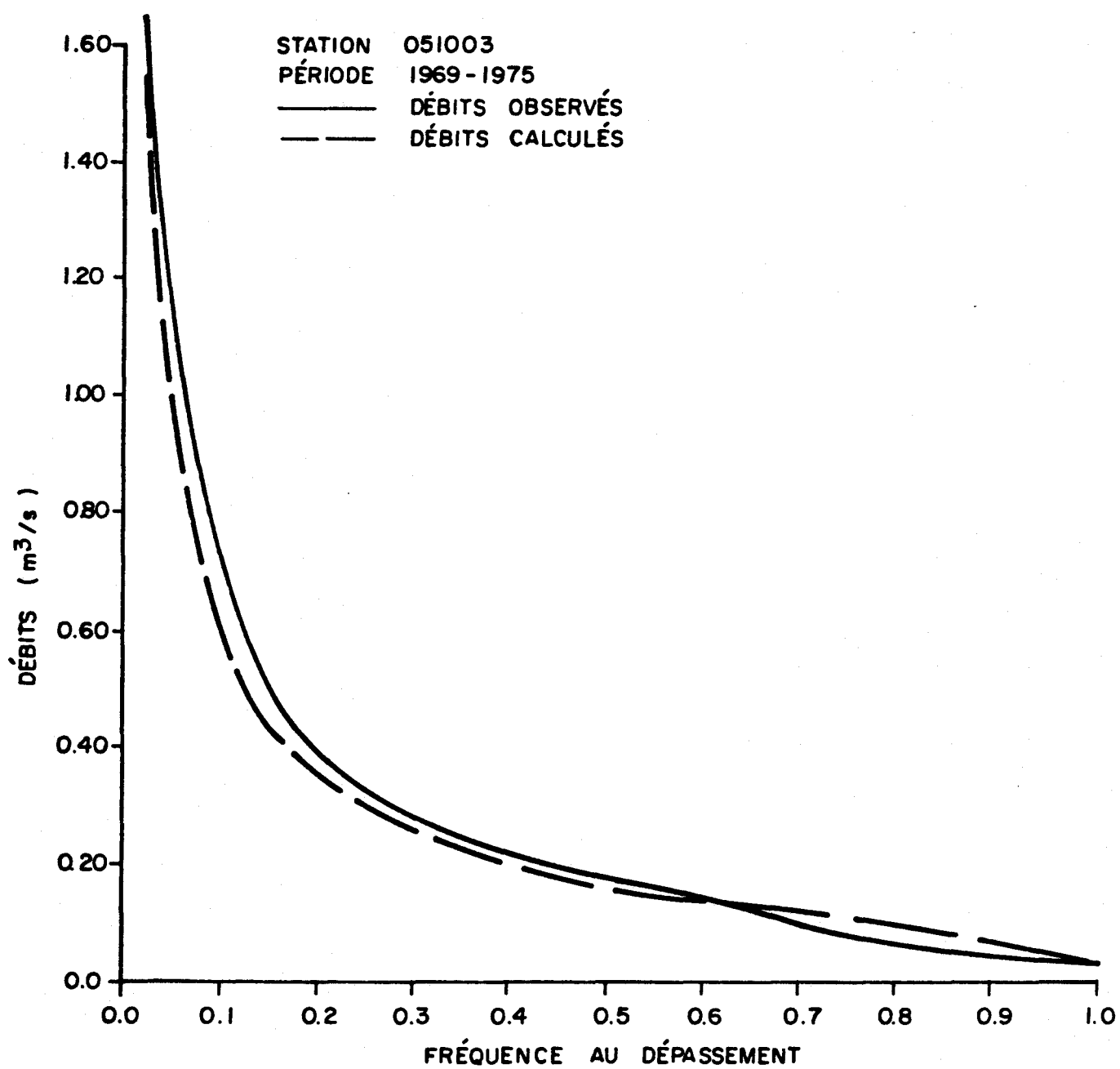


FIGURE 3.9 Débits journaliers, observés et calculés, classés, station 051003.

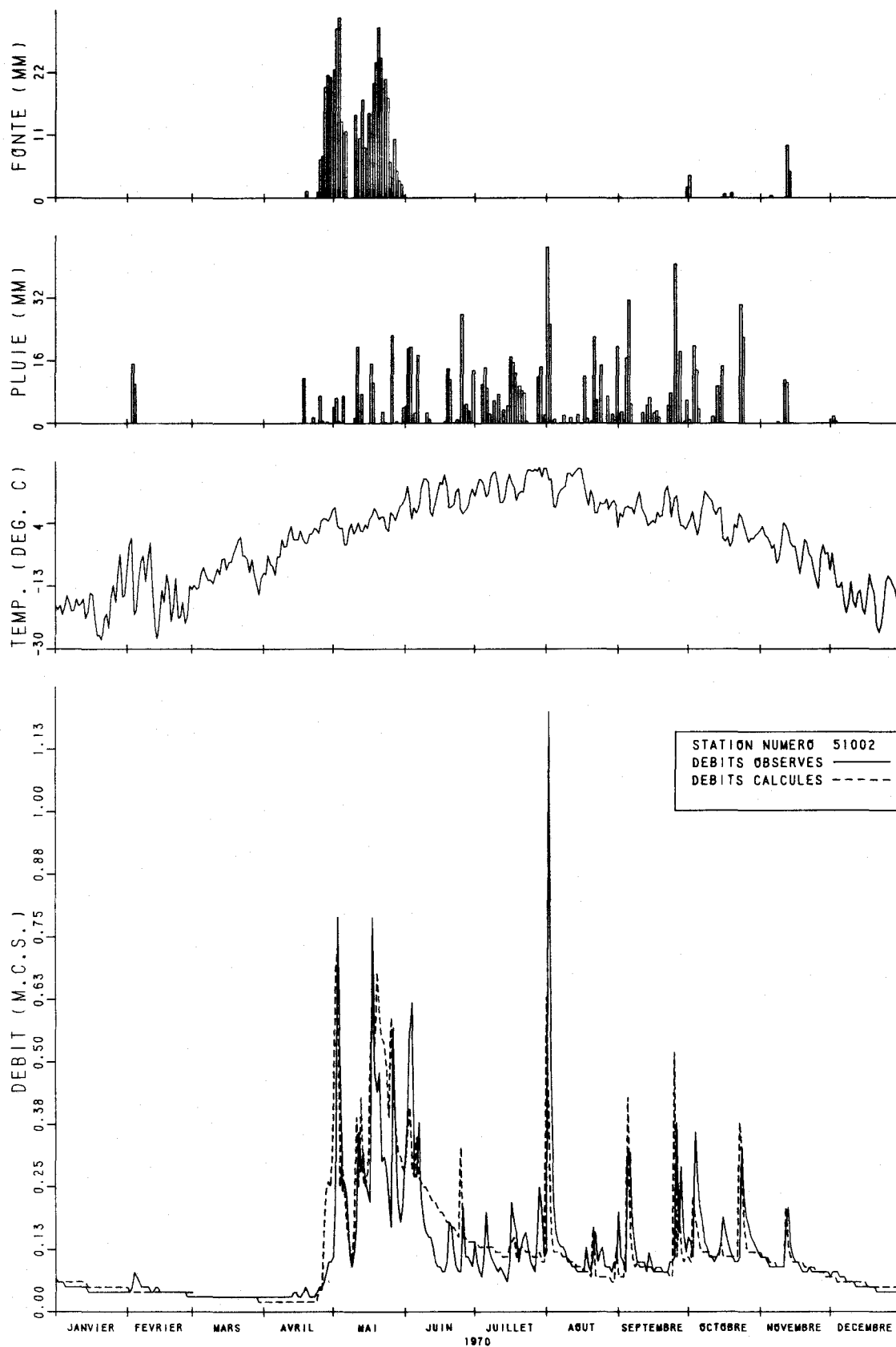


FIGURE 3.10. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLEES

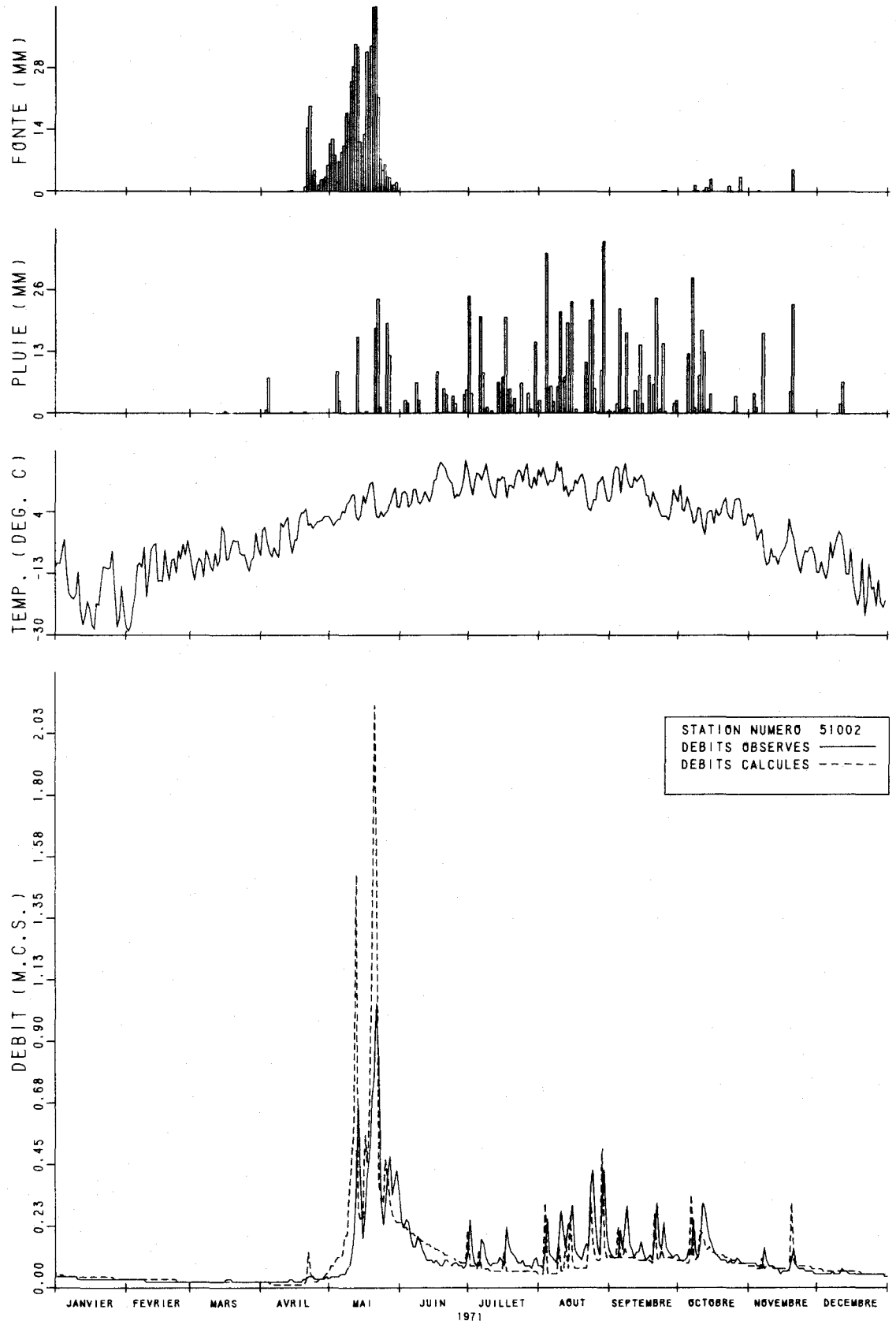


FIGURE 3.11. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLEES

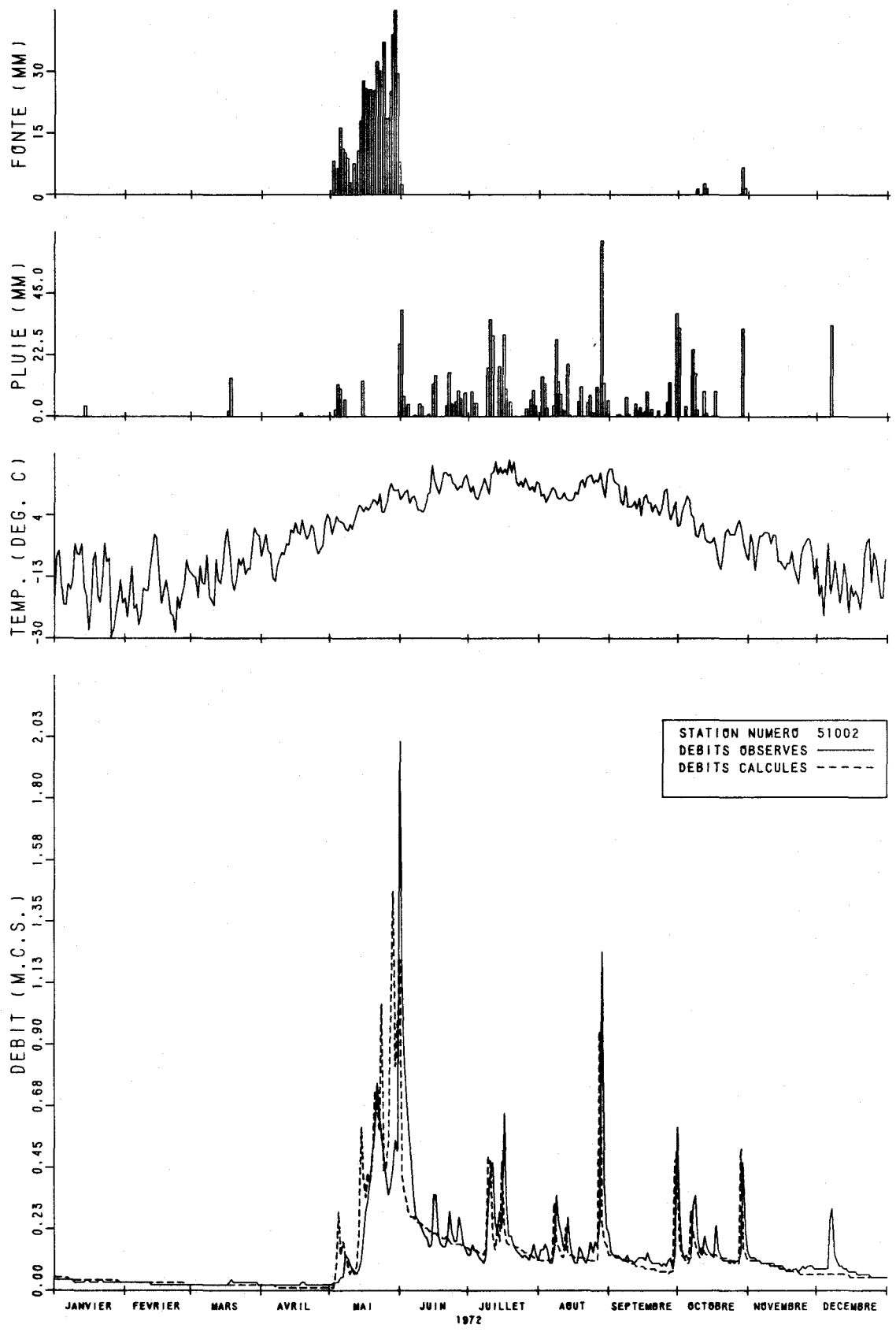


FIGURE 3.12. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLEES

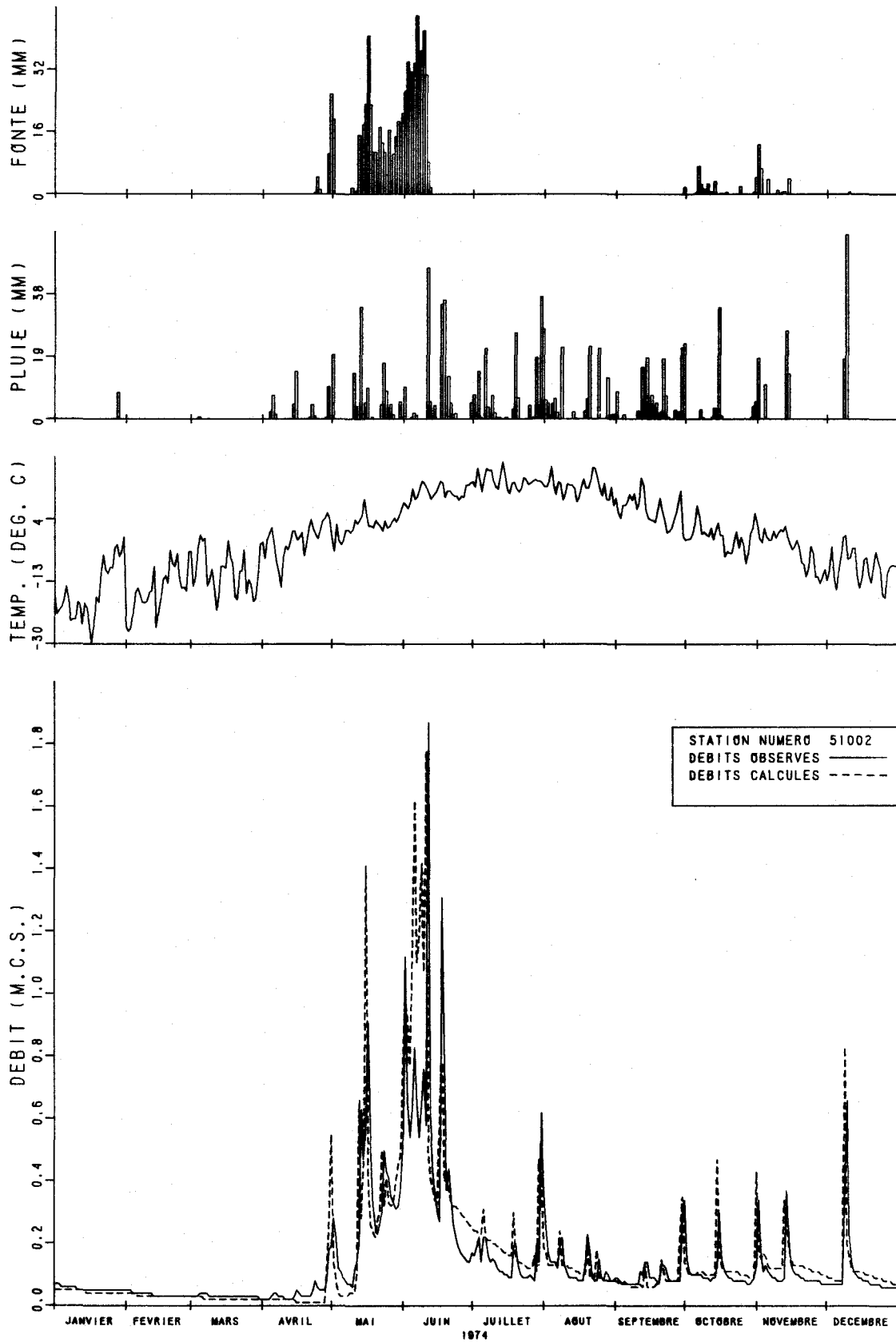


FIGURE 3.13. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLEES



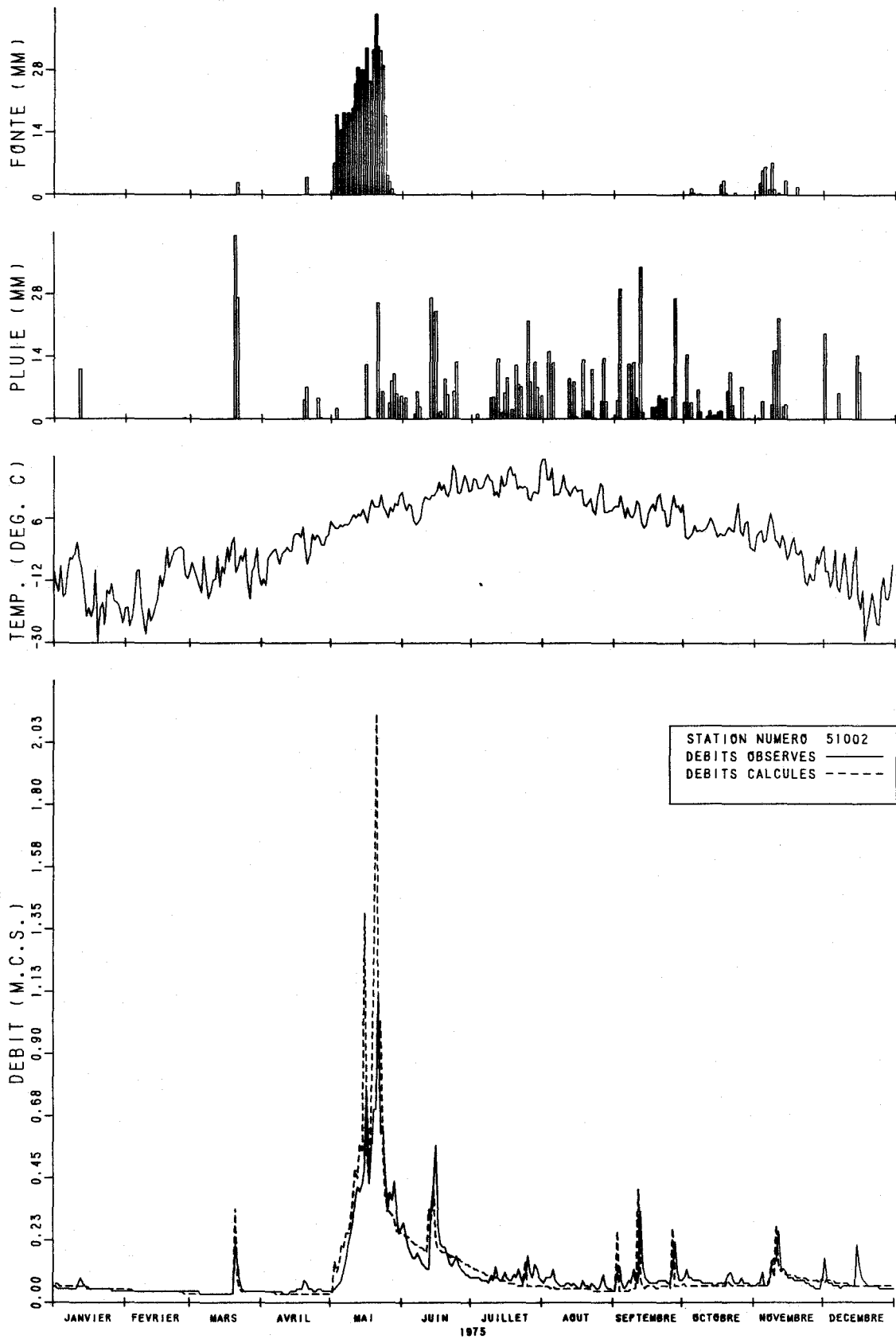


FIGURE 3.14. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES EAUX VOLEES

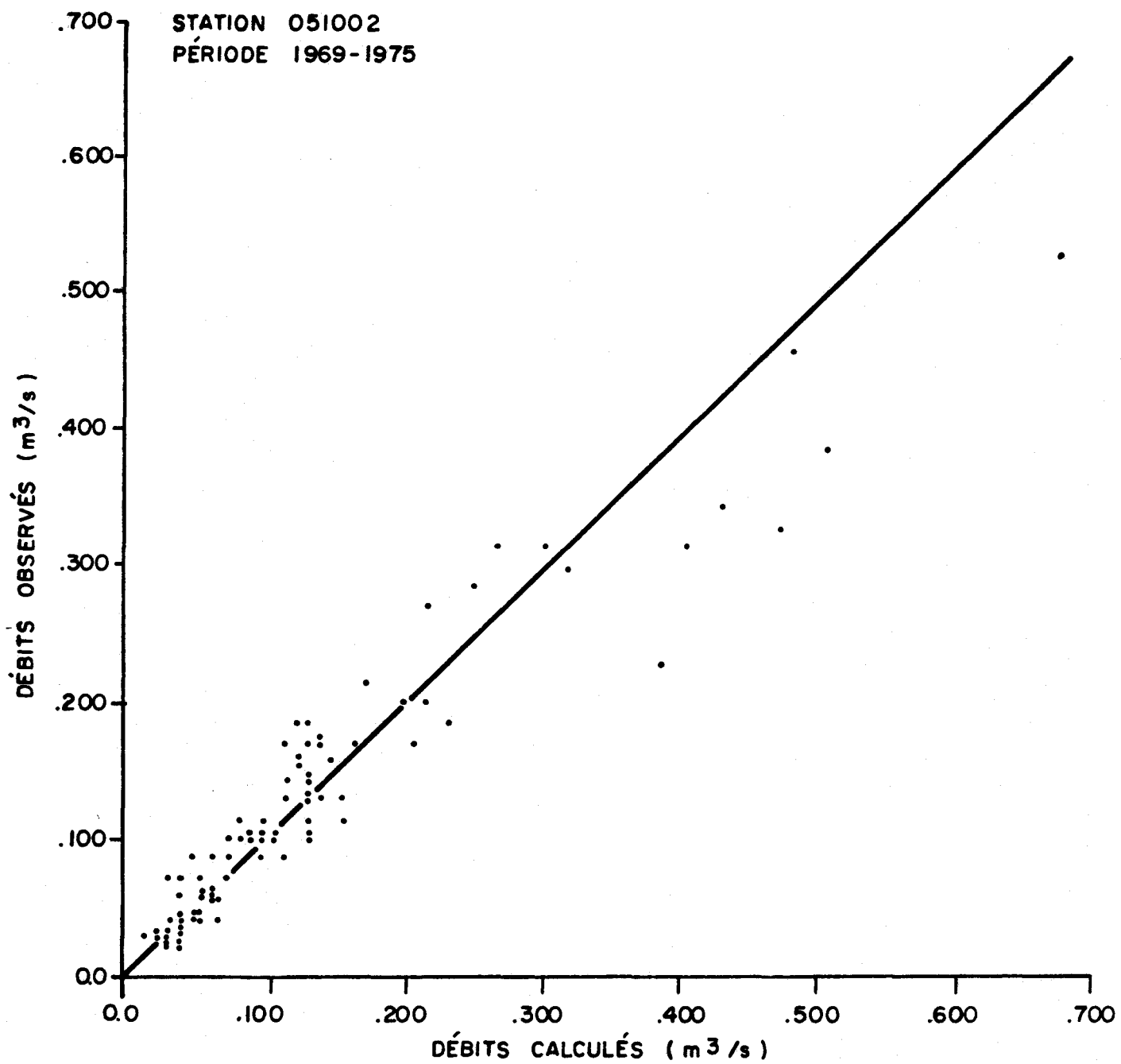


FIGURE 3.15 Débits moyens mensuels observés et calculés, station 051002.

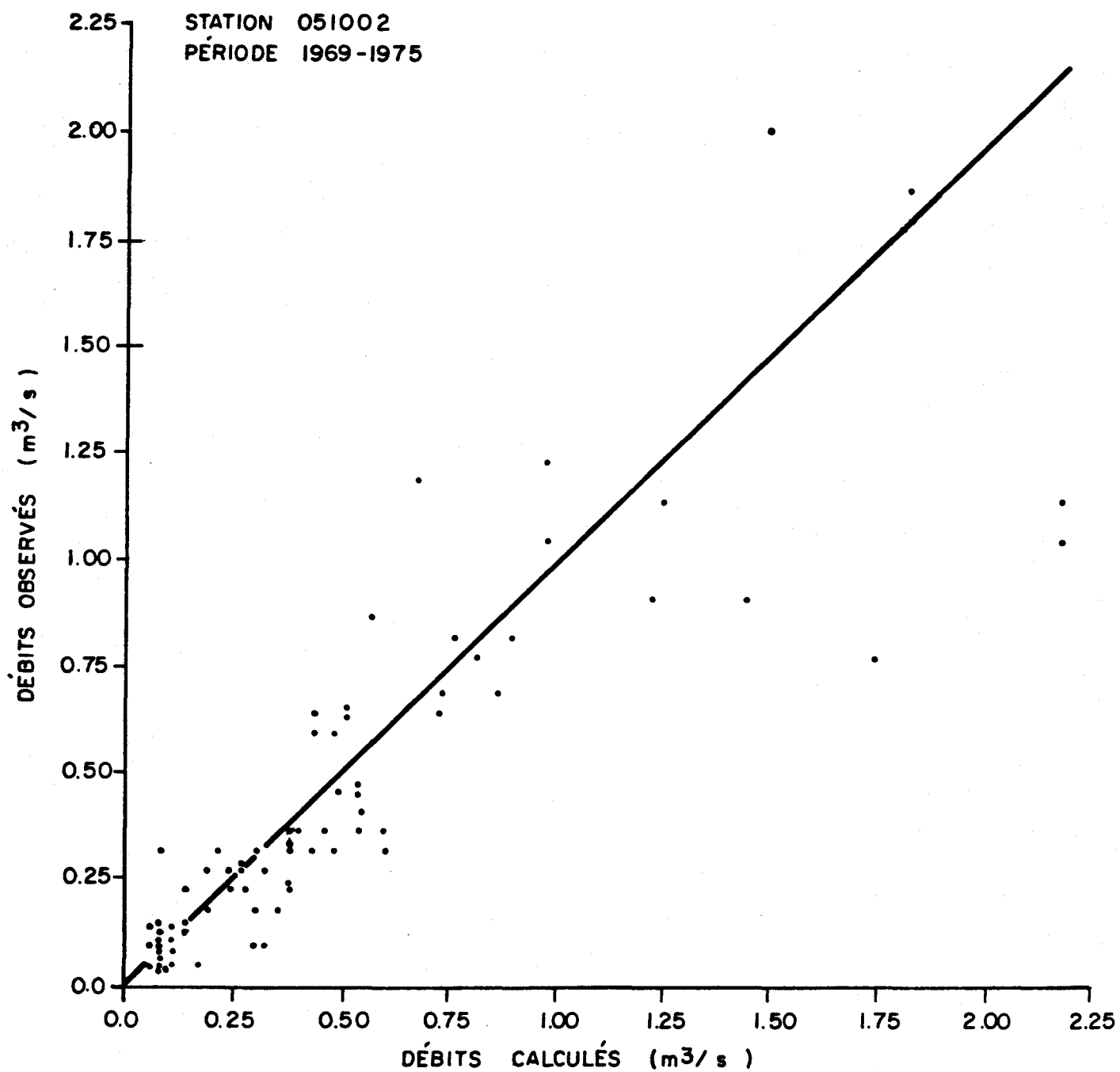


FIGURE 3.16 Débits journaliers maximaux mensuels observés et calculés, station 051002.

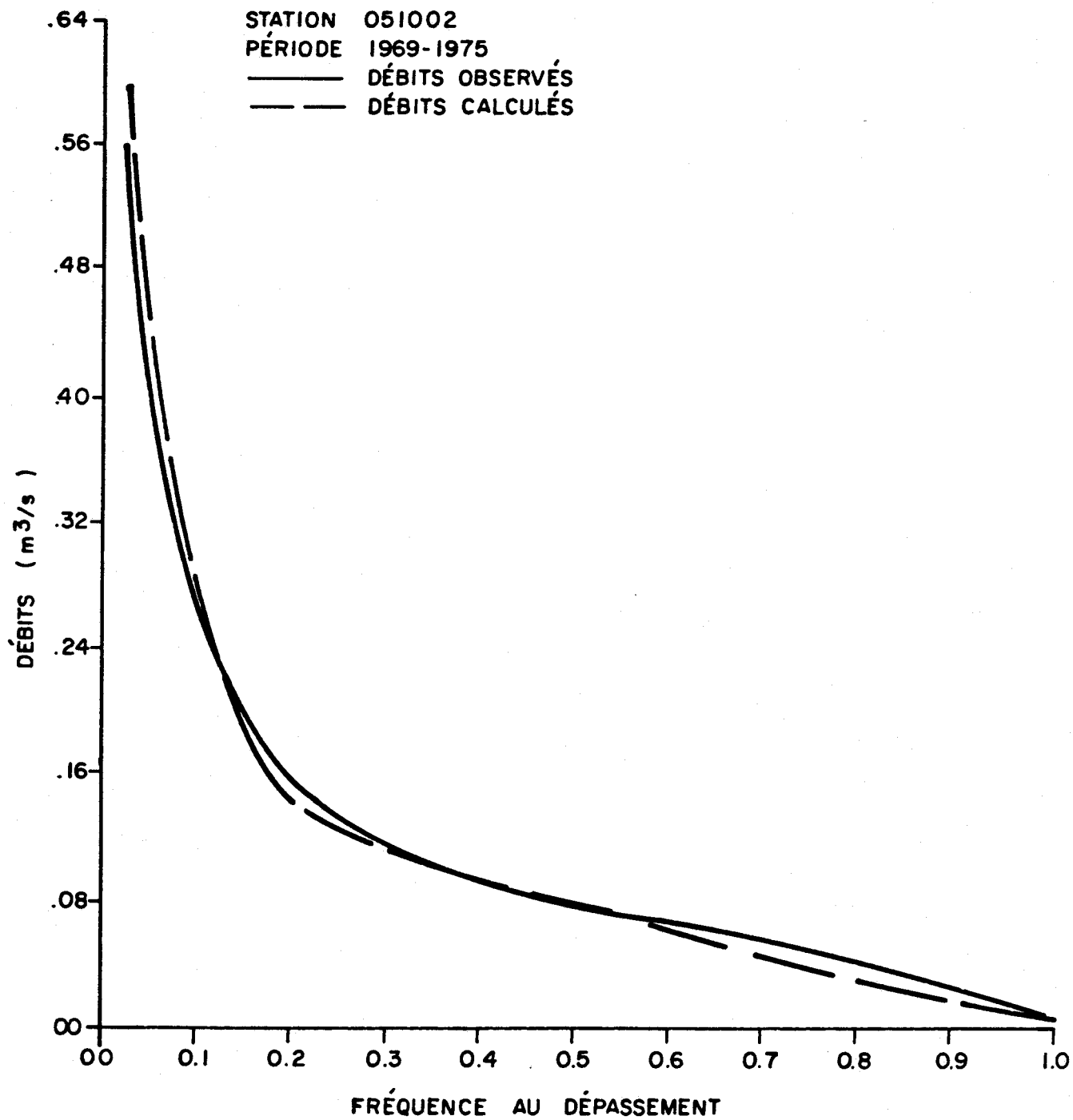


FIGURE 3.17 Débits journaliers, observés et calculés, classés, station 051002.

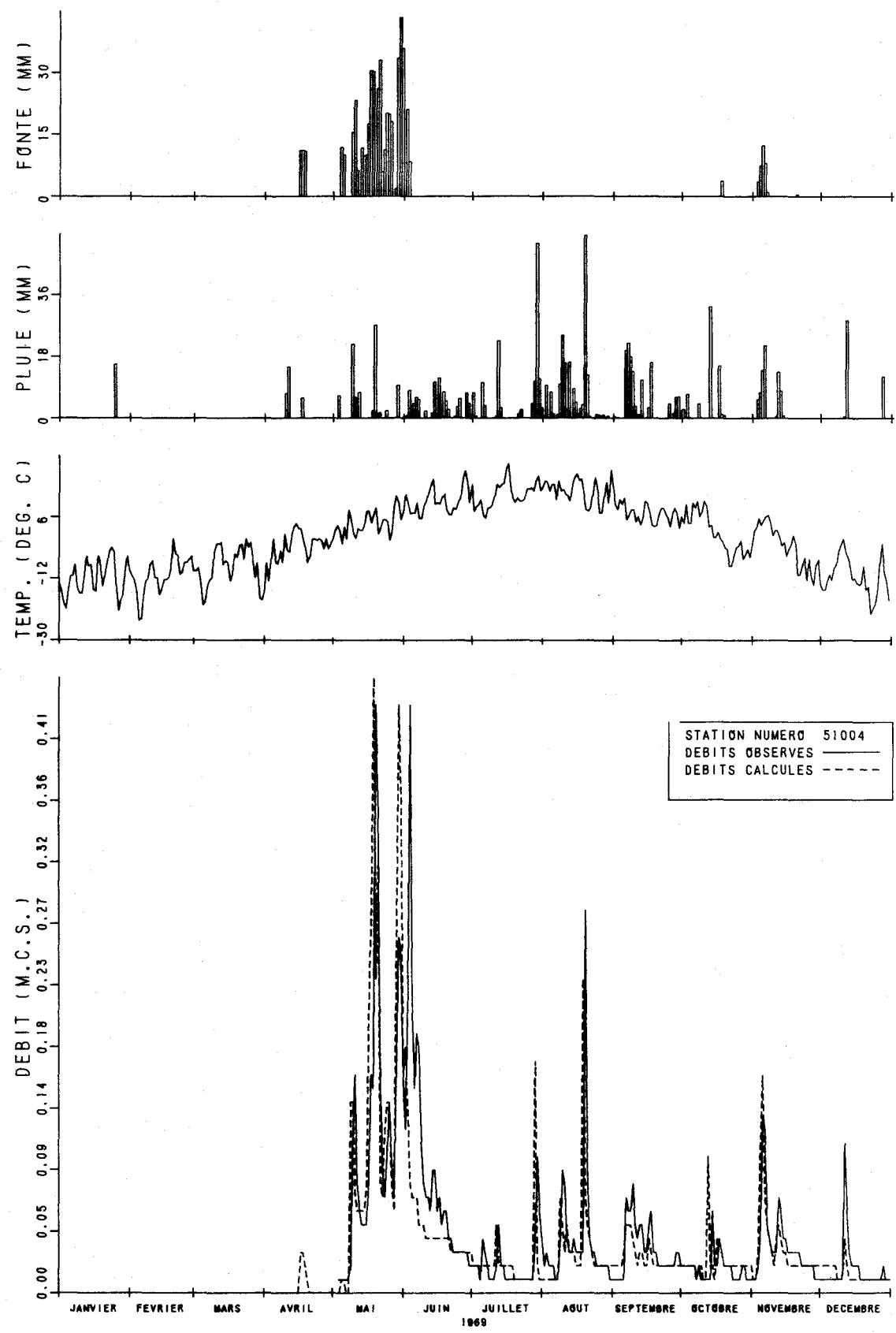


FIGURE 3.10- DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES

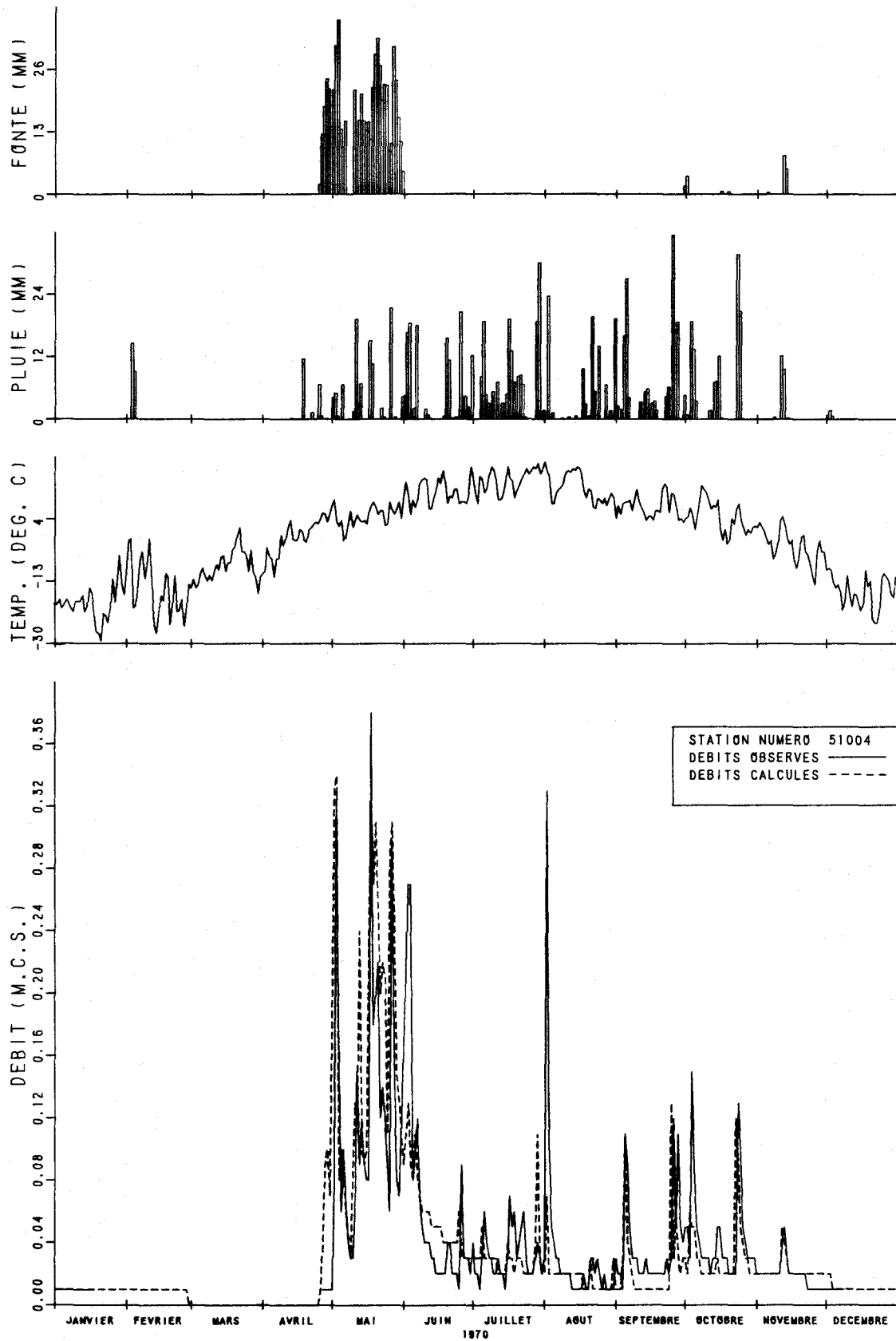


FIGURE 3.19. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES

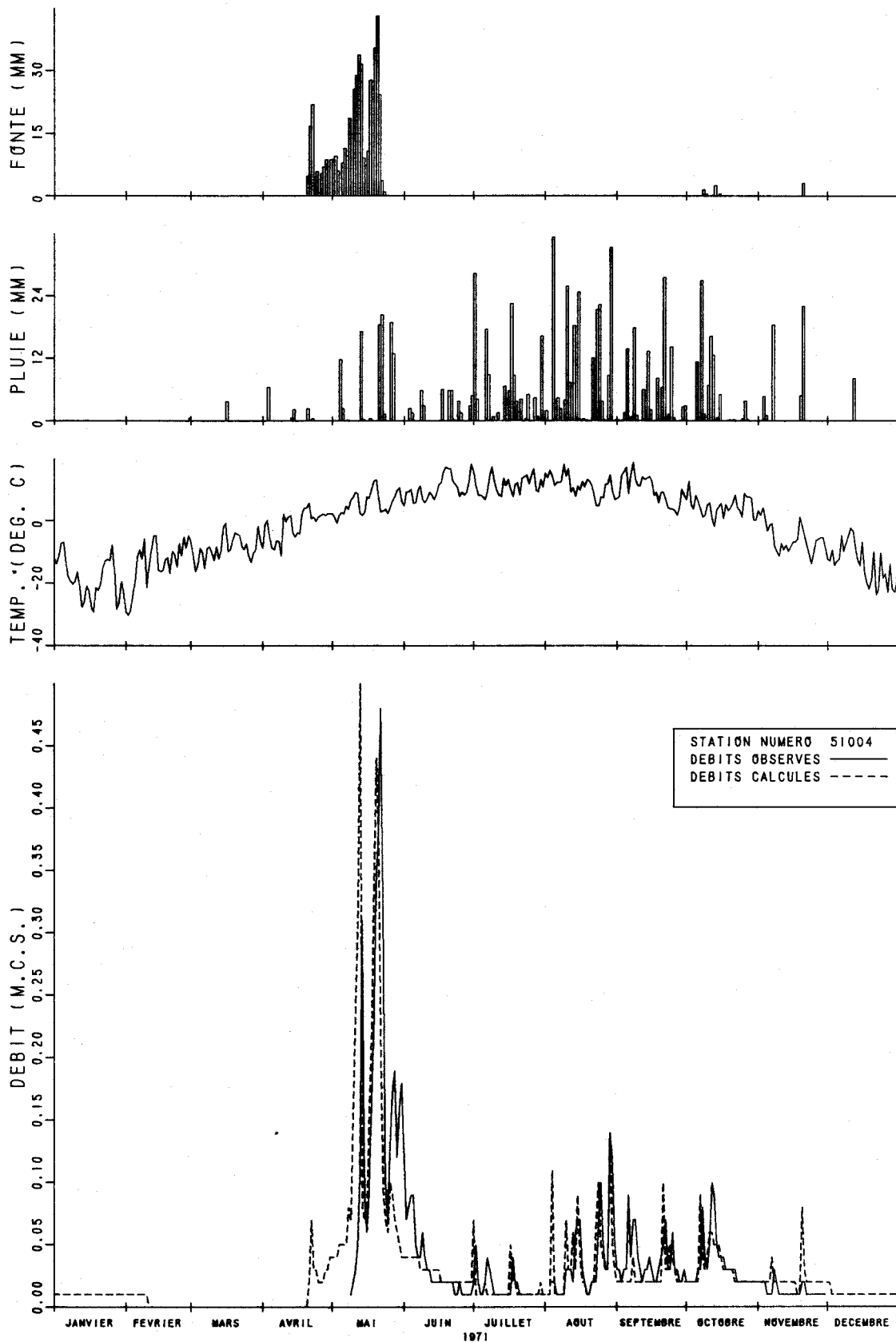


FIGURE 3.20. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES

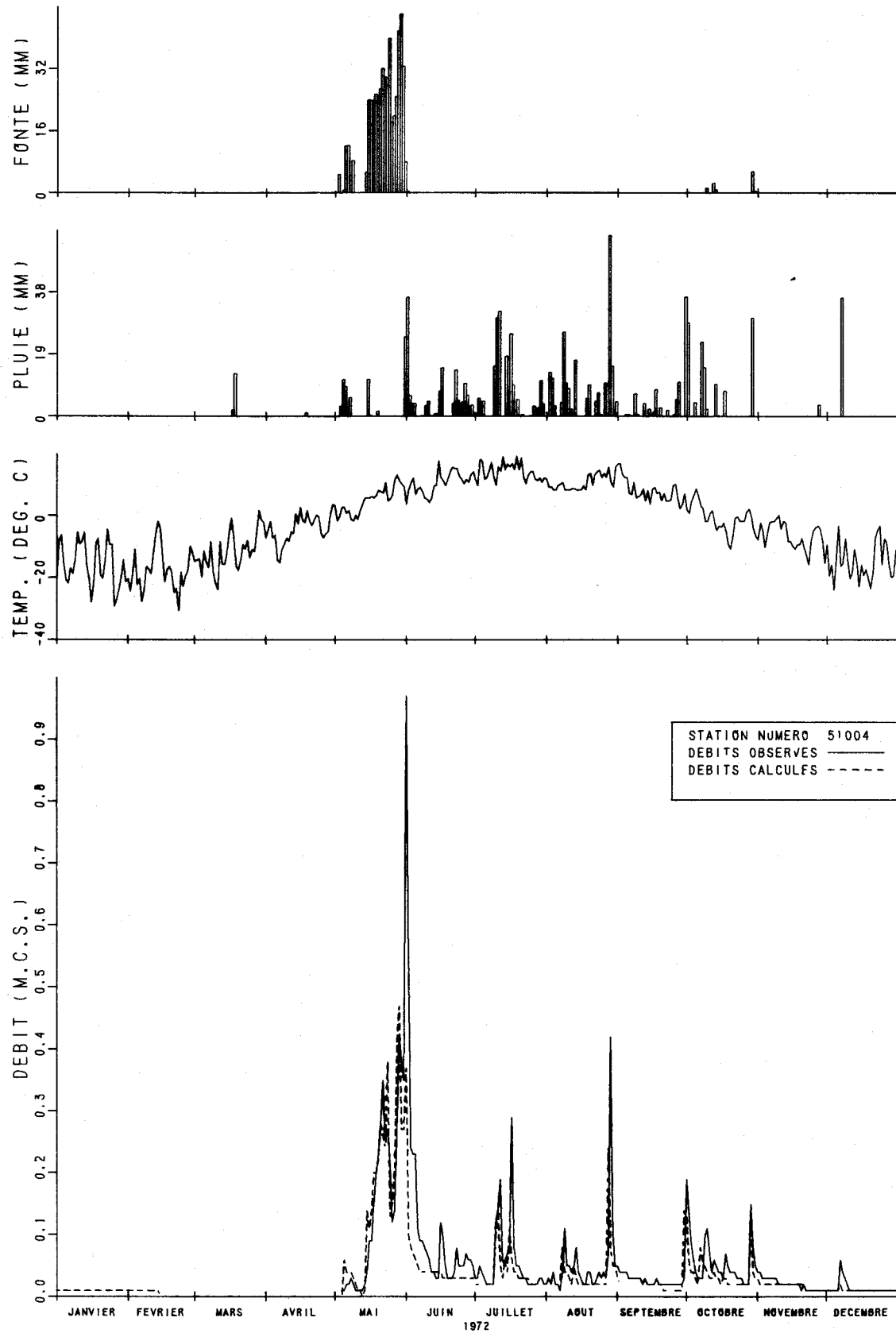


FIGURE 3.21. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES



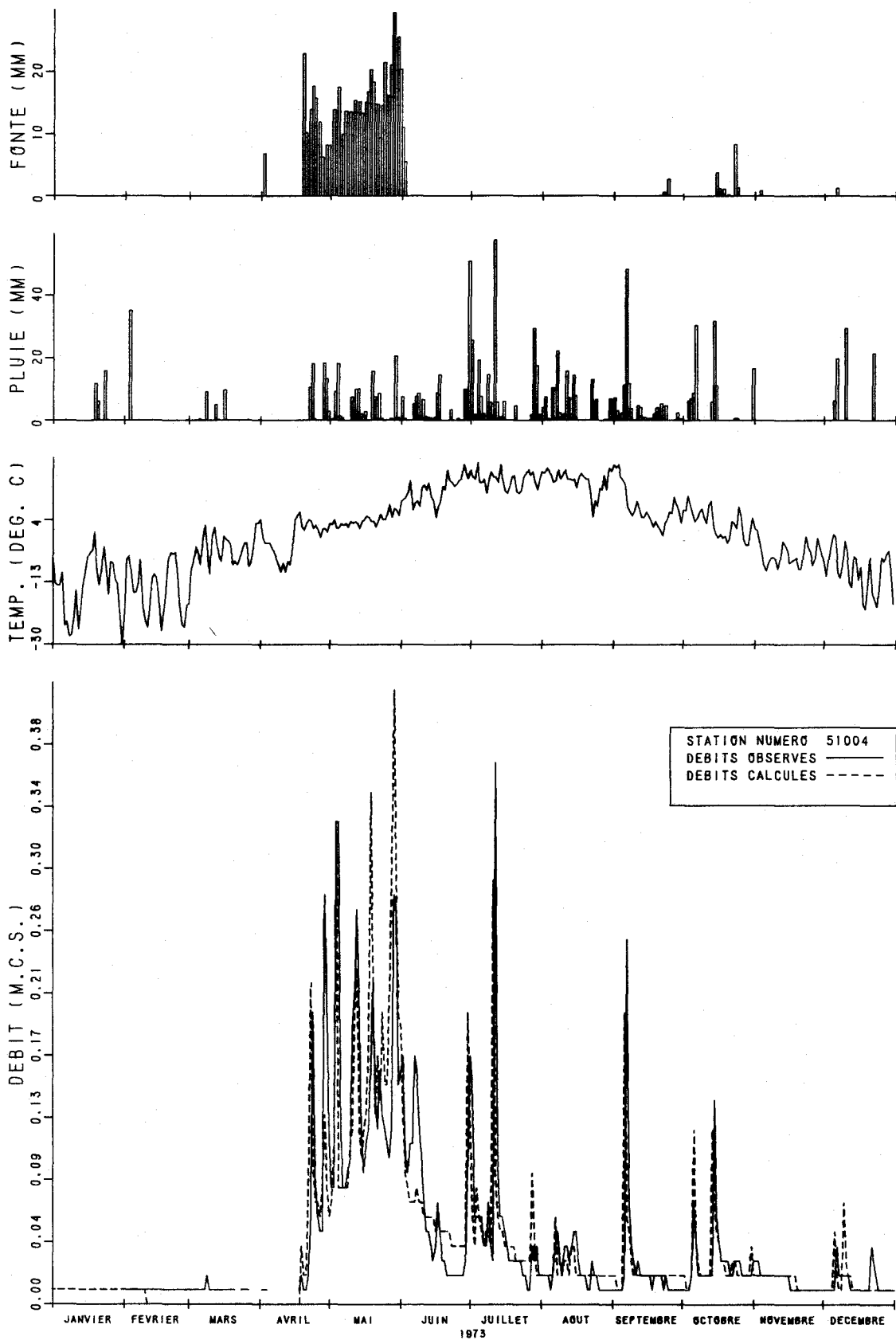


FIGURE 3.22. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES

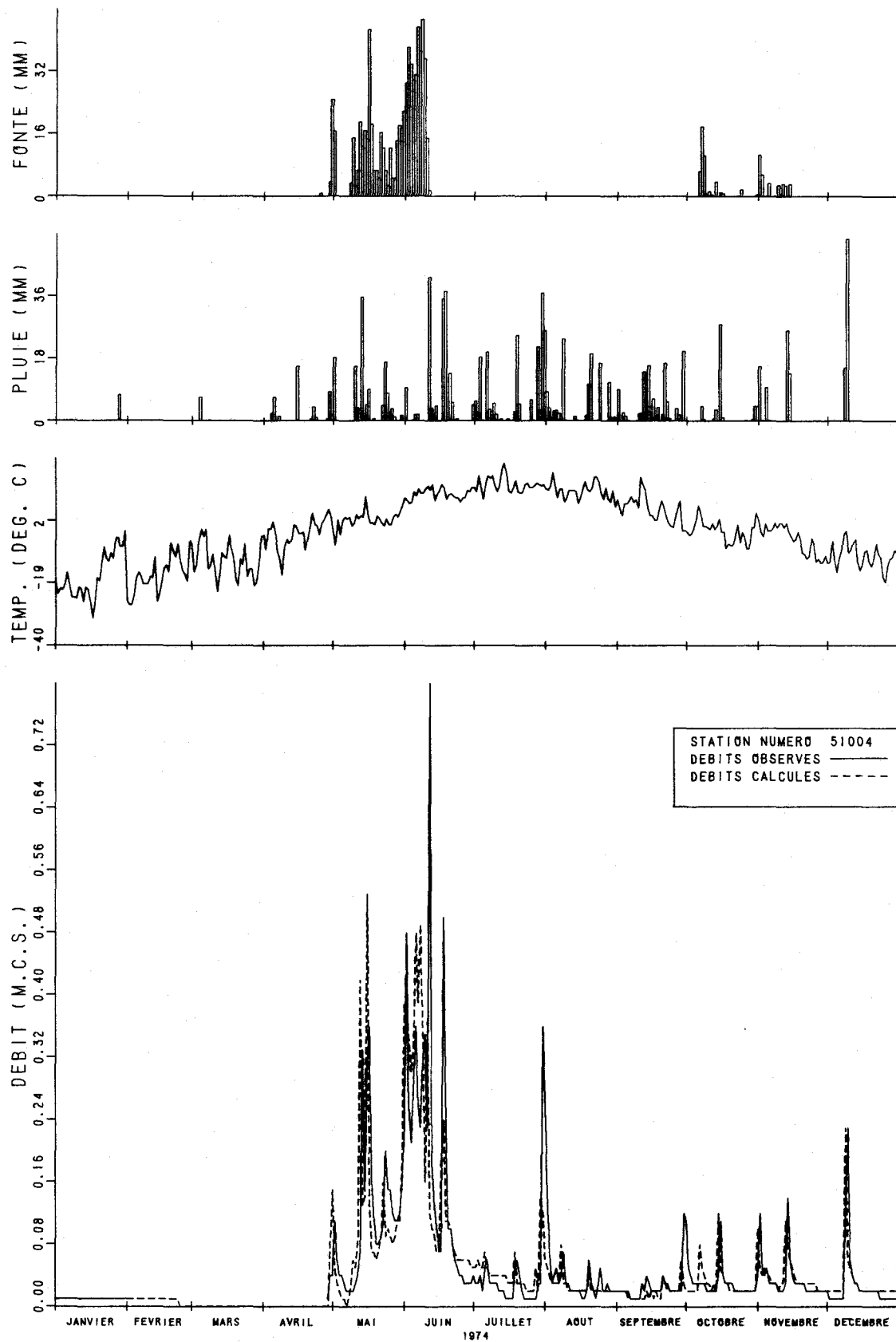


FIGURE 3.23. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES

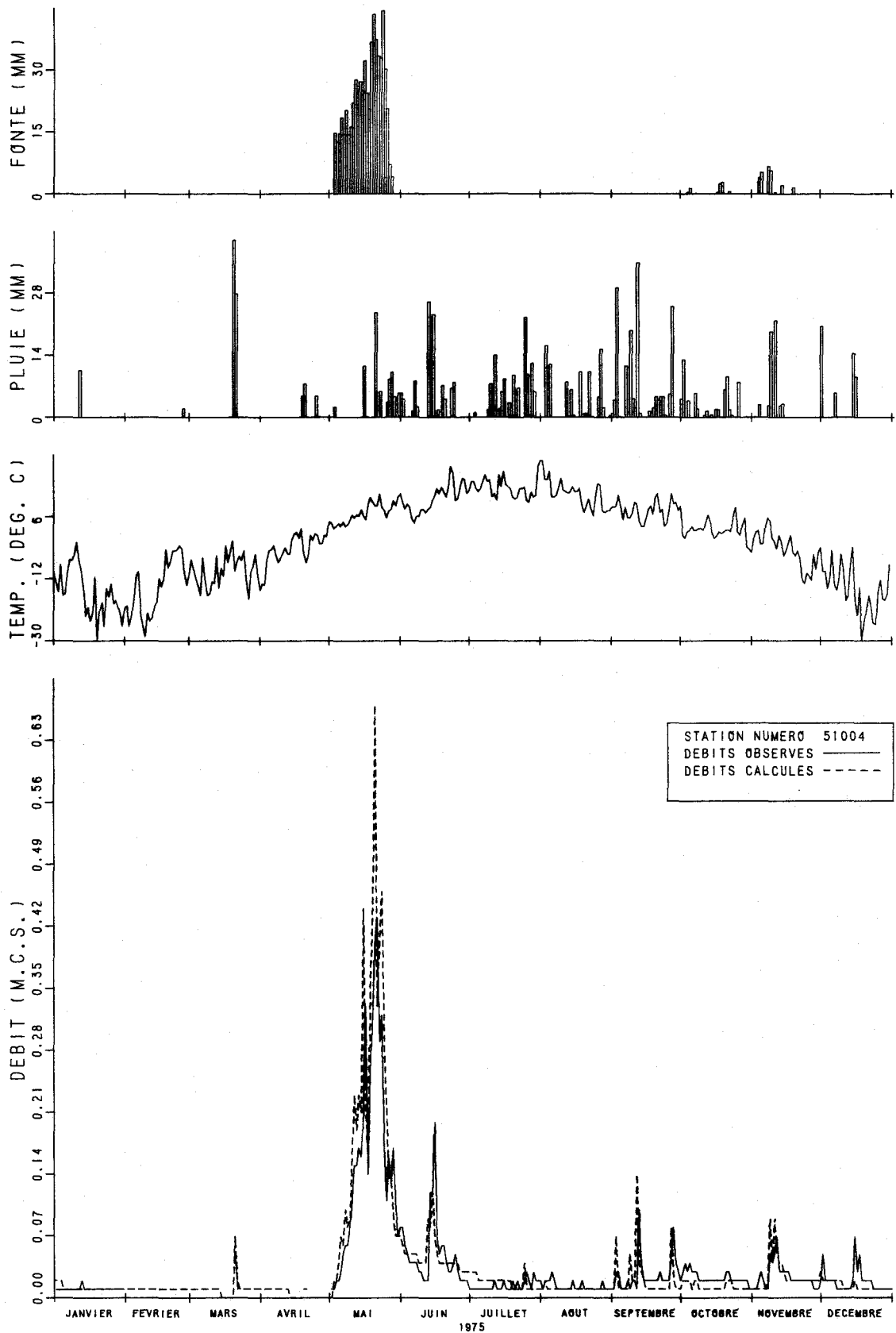


FIGURE 3.24. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES

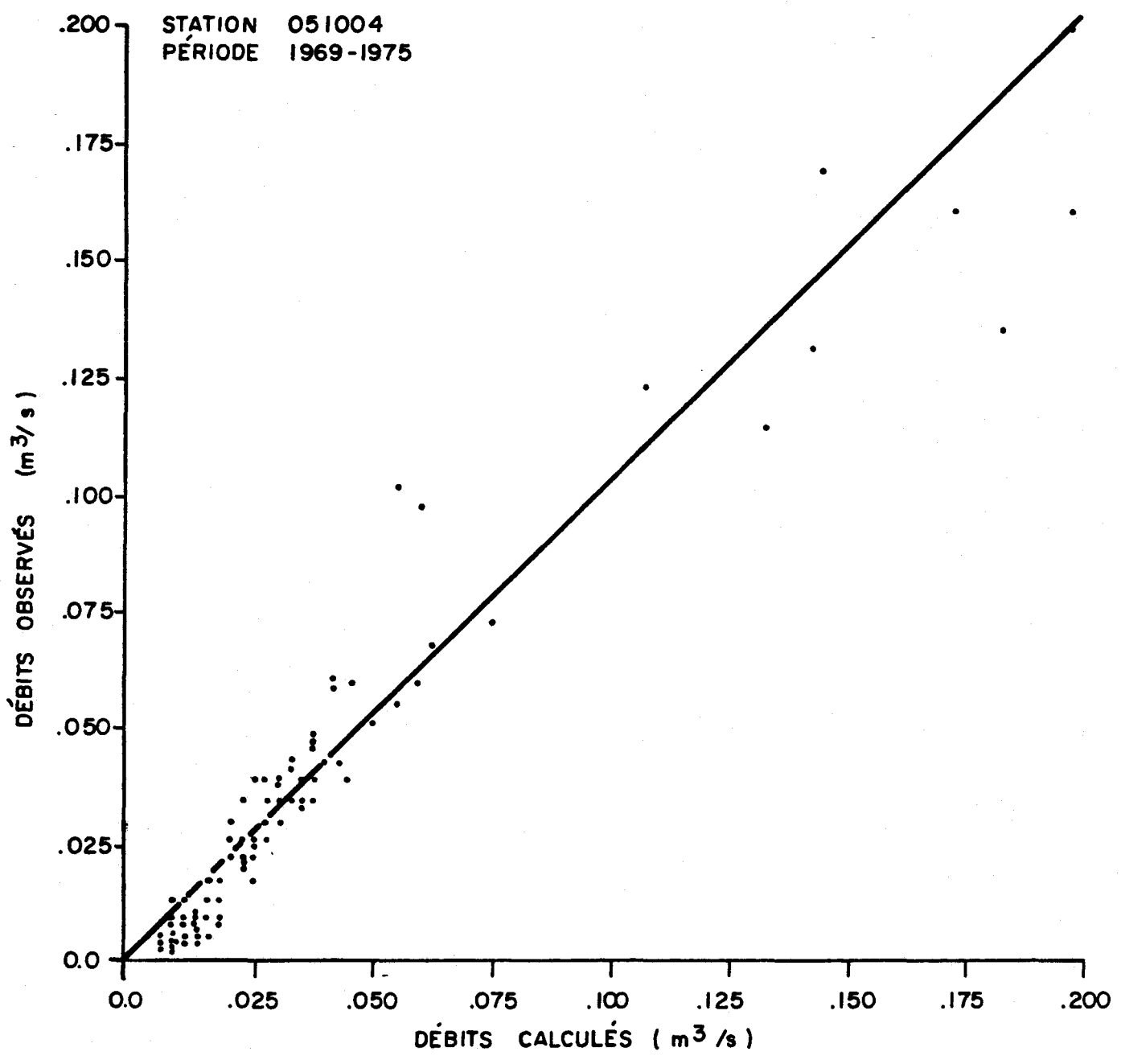


FIGURE 3.25 Débits moyens mensuels observés et calculés, station 051004.

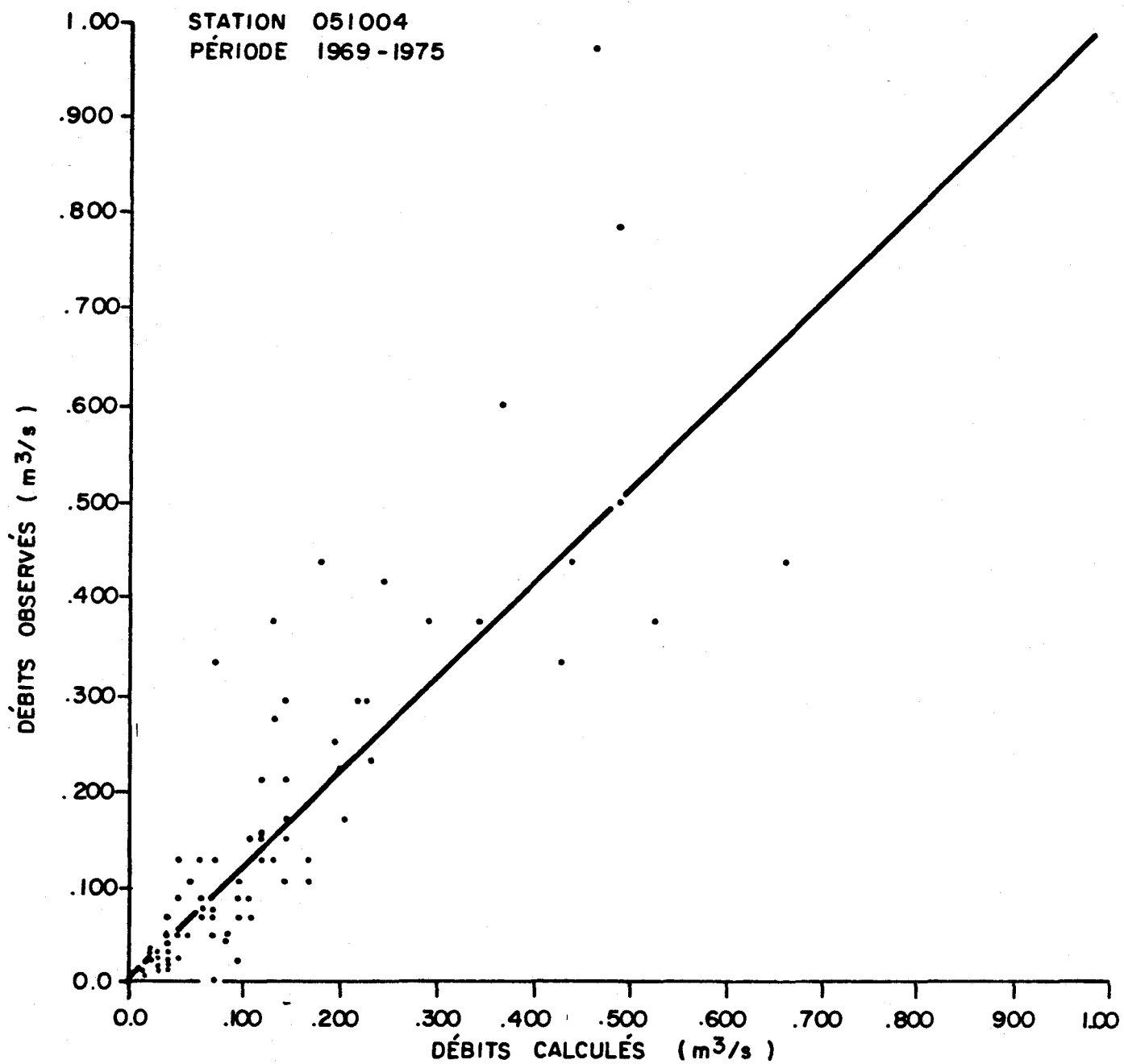


FIGURE 3.26 Débits journaliers maximaux mensuels observés et calculés, station 051004.

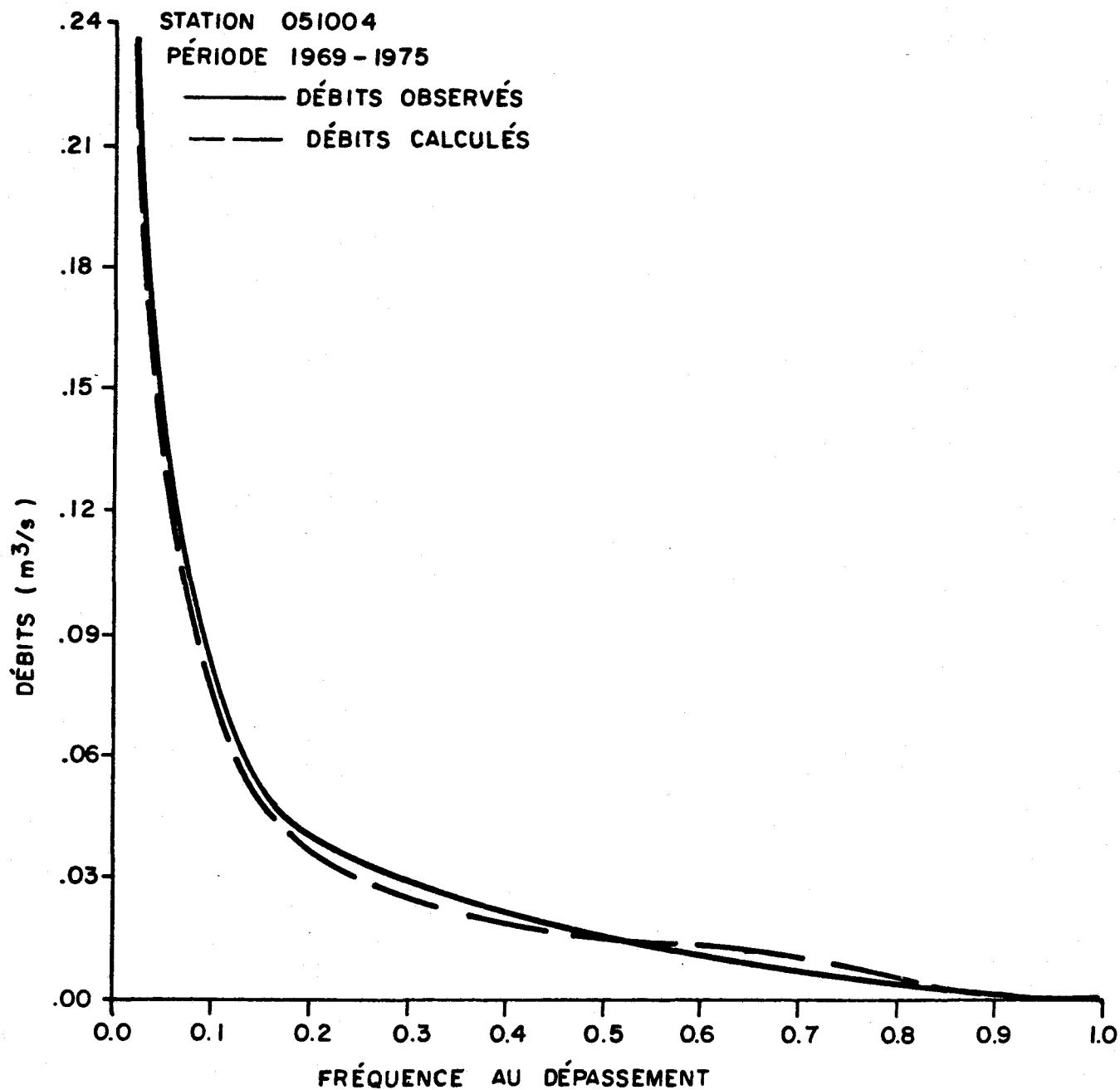


FIGURE 3.27 Débits journaliers, observés et calculés, classés, station 051004.

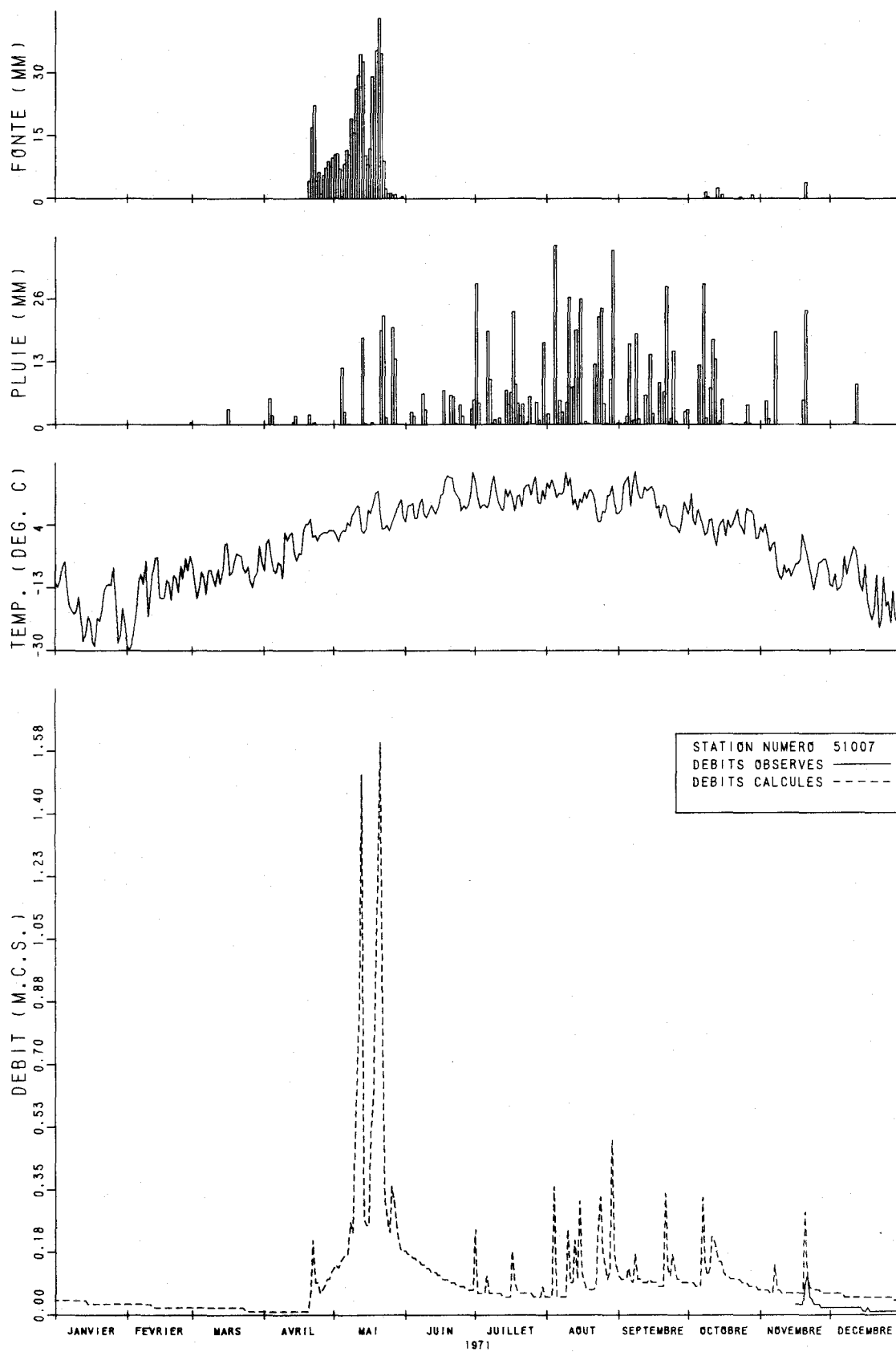


FIGURE 3.20. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES

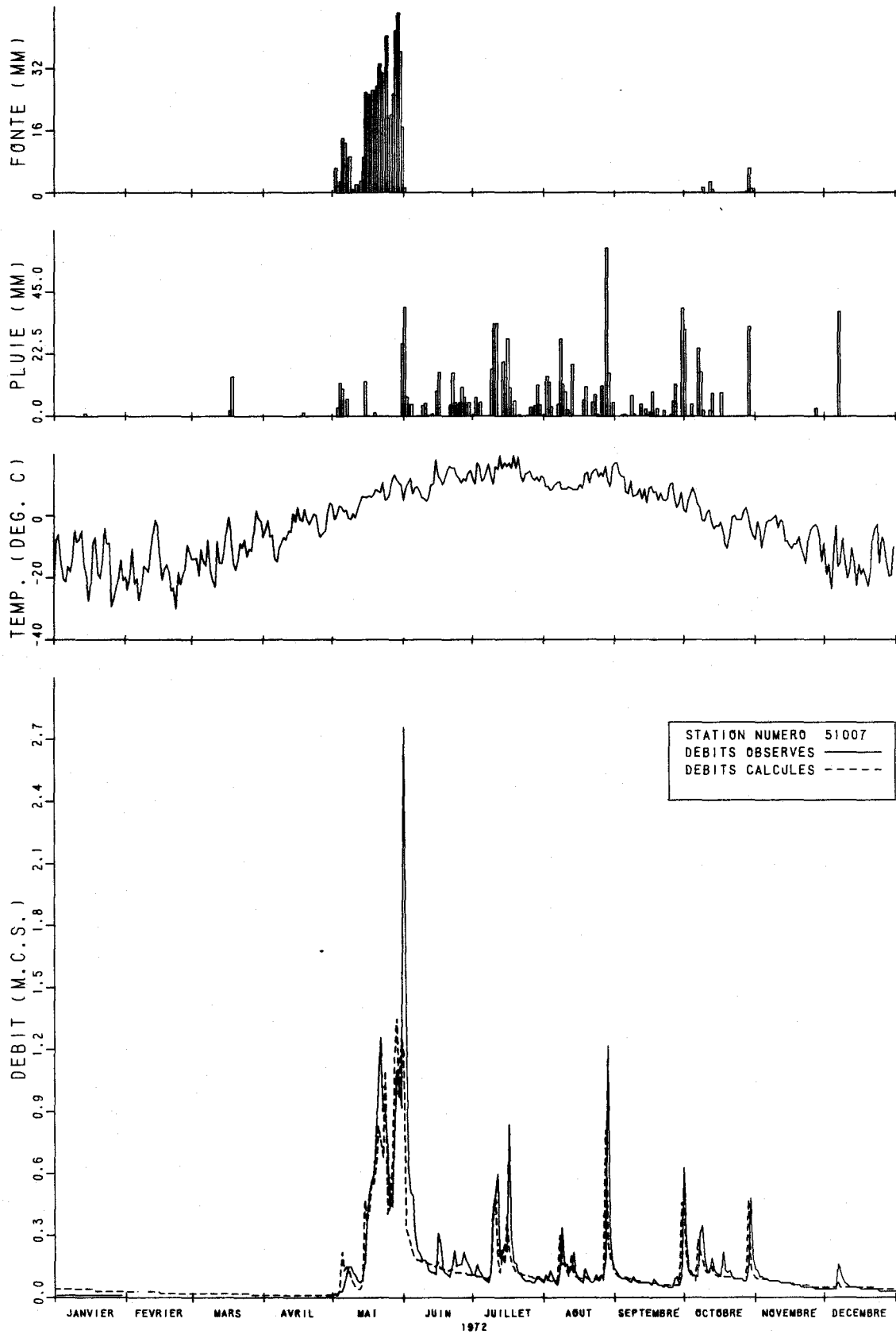


FIGURE 3.29. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES



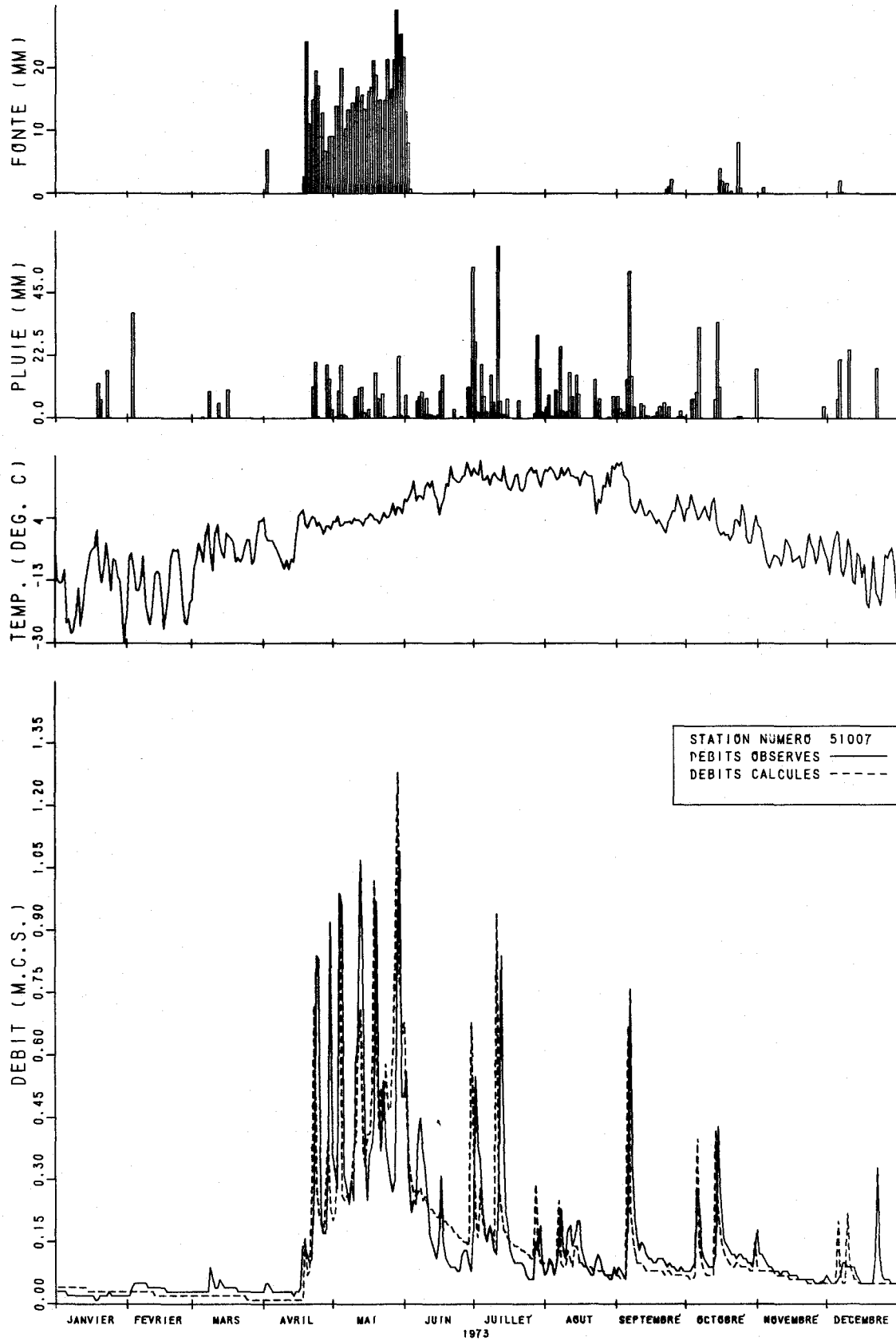


FIGURE 3.30. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES

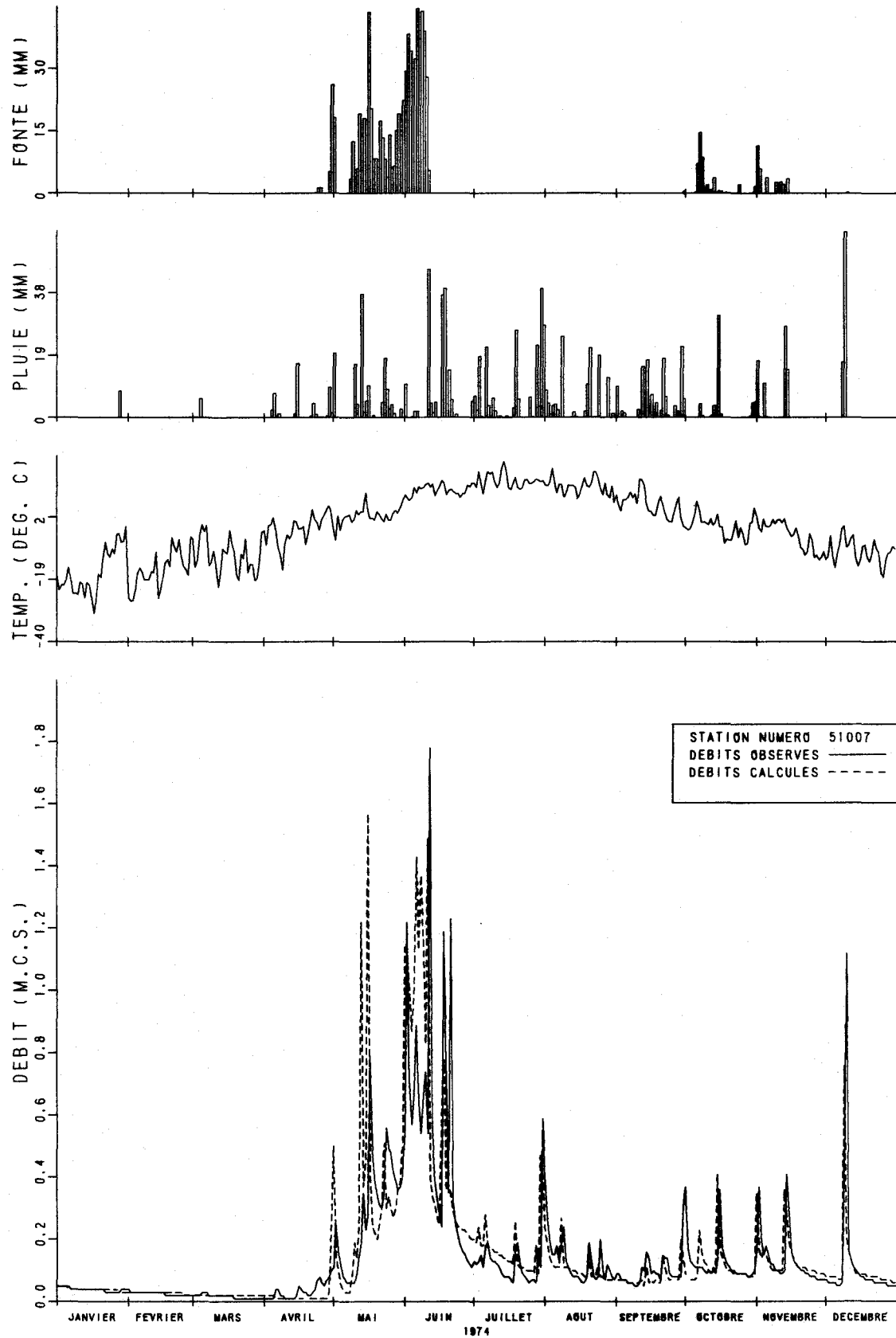


FIGURE 3.31 DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES

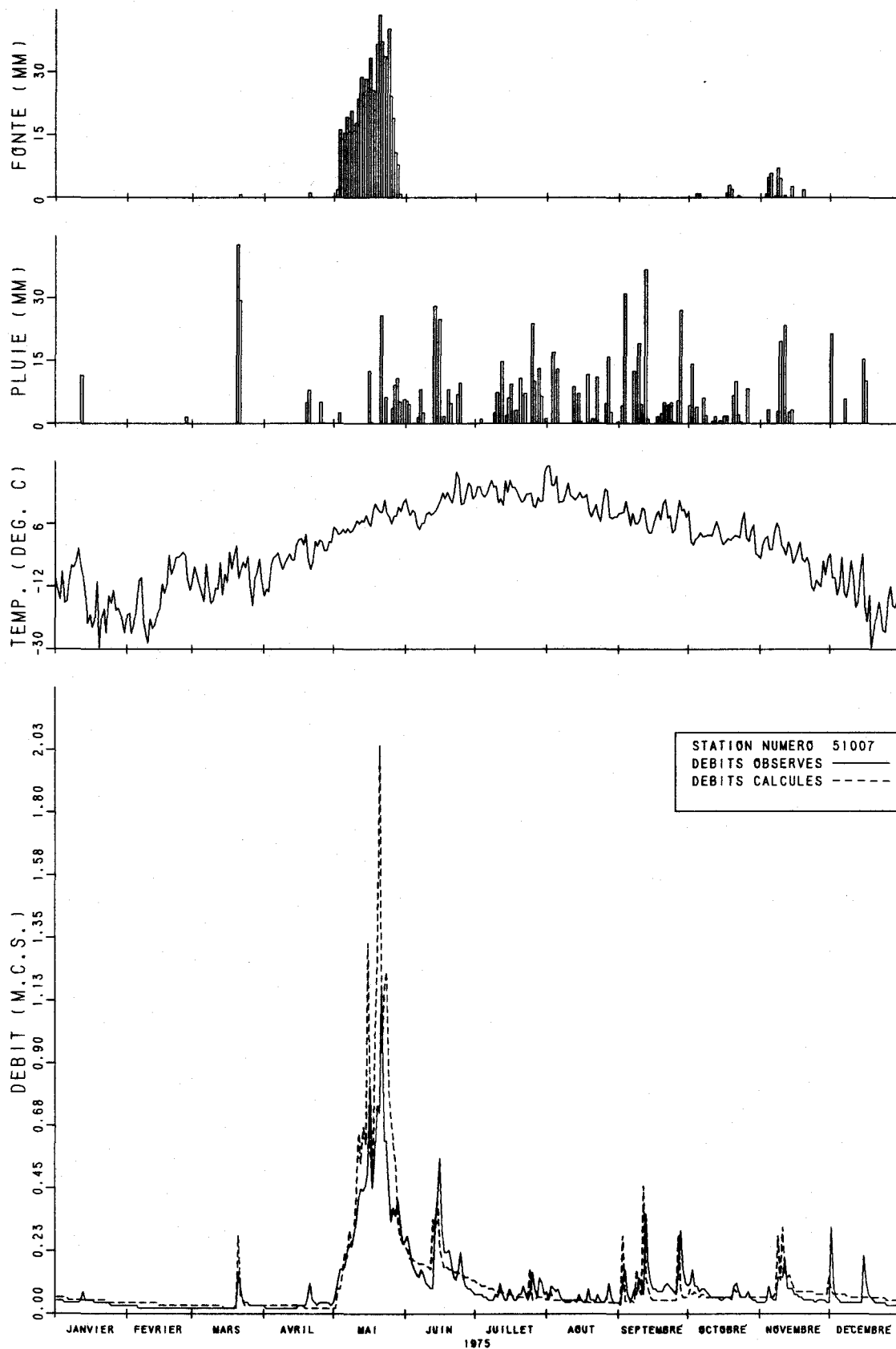


FIGURE 3.32. DEBIT OBSERVES ET CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DES AULNAIES

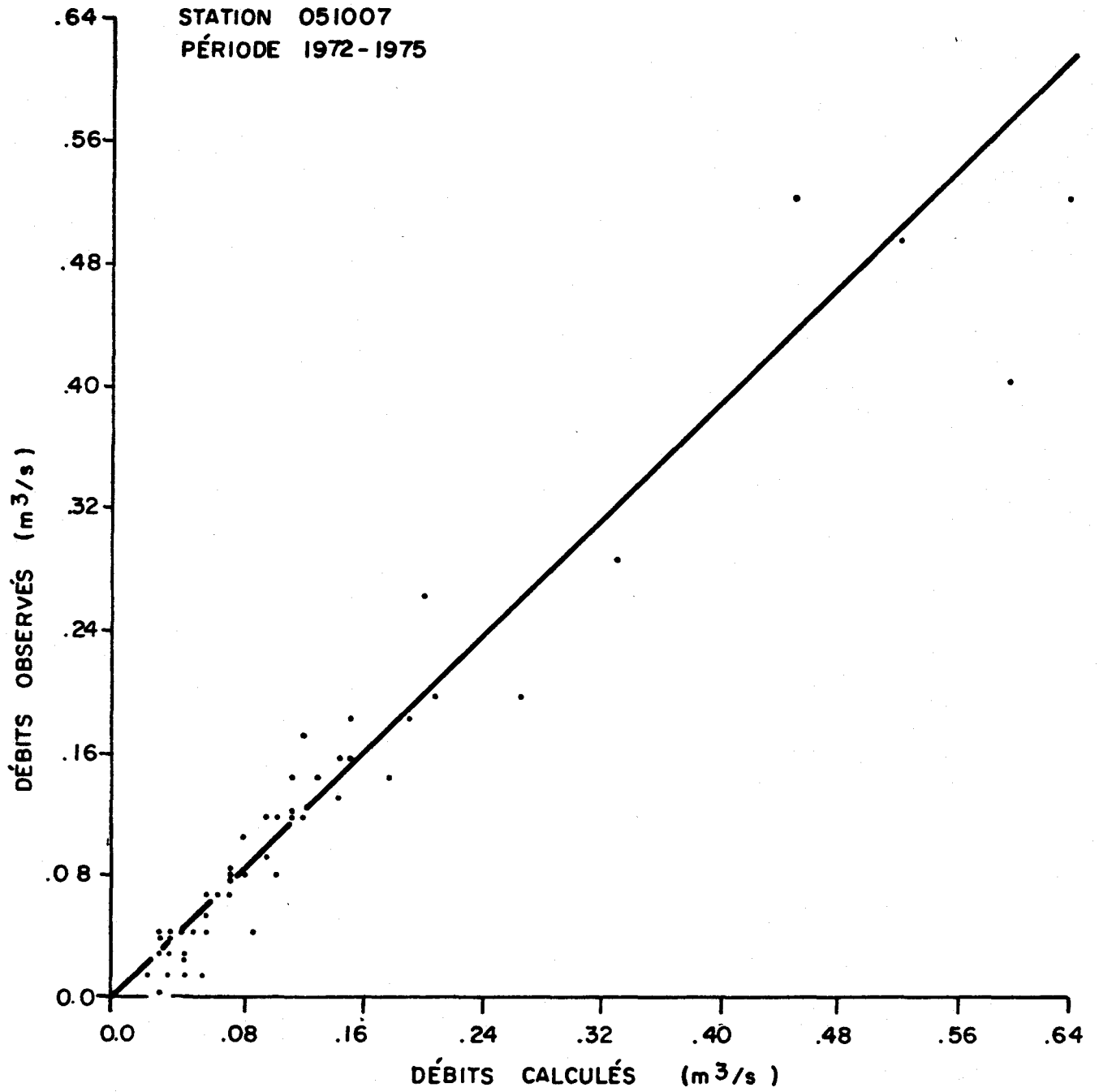


FIGURE 3.33 Débits moyens mensuels observés et calculés, station 051007.

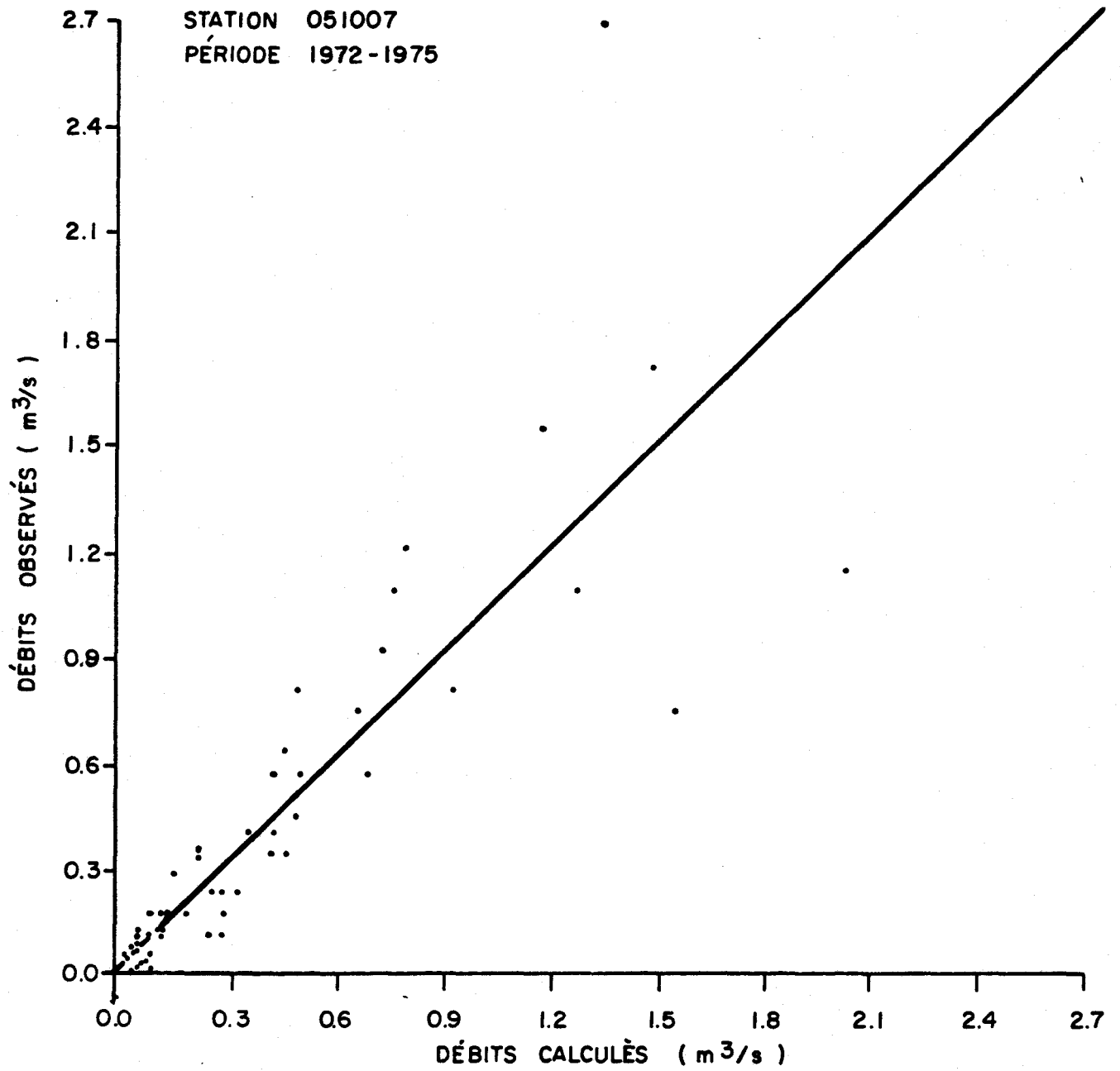


FIGURE 3.34 Débits journaliers maximaux mensuels observés et calculés, station 051007.

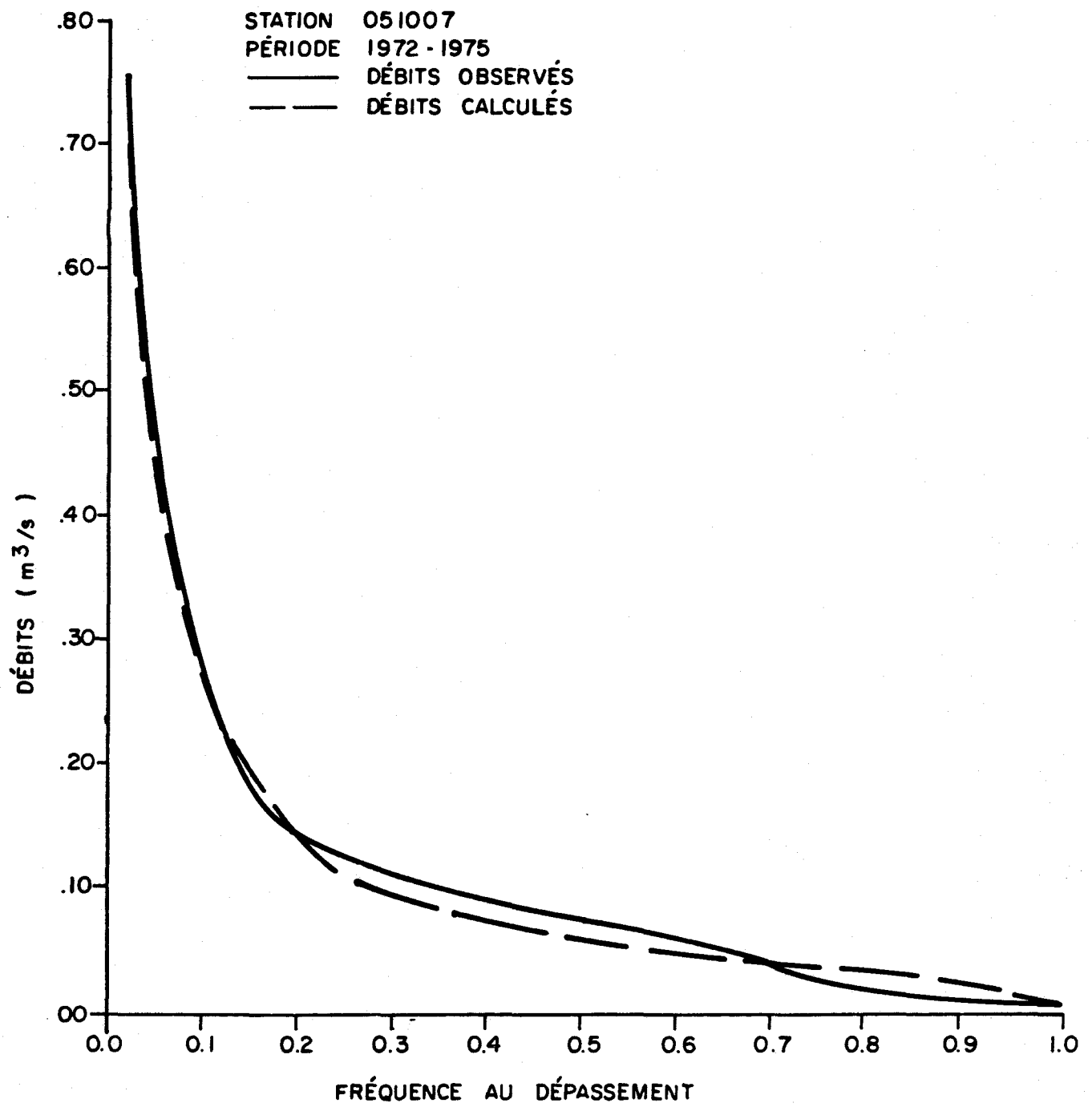


FIGURE 3.35 Débits journaliers, observés et calculés, classés, station 051007.

## RÉFÉRENCES

- [1] Bassin expérimental - Forêt Montmorency. Analyse des données hydrologiques 1965-1969. Ministère des Richesses naturelles 1970, D.H.Q.-8.
- [2] CHARBONNEAU, R., FORTIN, J.P., MORIN, G., POTVIN, L., SOCHANSKA, W. (1977). Simulation des débits de la rivière Eaton. INRS-Eau, rapport scientifique no 87, 83 p. (Pour Environnement Canada).
- [3] MORIN, G., FORTIN, J.P., LARDEAU, J.P., SOCHANSKA, W. (1979). Modèle CEQUEAU: manuel d'utilisation. INRS-Eau, rapport scientifique no 93, 362 p.