

**Record Number:** 720  
**Author, Monographic:** Charbonneau, R.//Morin, G.//Villeneuve, J. P.//Ledoux, E.//Levassor, A.  
**Author Role:**  
**Title, Monographic:** Simulation des débits : l'orne, la dives, la seullles  
**Translated Title:**  
**Reprint Status:**  
**Edition:**  
**Author, Subsidiary:**  
**Author Role:**  
**Place of Publication:** Québec  
**Publisher Name:** INRS-Eau  
**Date of Publication:** 1976  
**Original Publication Date:**  
**Volume Identification:**  
**Extent of Work:** 79  
**Packaging Method:** pages  
**Series Editor:**  
**Series Editor Role:**  
**Series Title:** INRS-Eau, Rapport de recherche  
**Series Volume ID:** 72  
**Location/URL:**  
**ISBN:** 2-89146-023-5  
**Notes:** Rapport annuel 1976-1977  
**Abstract:** Rapport de coopération franco-québécoise C.I.G. - INRS-Eau  
15.00\$  
**Call Number:** R000072  
**Keywords:** rapport/ ok/ dl

**COOPERATION**  
**FRANCO-QUEBECOISE**

**SIMULATION DES DEBITS**  
**L'ORNE**  
**LA DIVES**  
**LA SEULLES**

**PAR**

**INRS-EAU**  
**R. CHARBONNEAU**  
**G. MORIN**  
**J.-P. VILLENEUVE**

**C.I.G.**  
**E. LEDDUX**  
**A. LEVASSOR**

**DEC. 1976**

Simulation des débits:  
l'Orne, la Dives, la Seulles

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 72  
1976

Rapport de  
coopération franco-québécoise

par  
R. Charbonneau, G. Morin, J.P. Villeneuve, E. Ledoux, A. Levassor

## TABLE DES MATIERES

	Page
CHAPITRE 1. INTRODUCTION .....	3
CHAPITRE 2. MODELE CEQUEAU .....	5
2.1 Fonction de production .....	9
2.1.1 Précipitations et température .....	14
2.1.2 Fonte des neiges.....	16
2.1.3 Evapotranspiration.....	17
2.1.4 Vidange du réservoir sol.....	18
2.1.5 Vidange et recharge de la nappe profonde.....	18
2.1.6 Vidange des lacs.....	19
2.2 Fonction de transfert.....	20
2.2.1 Coefficient de transfert.....	20
CHAPITRE 3. DESCRIPTION DES BASSINS DE L'ORNE, DE LA DIVES ET DE LA SEULLES .....	22
3.1 Le bocage .....	25
3.2 La plaine de Caen .....	25
3.3 Les collines à l'est de la Dives.....	26

	Page
CHAPITRE 4. DONNEES POUR LE MODELE DE SIMULATION .....	29
4.1 Données physiographiques .....	30
4.2 Données sur le drainage.....	31
4.3 Données météorologiques.....	34
4.4 Données hydrométriques.....	34
CHAPITRE 5. RESULTATS DE LA SIMULATION DES DEBITS .....	38
5.1 Calage du modèle sur l'Orne .....	42
5.2 Simulation de l'Orne.....	43
5.2.1 l'Orne à Rabodanges .....	43
5.2.2 l'Orne à Grimbosq.....	50
5.2.3 l'Orne à Caen.....	57
5.3 Le bassin de la Dives .....	57
CHAPITRE 6. CONCLUSION .....	77

**CHAPITRE -1-**

**INTRODUCTION**

## 1- INTRODUCTION

Au mois de janvier 1976 a débuté le projet de coopération franco-québécoise intitulé "Application de modèles mathématiques et développement conjoint d'un modèle combiné couplé hydrologie de surface - hydrogéologie".

Dans la première phase de ce projet, il est prévu d'appliquer le modèle mathématique CEQUEAU pour la simulation des débits en rivière d'un bassin de drainage en France.

C'est à la suite d'une étude effectuée par le Centre Informatique Géologique de Fontainebleau sur les bassins de l'Orne, de la Seulles et de la Dives, qu'on a décidé d'utiliser ces trois rivières pour appliquer le modèle CEQUEAU du Québec.

Le but poursuivi par cette application est de démontrer l'efficacité de la transposabilité du modèle, ainsi que sa capacité à simuler les débits de bassins de caractéristiques hydrographiques différentes.

Comme but secondaire, il s'agit de familiariser les membres du C.I.G. à l'utilisation du modèle CEQUEAU; ce modèle étant complexe et difficile à manipuler, il est donc essentiel de faire des applications pour en bien maîtriser la mise en oeuvre.

Dans le cadre de la présente étude, on simule principalement les débits de l'Orne, après avoir appliqué le modèle sans modifications des paramètres fixés lors d'une simulation d'une rivière du Québec (Harricana).

**CHAPITRE -2-**  
**MODELE CEQUEAU**

## 2- MODELE CEQUEAU

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

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

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

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

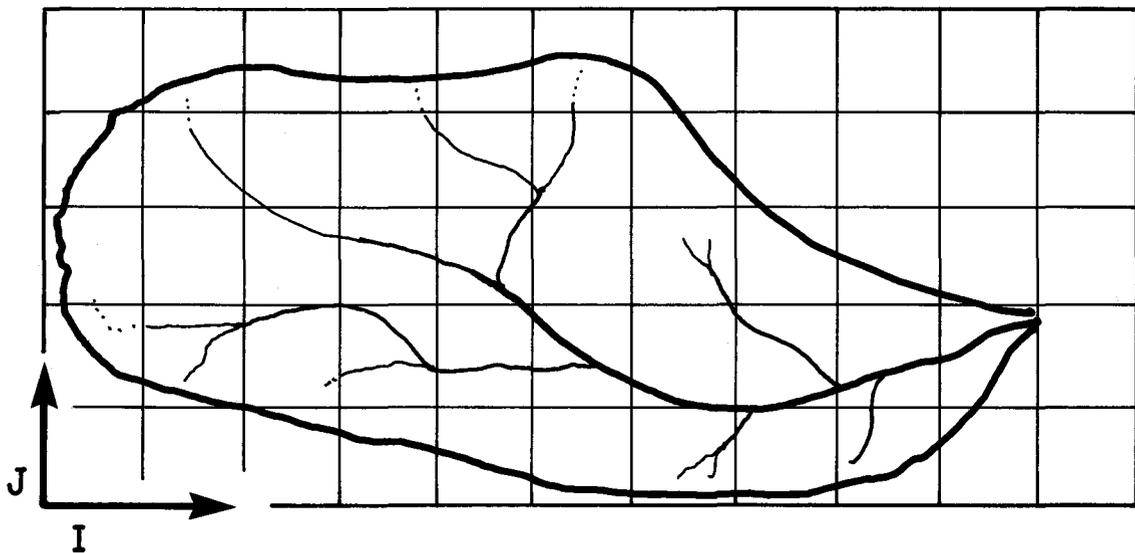


FIGURE 2.1 Création des "carreaux entiers" par superposition d'une grille sur la région étudiée.

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

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

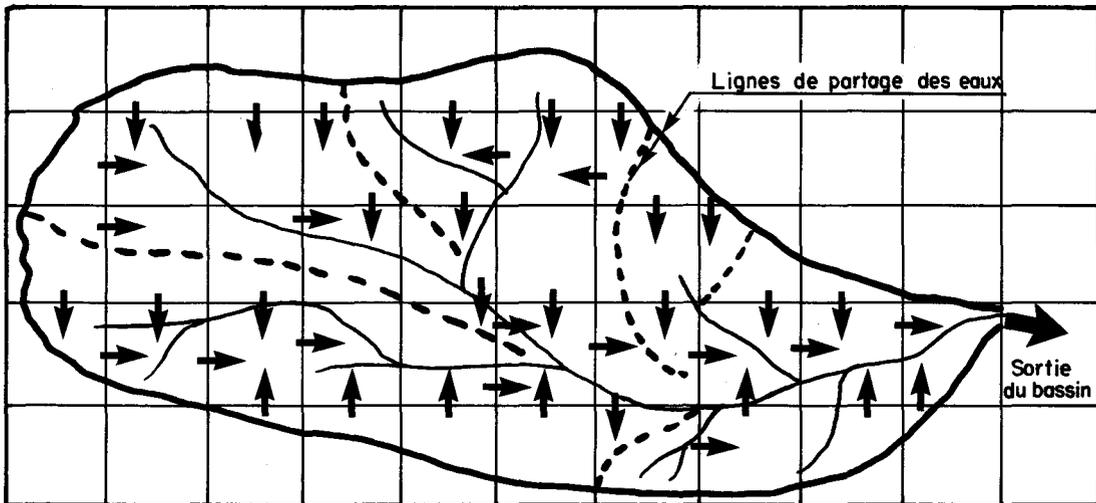


FIGURE 2.2 Subdivisions des carreaux entiers en "carreaux partiels" en fonction des sous-bassins.

Ces deux découpages permettent au modèle hydrophysiographique CEQUEAU de:

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

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

De façon générale, le modèle relie le comportement hydrologique aux caractéristiques physiographiques des bassins étudiés.

## 2.1 Fonction de production

Les sources d'alimentation en eau atmosphérique du bassin sont les pluies et la neige. L'eau provenant des pluies est en principe directement disponible pour les opérations de transformation conduisant aux débits. Pour la neige, il est nécessaire de définir en outre un modèle de fonte.

Quelle que soit l'origine de l'eau atmosphérique entrant ainsi dans un carreau, avant sa mise à disponibilité pour l'écoulement et en fonction des conditions antécédentes de réserve, cette eau sera soumise à divers processus physiques qui auront une influence directe sur la formation de l'onde d'écoulement. La figure 2.3 schématise un tel ensemble du processus qui est considéré comme la fonction de production.

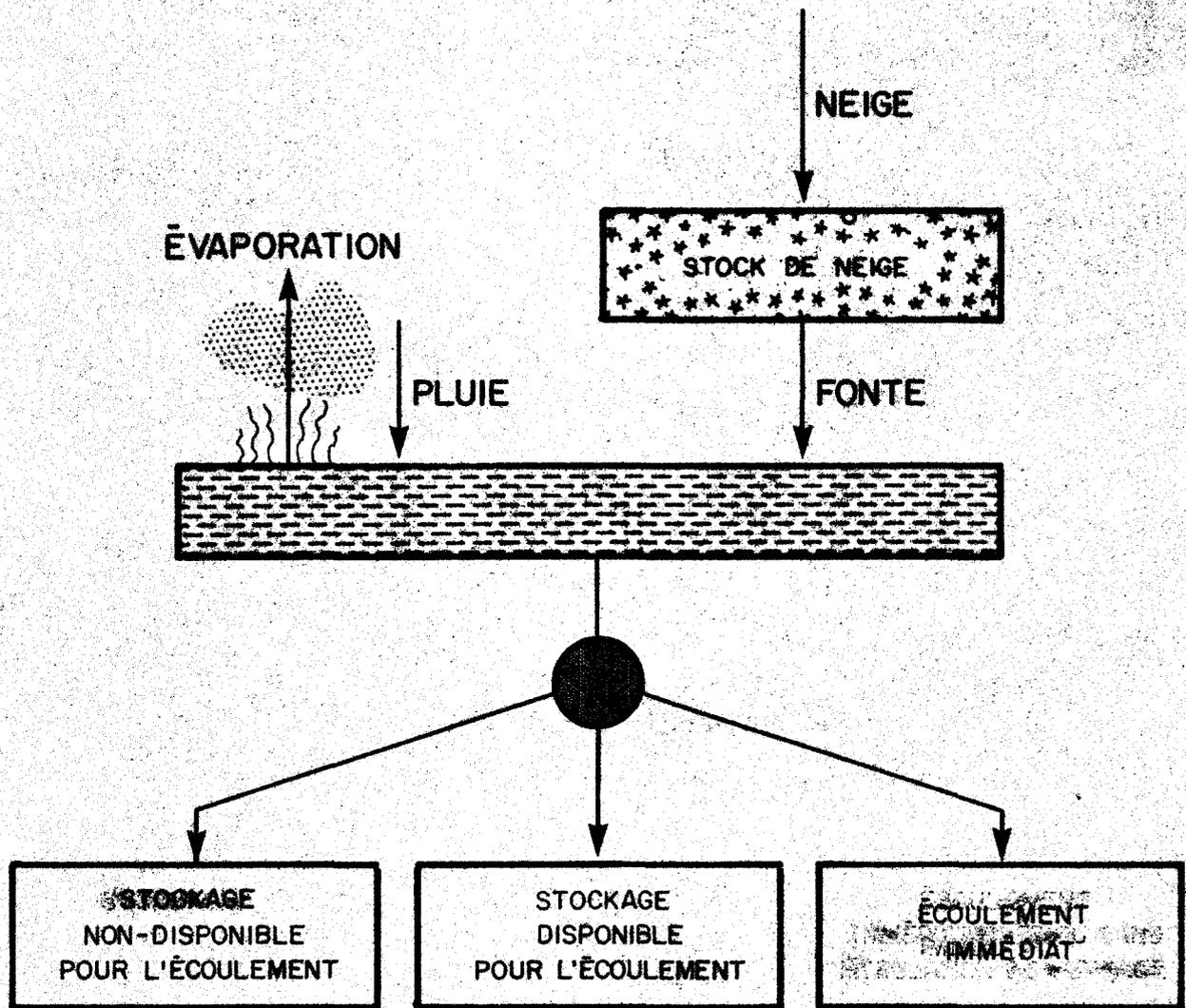


Figure 2.3 Schéma général de la "fonction production"

Les paramètres de cette fonction sont déduits des caractéristiques physiographiques par des lois simples, représentatives du phénomène physique. L'expérience acquise dans l'étude des bassins versants représentatifs et expérimentaux a grandement facilité la schématisation de la fonction pour qu'elle réponde à tous les cas possibles et a permis l'évaluation expérimentale de ces lois (Girard, Morin et Charbonneau, 1972).

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

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

$$\sum_{t_0}^{t_1} P_t = \sum_{t_0}^{t_1} ET_t + \sum_{t_0}^{t_1} Q_t$$

$$+(HS_{t_1} - HS_{t_0}) + (HN_{t_1} - HN_{t_0})$$

où:

P = précipitation (cm);

ET = évapotranspiration (cm);

Q = débit issu des zones superficielles ou profondes ( $m^3/sec$ );

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

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

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

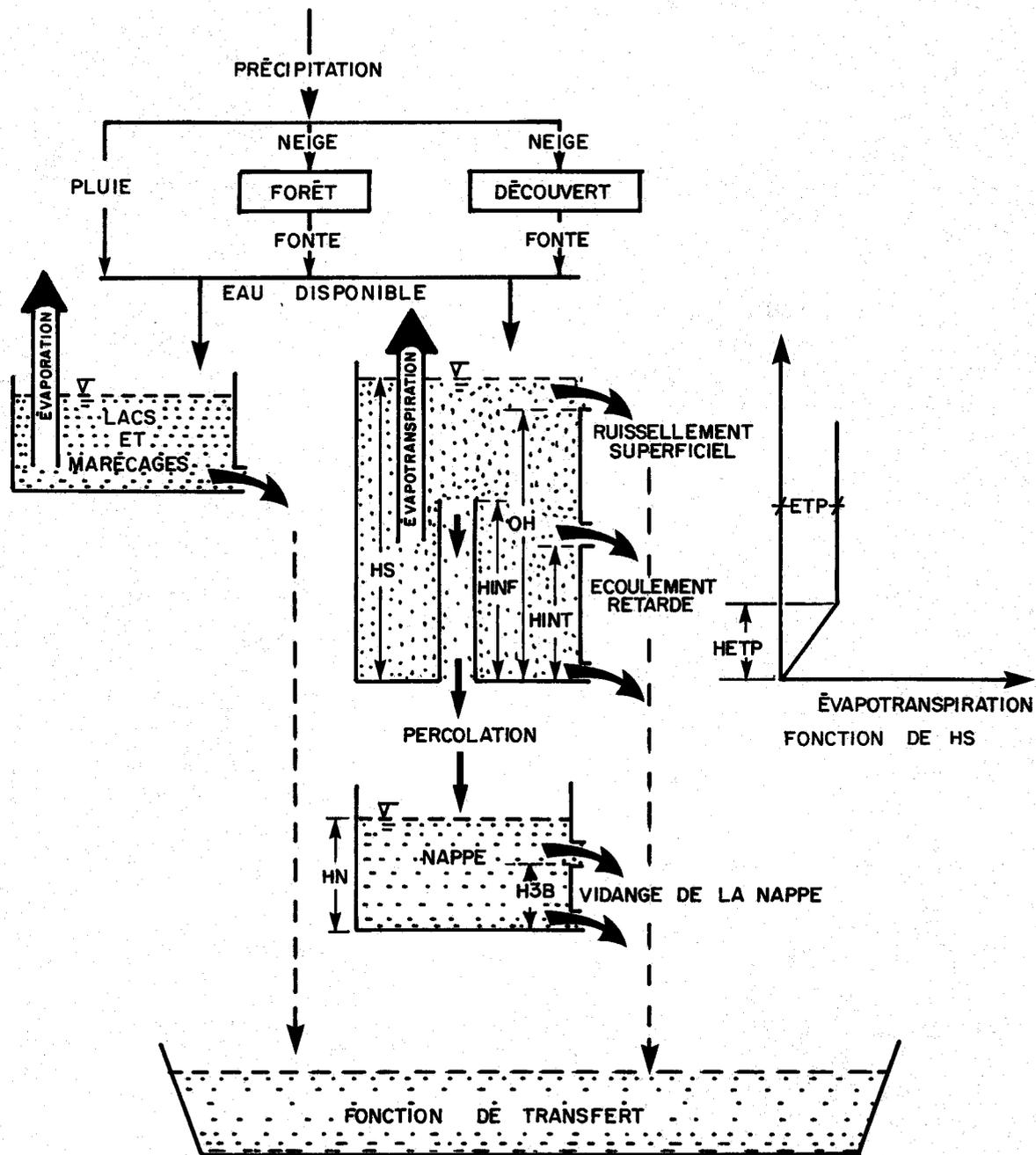


Figure 2.4 Schéma de production

### 2.1.1 Précipitations et température

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

Pour effectuer cette évaluation, on dispose au choix de deux méthodes. La première consiste en une adaptation de la méthode des polygones de Thiessen. Dans la seconde, l'estimation des variables météorologiques sur chacun des carreaux entiers résulte de la pondération en fonction de la distance des valeurs observées aux  $n$  ( $n=1,2,3\dots$ ) stations météorologiques les plus rapprochées.

Dans les deux cas, l'affectation se fait de façon automatique. Enfin, aux valeurs ainsi obtenues, il y a lieu d'ajouter algébriquement une correction en fonction des différences d'altitude entre la ou les stations et l'altitude du carreau.

#### Précipitations

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

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

Au début de la période de fonte, nous tenons compte de deux phénomènes principaux qui retardent la disponibilité immédiate de l'eau de fonte: d'abord, le réchauffement du stock de neige jusqu'à une température voisine d'un seuil de transformation; ensuite, le mûrissement du stock, qui se traduit par une augmentation graduelle de sa densité.

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

$$T^0_{\text{stock } j} = (T^0_{\text{stock } j-1}) \times \text{coef} + T^0_{\text{air}} \times (1-\text{coef})$$

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

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

### Température de l'air

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

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

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

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

#### 2.1.2 Fonte des neiges

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

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

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

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

### 2.1.3 Evapotranspiration

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

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

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

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

- où: ETP = évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite (pouce);  
 T = température moyenne de la journée considérée (<sup>0</sup>F);  
 A = un exposant calculé à l'aide de l'indice thermique annuel I;  
 HEURE = un facteur pour tenir compte de la durée moyenne d'ensoleillement selon le jour et la latitude du point considéré est calculée par l'équation:  
 $\text{arc cos} (-\tan (\text{arc sin} (.41 \times \sin (.0172 \times (J-80)))))) \times \frac{TAPHI}{1.57}$

où:

$$J = 1,2,3, \dots, 365; \quad \text{et}$$
$$TAPHI = \tan (\text{latitude}).$$

Une fois l'ETP déterminée, on entre dans le schéma de production où l'évapotranspiration réelle est pondérée en fonction du stock d'eau disponible dans le réservoir-sol.

#### 2.1.4 Vidange du réservoir sol

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

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

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

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

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

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

où:

XINF = coefficient d'infiltration;

HINF = seuil d'infiltration;

HS = niveau du réservoir sol.

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

#### 2.1.6 Vidange des lacs

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

$$HL = P - E$$

où;

HL = la hauteur de la retenue;

P = la pluie;

E = l'évaporation potentielle.

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

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

où:

V = vidange du lac;

HSEUIL = niveau en dessous duquel il n'y a pas de vidange;

COEMA = coefficient de vidange des lacs.

## 2.2 Fonction de transfert

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

Donc, en partant de l'aval et en remontant vers l'amont du bassin, le même processus de formation de l'écoulement sera appliqué à chaque carreau partiel successif. A chaque pas de temps et pour chaque carreau partiel, sera réalisé le bilan en eau suivant:

Stock initial + apport direct (production) + apports provenant du ou des carreaux partiels en amont du carreau partiel considéré = stock disponible avant le transfert.

Stock final = stock disponible avant le transfert - stock transféré à l'aval (fonction du coefficient de transfert).

### 2.2.1 Coefficient de transfert

Le coefficient de transfert d'un carreau partiel à l'autre est variable avec les caractéristiques mêmes du carreau.

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

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

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

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

où:

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

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

a et b = paramètre d'ajustement.

Si un lac recouvre plus d'un carreau, on alloue la surface totale du lac au carreau contenant l'exutoire.

Cette technique consiste à concentrer la superficie d'un grand lac sur le carreau partiel le plus en aval de ce lac. Souvent, les lacs chevauchent deux ou plusieurs carreaux partiels de telle sorte que la banque de données physiographiques ne permet pas de tenir compte globalement et à priori de l'influence de ces lacs. Il est donc nécessaire de les restructurer dans la banque en concentrant toute la superficie du lac sur un seul carreau ce qui a pour effet d'accélérer le transfert sur les carreaux amputés et de le diminuer sur le carreau le plus en aval du lac.

**CHAPITRE -3-**  
**DESCRIPTION DES BASSINS**  
**DE L'ORNE, LA DIVES**  
**ET LA SEULLES.**

### 3- DESCRIPTION DES BASSINS

Les bassins de l'Orne, de la Dives et de la Seulles, qui déversent leurs eaux dans la Manche (figure 3.1), sont situés au nord-ouest de la France, à la limite septentrionale du bassin parisien et du massif armoricain. A cette limite, existe une mince bande de calcaire localement très perméable qui retient d'importantes réserves d'eau souterraine.

L'agglomération de Caen doit son remarquable développement industriel à l'abondance des ressources en eau. Cependant, l'utilisation excessive de cette ressource risque d'altérer à moyen terme la qualité des eaux (problème de salinité) et de surexploiter des nappes souterraines relativement sensibles. De plus, on dispose dans les rivières de quantités d'eau qui pourraient être utilisées pour des usages spécifiques et qui ne le sont pas. C'est la recherche d'une meilleure utilisation des ressources existantes qui conduit à préciser la connaissance des régimes naturels des nappes et des écoulements de surface.

C'est dans le but d'augmenter cette connaissance que la mise en oeuvre de modèles de simulation est apparue nécessaire. En effet, ces modèles permettent de prendre en compte toutes les informations existantes, de vérifier leur cohérence et d'établir une représentation globale de la circulation de l'eau sur le bassin simulé. Cette connaissance globale permet ensuite d'envisager, sur une base rationnelle, la gestion des ressources en eau.

On peut considérer la zone des bassins versants de l'Orne, de la Dives et de la Seulles, comme étant formée de trois types de terrains nettement distincts (figure 3.1): le bocage, la plaine de Caen et les collines à l'est de la Dives.

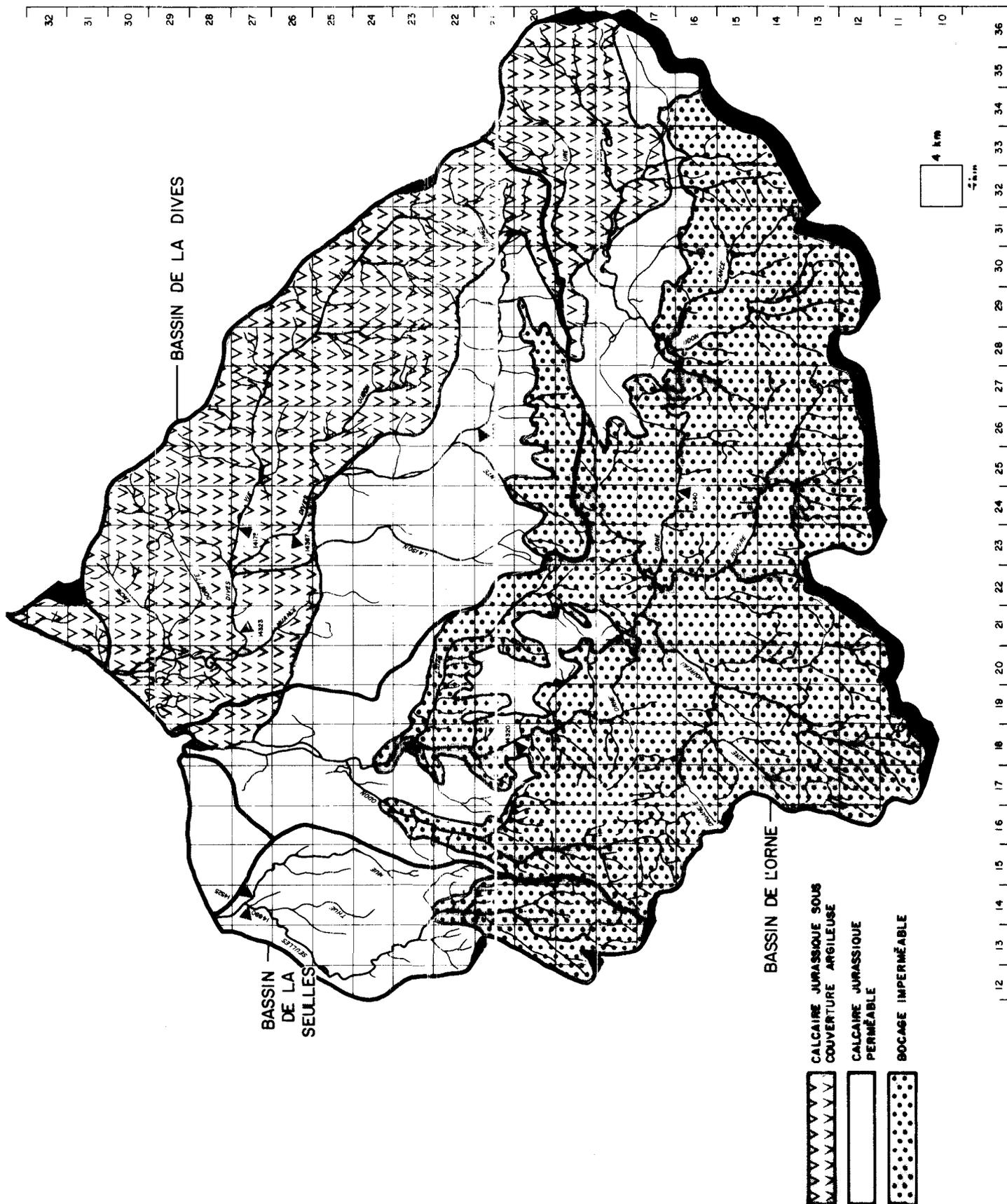


FIGURE 3.1

### 3.1 Le bocage

Le bocage correspond aux affleurements de formations plissées et métamorphisées antétriasiques, caractéristiques du massif armoricain. Cette région est imperméable, sauf sur une mince pellicule d'altérations.

Un abondant réseau hydrographique s'est développé et est drainé par l'Orne. Le bocage occupe la partie amont du bassin de la Seulles et une très grande partie du bassin de l'Orne.

### 3.2 La plaine de Caen

Dans cette plaine affleurent, sous un dépôt d'alluvions modernes, les terrains calcaires du jurassique moyen. Le niveau des marnes de Port en Bessin séparant le Bathonien du Bajocien donne à ces calcaires une structure multicouche. Les terrains sont extrêmement perméables dans les vallées (ou les dépressions topographiques, vallée sèche) par opposition aux plateaux où la fissuration est moins accentuée.

Les nappes d'eau souterraines, particulièrement abondantes, sont exploitées de façon intensive pour couvrir les besoins croissants de la ville de Caen.

Du point de vue hydrographique, le réseau de drainage est très faible. Les possibilités de ruissellement n'existent qu'au niveau des affleurements des marnes de Port en Bessin.

### 3.3 Les collines à l'est de la Dives

Dans cette région, les calcaires du Jurassique moyen disparaissent sous des reliefs constitués:

- de la série des argiles imperméables du Callovien-Oxfordien;
- des calcaires aquifères du Cénomaniens qui les surmontent.

Au contact calcaires-argiles, prennent naissance d'assez nombreuses sources. La basse vallée de la Dives est une zone de marécages. Les dépôts alluvionnaires récents reposent sur un substratum imperméable de marne callovienne. Le réseau de drainage est extrêmement dense, et rend très compliqué la connaissance des écoulements hydrologiques dans cette région.

La partie amont du bassin de la Dives se partage à peu près également entre le calcaire jurassique et la marne callovienne. Les calcaires y sont cependant moins perméables que dans la région de Caen.

Dans le tableau 3.1, on a résumé les caractéristiques lithologiques des bassins versants de l'Orne et de la Dives. Dans la figure 3.2, on a donné quelques paramètres caractérisant l'état actuel des connaissances sur le régime d'étiage pour quelques-unes des stations de l'Orne et de la Dives.

TABLEAU 3.1: CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS  
DE L'ORNE ET DE LA DIVES

Stations de jaugeages	Rivière	Surface en km <sup>2</sup>	Surface en % de la surface totale du B.V.				Pluviosité moyenne annuelle en mm.
			Terrains imperm.	Calcaires	Alluvions	Craies	
Grimbosq	Orne	2.230	89	9	--	2	867
Rabodanges	Orne	1.000	78	18	--	4	830
Perigny (Valmérienne)	Druance	92,5	100	--	--	--	1.012
Le Ham	Dives	1.330	46	51	3	--	738
Corbon	Vie	434	43	54	3	--	755
Beumais	Dives	287	45	55	--	--	735
Croissanville	Laison	146	7	93	--	--	762
Argences	Muance	93	13	87	--	--	732
Criqueville en Auge	Andre	57	75	10	15	--	797
Victot- Pontfol	Dorette	43	65	22	13	--	795

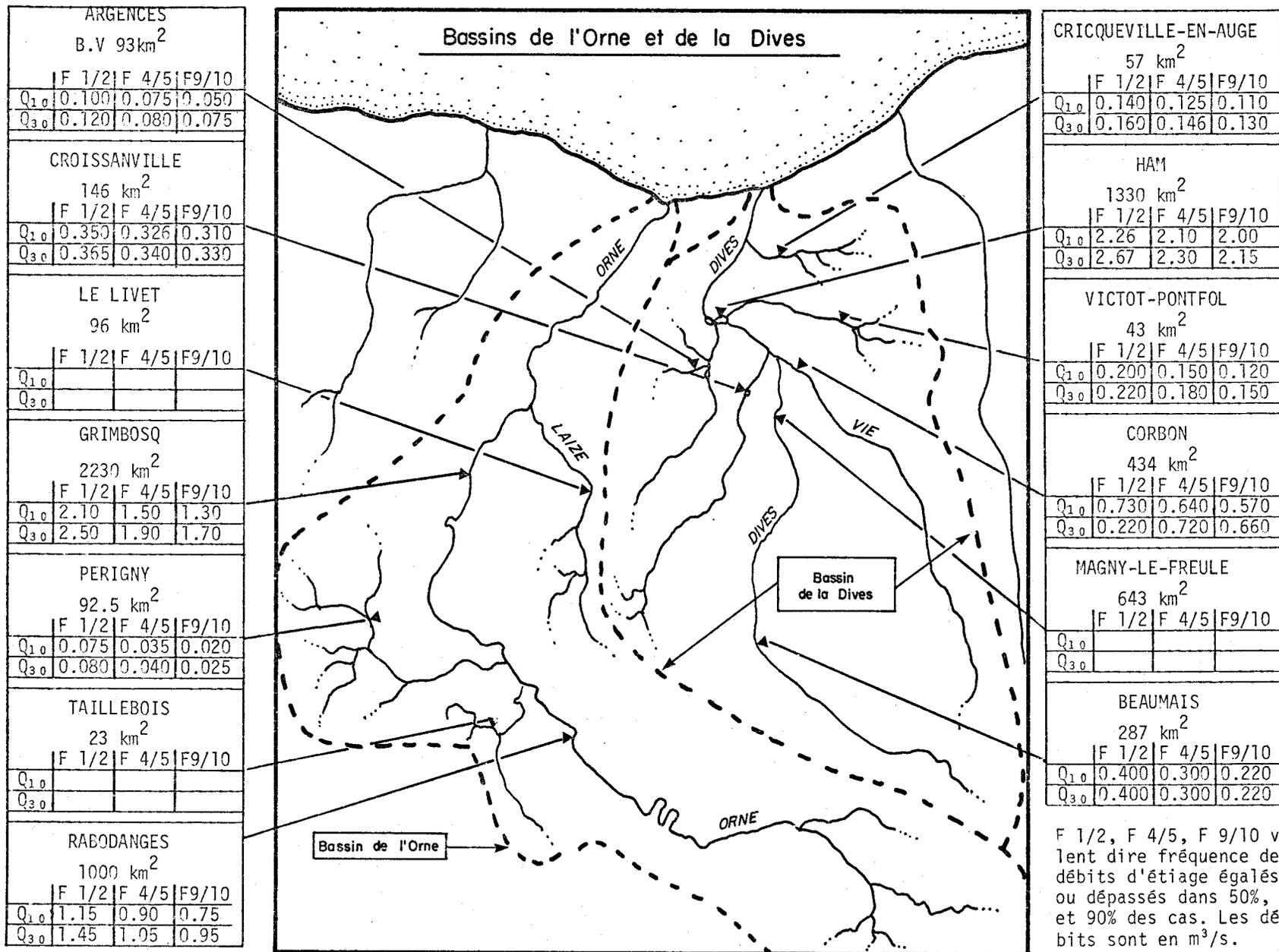


Figure 3.2.

**CHAPITRE -4-**

**DONNEES POUR LE MODELE**

**DE SIMULATION**

#### 4- DONNEES POUR LE MODELE

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

- a- physiographiques;
- b- de drainage;
- c- météorologiques.

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

##### 4.1 Données physiographiques

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

Dans le cas de la présente étude, on a choisi une grille de 4 km par 4 km, et les données physiographiques qui ont été utilisées sont les suivantes:

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

Ces données ont été extraites à partir d'une carte topographique à l'échelle de 1:100 000 sur laquelle on avait tracé la grille déterminant les carreaux.

#### 4.2 Données de drainage

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

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

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

La figure 4.1 représente les réseaux de drainage des trois bassins versants. C'est à partir de cette représentation et de la topographie que l'on a déterminé le sens d'écoulement d'un carreau partiel vers un autre. Le résultat de cette schématisation de l'écoulement apparaît à la figure 4.2.

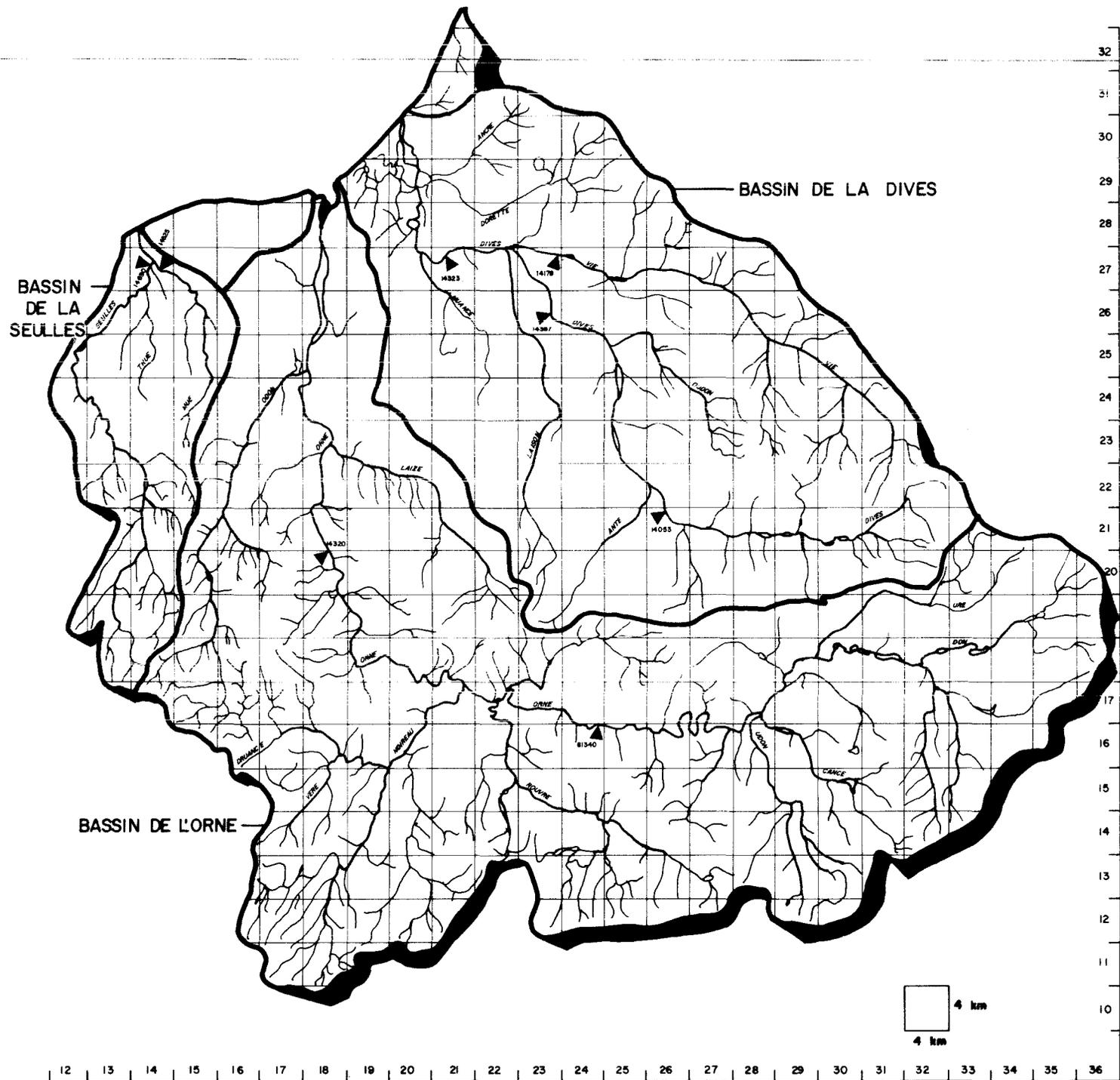


FIGURE 4.1

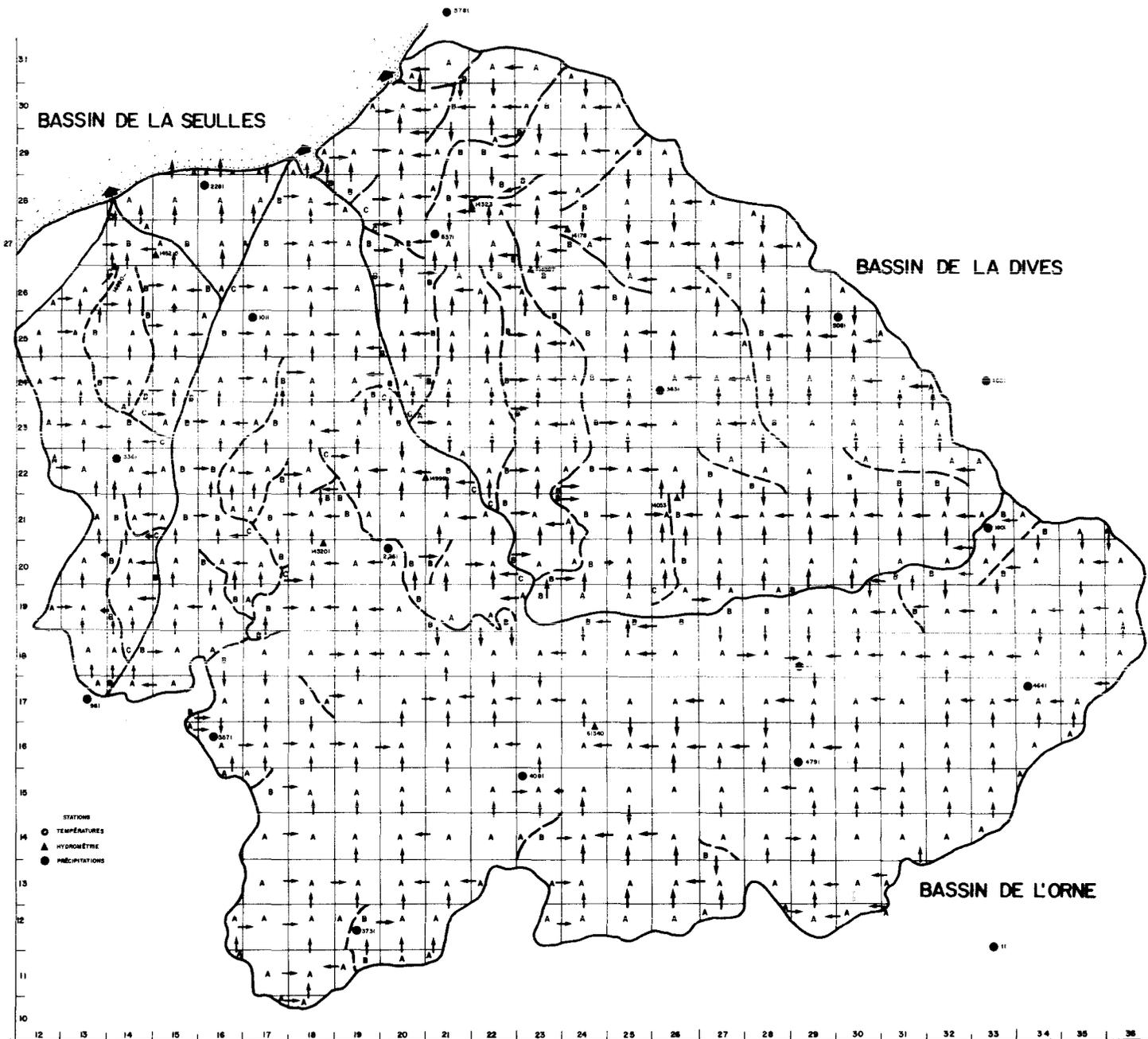


FIGURE 4.2

### 4.3 Données météorologiques

Le modèle étant la fonction qui transforme la précipitation en débit, on doit considérer les données de précipitation comme l'entrée directe du modèle. Cette donnée varie journallement et c'est d'elle que dépend la modulation du débit.

Après une étude des différentes stations météorologiques existantes sur le bassin, et compte tenu de la disponibilité des données, on a effectué un premier choix de stations. Parmi ces stations, on a retenu celles dont les observations étaient concomitantes et présentaient peu d'absence. Cette sélection se traduit par l'ensemble des dix-neuf stations dont la liste est donnée au tableau 4.1.

De ces dix-neuf stations, quatre seulement recueillent des mesures de température en plus des mesures de précipitation.

### 4.4 Données hydrométriques

Ces données sont utilisées pour comparer les résultats obtenus par simulation pour la même période.

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

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

Lorsque le calage est effectué et que l'on dispose de données supplémentaires, on les utilise à titre de données de vérification de la qualité du calage établi.

Les observations de débit disponibles pour les rivières Orne, Seulles et Dives sont résumées dans le tableau 4.2.

TABLEAU 4.1

## DONNEES METEOROLOGIQUES

## Données pluviométriques

NO.	NOM	PERIODE						RESEAU
		67	68	69	70	71	72	
471	Bayeux							Base
961	Bremoy							Base
2261	Donnay							Complémentaire
2281	Douvres							Base
3631	Lieury							Complémentaire
5781	Deauville							Base
6371	St-Ouen							Complémentaire
11	Alençon							Complémentaire
1901	Ginai							Base
3771	St-Cornier*							Base
4601	Le Sap							Base
4641	Sees							Base
4791	Tanques							Base
5081	Vimoutiers							Complémentaire
1011	Bretteville							Complémentaire
3361	Hottot-L-B							Complémentaire
3571	Lassy							Complémentaire
4081	St-Honorine							Complémentaire
61	Argentan							Base

## Données de Température

	Deauville							Base
	Caen							Base
	Alençon							Complémentaire

\* Données de cette station non utilisées parce qu'hétérogènes par rapport aux données des autres stations.

TABLEAU 4.2

DONNEES HYDROMETRIQUES

RIVIERE	NOM	NO.	B.V. KM <sup>2</sup>	PERIODE					
				67	68	69	70	71	72
ORNE	Rabodanges	61340	1000	-----					
	Grimbosq	14320	2230	-----					
SEULLES	Reviars	14525	95						
	Tierceville	14690	254						-----
DIVES	Le Ham	14323	1330						-----
	Magny Le Freule	14387	643					+	-----
	Corbon	14178	434					+	-----
	Beaumais	14053	287				+	-----	

**CHAPITRE -5-**  
**RESULTATS DE LA**  
**SIMULATION DES DEBITS**

## 5- SIMULATION DES DEBITS

Les constantes de calage du modèle CEQUEAU, qui ont été utilisées pour la première simulation de l'Orne, sont celles qui avaient été déterminées pour la simulation des débits de la rivière Harricana. Cette rivière possède un bassin peu accidenté, d'une surface de 3700 kilomètres carrés, et est située dans le nord-ouest du Québec à la latitude 49° nord.

Cette transposition brutale est possible et se justifie par le fait que différents paramètres du modèle s'ajustent automatiquement en fonction des caractéristiques propres à chaque bassin.

Les premiers résultats obtenus lors de cette simulation (figures 5.1 et 5.2), montrent une concordance satisfaisante pour les premiers mois de l'année et une mauvaise simulation de la première crue d'automne. Cette situation peut s'expliquer par une trop faible capacité d'emmagasinement dans la première tranche du sol, ce qui implique une faible disponibilité pour l'évaporation. Quant à la surestimation des débits d'étiages, elle est due à la trop grande capacité de la réserve profonde du modèle.

Ces résultats étaient prévisibles étant donné les différences hydrogéologiques des deux bassins versants. C'est d'ailleurs à partir de cette première simulation que commence le calage du modèle.

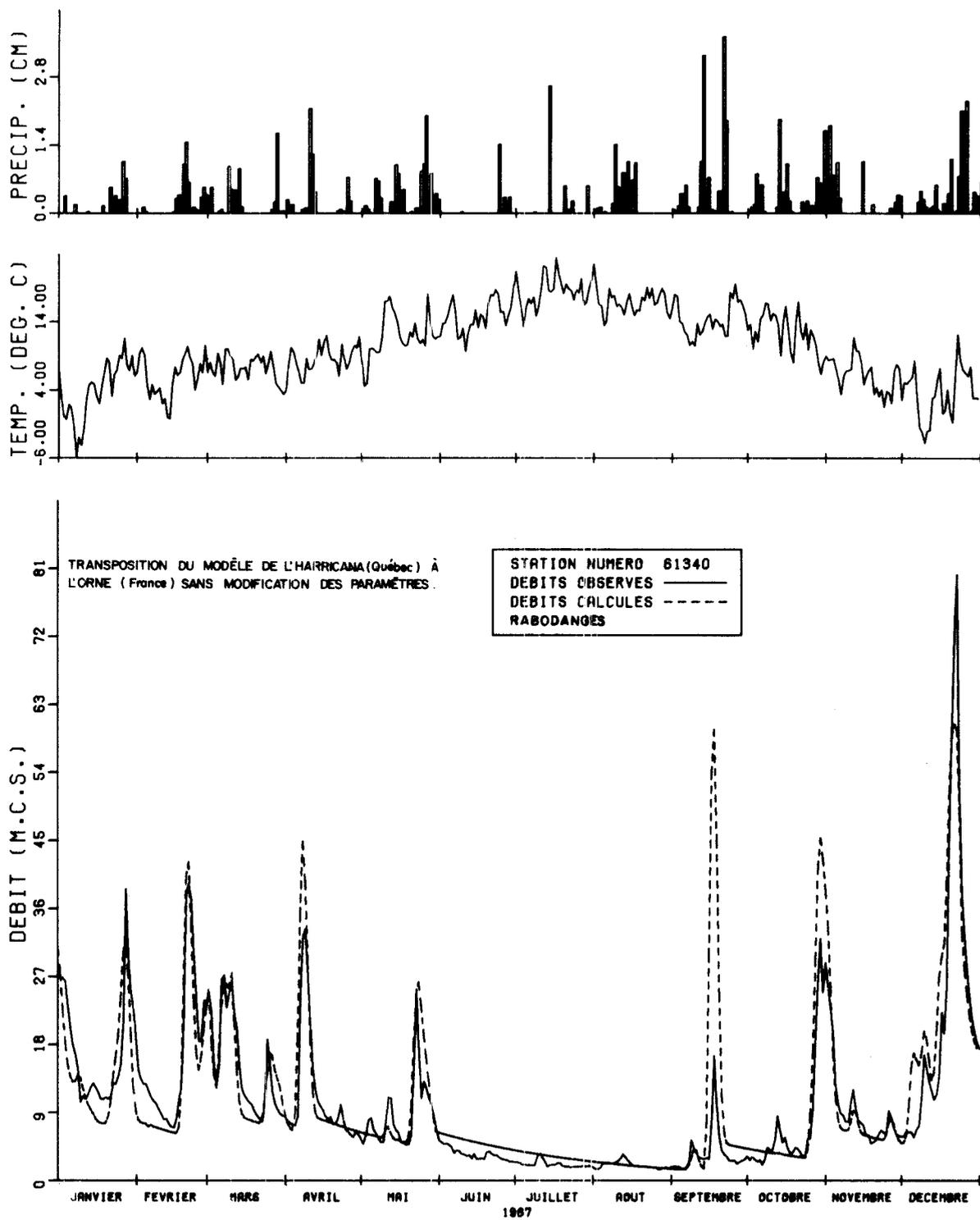


FIGURE 5. 1. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

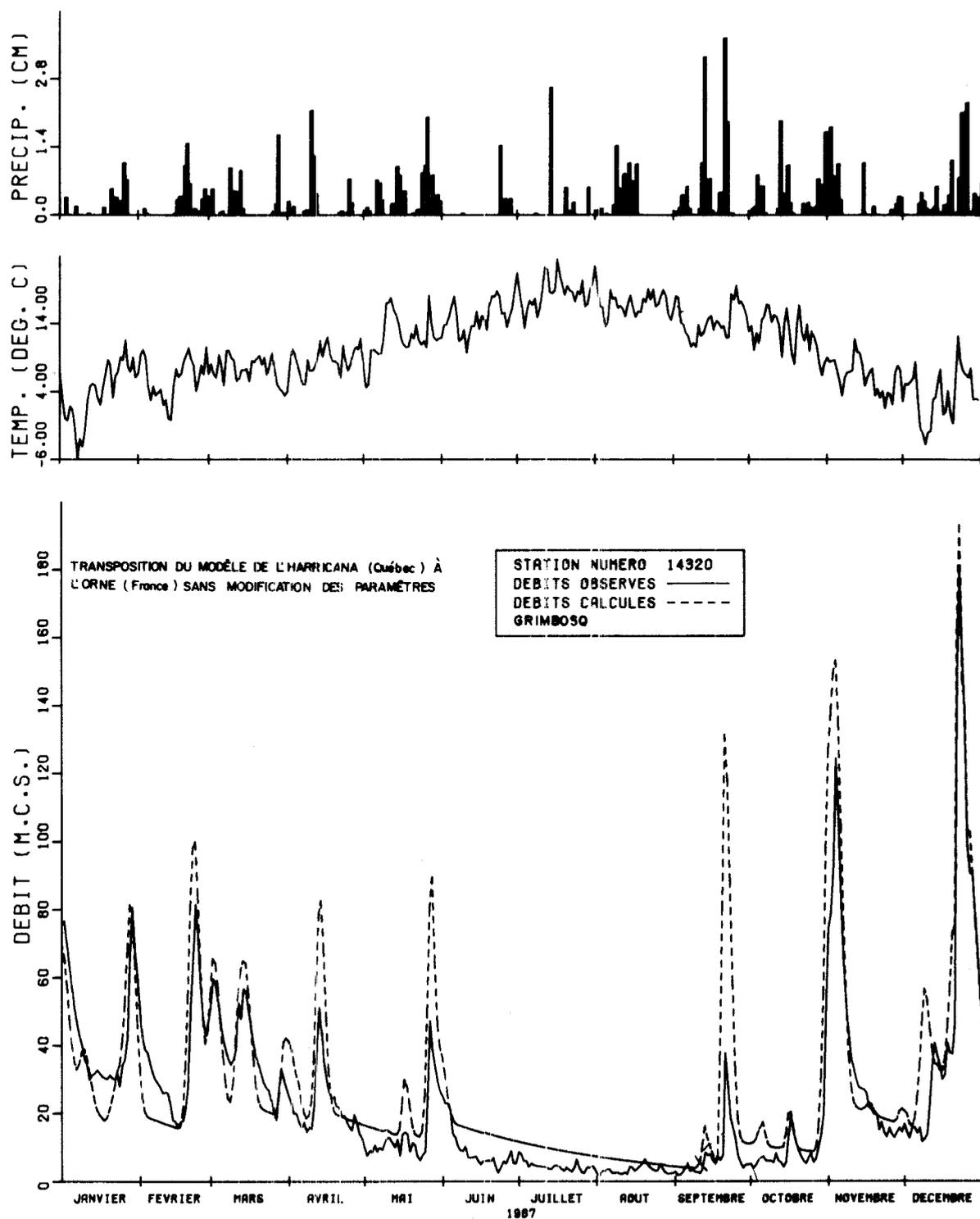


FIGURE 5.2. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

### 5.1 Calage du modèle sur l'Orne

#### a- La correction pour les crues d'automne

Le fait que les crues d'automne simulées soient beaucoup plus importantes que celles observées démontre que les premières précipitations d'automne doivent servir à combler le déficit des réserves, accumulé au cours de l'été. Le modèle dans la première simulation ne permet pas, dans le réservoir sol, d'obtenir un déficit important causé par l'évaporation.

Pour corriger cette lacune, la capacité du réservoir sol a été augmentée en modifiant la constante qui tient compte de la hauteur du réservoir.

#### b- Correction pour les débits d'étiage d'été

On a observé sur les étiages que la vidange de la nappe souterraine se faisait selon deux taux lorsque le niveau du réservoir nappe est haut; le rapport entre les deux taux de vidange est de l'ordre de 10 à 1.

Pour tenir compte au mieux de cette particularité, le coefficient de vidange rapide du réservoir nappe qui était nul dans le cas de l'Harricana a été fixé à .05 et la constante déterminant le niveau du seuil nul de cette vidange a été fixée à 33 cm.

## 5-2 Simulation de l'Orne

Pour la simulation des débits de l'Orne, on a choisi de simuler aux deux stations, où l'on dispose de débit observé, c'est-à-dire aux stations de Grimbosq et de Rabodanges. En plus de ces deux stations, les débits sont aussi simulés sur l'Orne à la hauteur de Caen et à l'exutoire.

Le tableau suivant représente les surfaces de bassins et de sous-bassins, prises en compte dans les simulations sur l'Orne.

STATION	SURFACE (KM <sup>2</sup> )	DONNEES DE DEBITS DISPONIBLES
Rabodanges	1000	1967 à 1972
Grimbosq	2234	1967 à 1972
"Caen"	2727	aucune

### 5.2.1 L'Orne à Rabodanges

Pour cette station, on a simulé les années 1967, 1968, 1969, 1970, 1971 et 1972. Ces résultats sont donnés dans les figures 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 et 5.8. Dans l'ensemble, les simulations sont satisfaisantes, et demeurent à l'intérieur de la plage d'erreur admise, surtout que les débits observés utilisés pour la comparaison sont des débits influencés journallement.

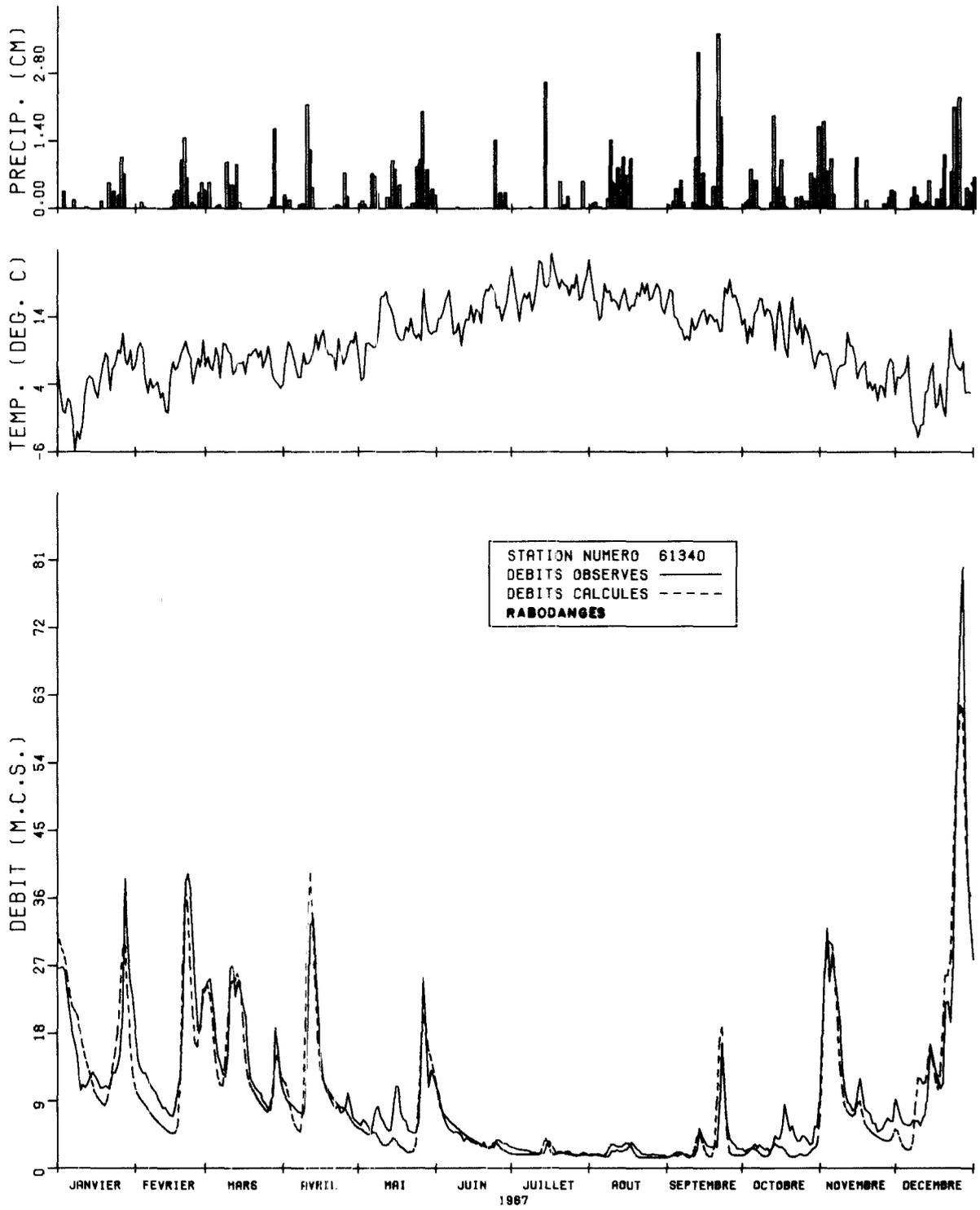


FIGURE 5.3. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

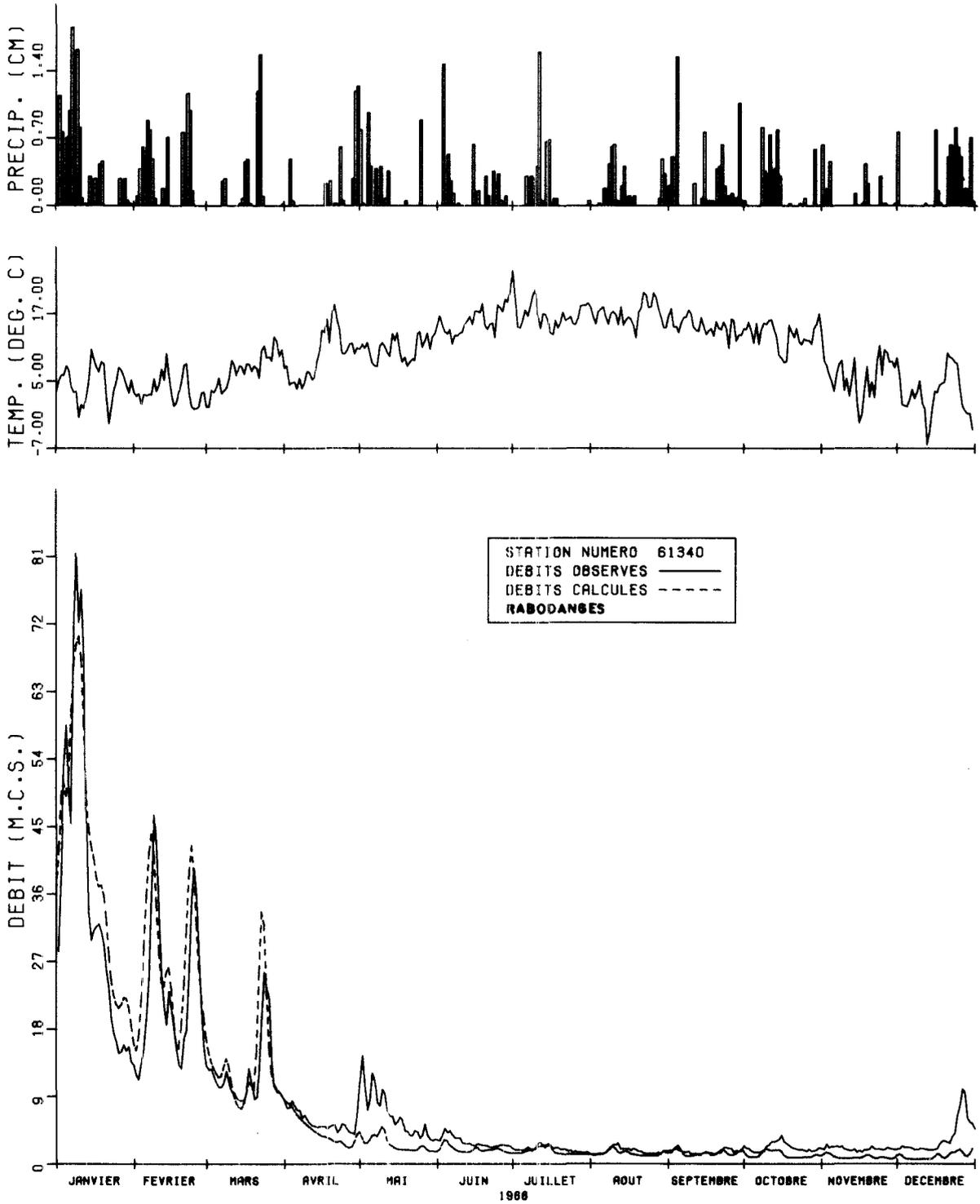


FIGURE 5.4. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

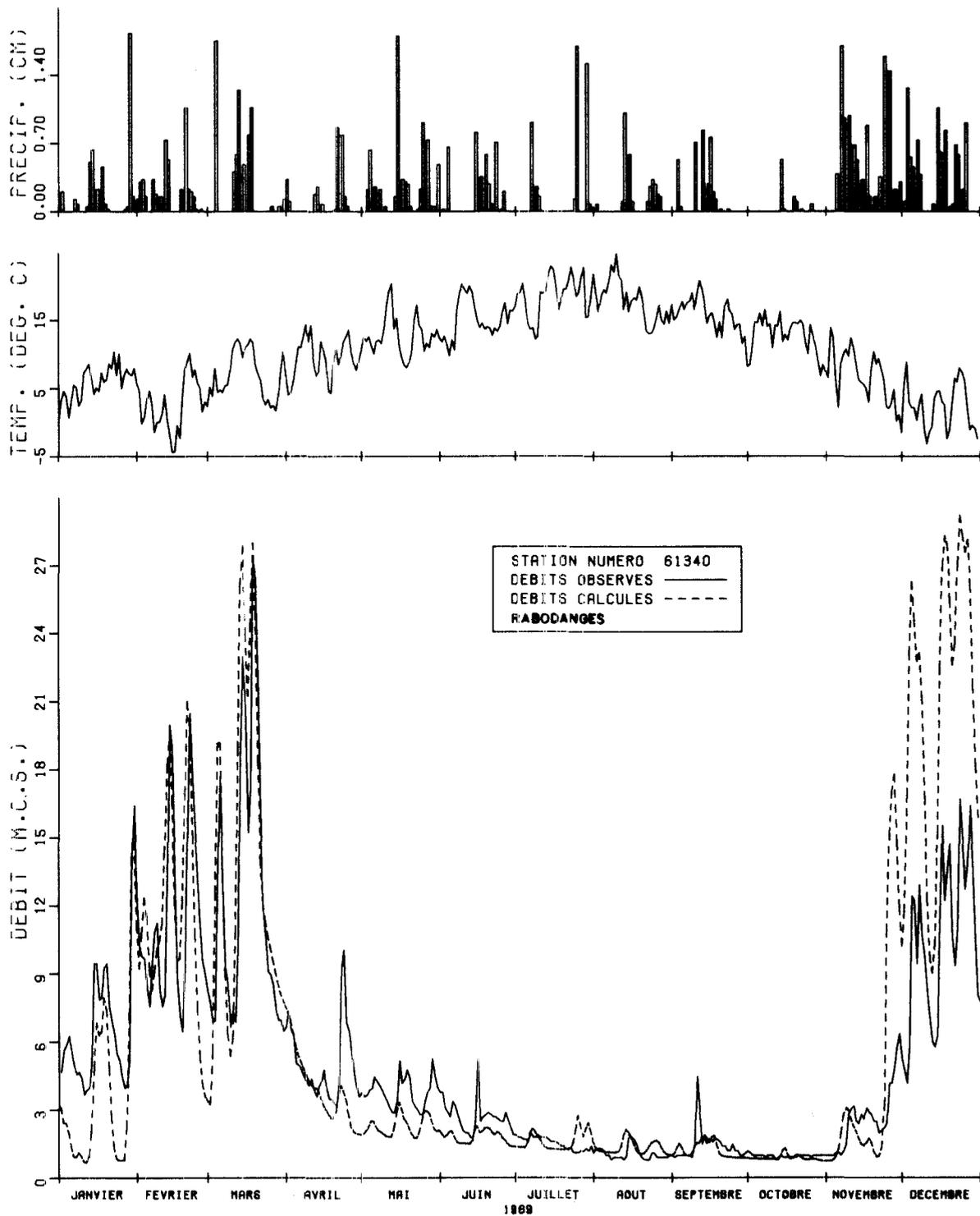


FIGURE 5.5 . DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

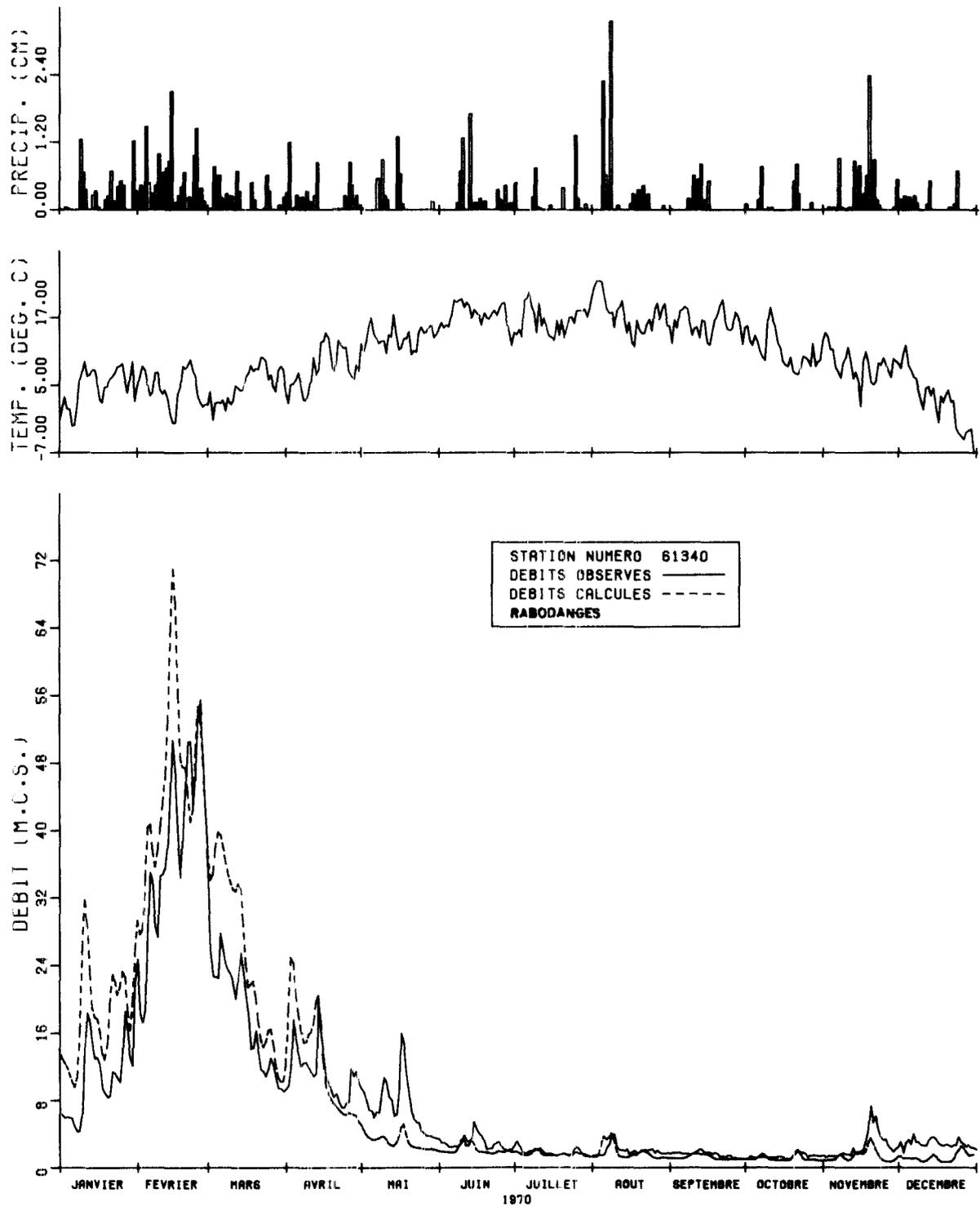


FIGURE 5.6. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

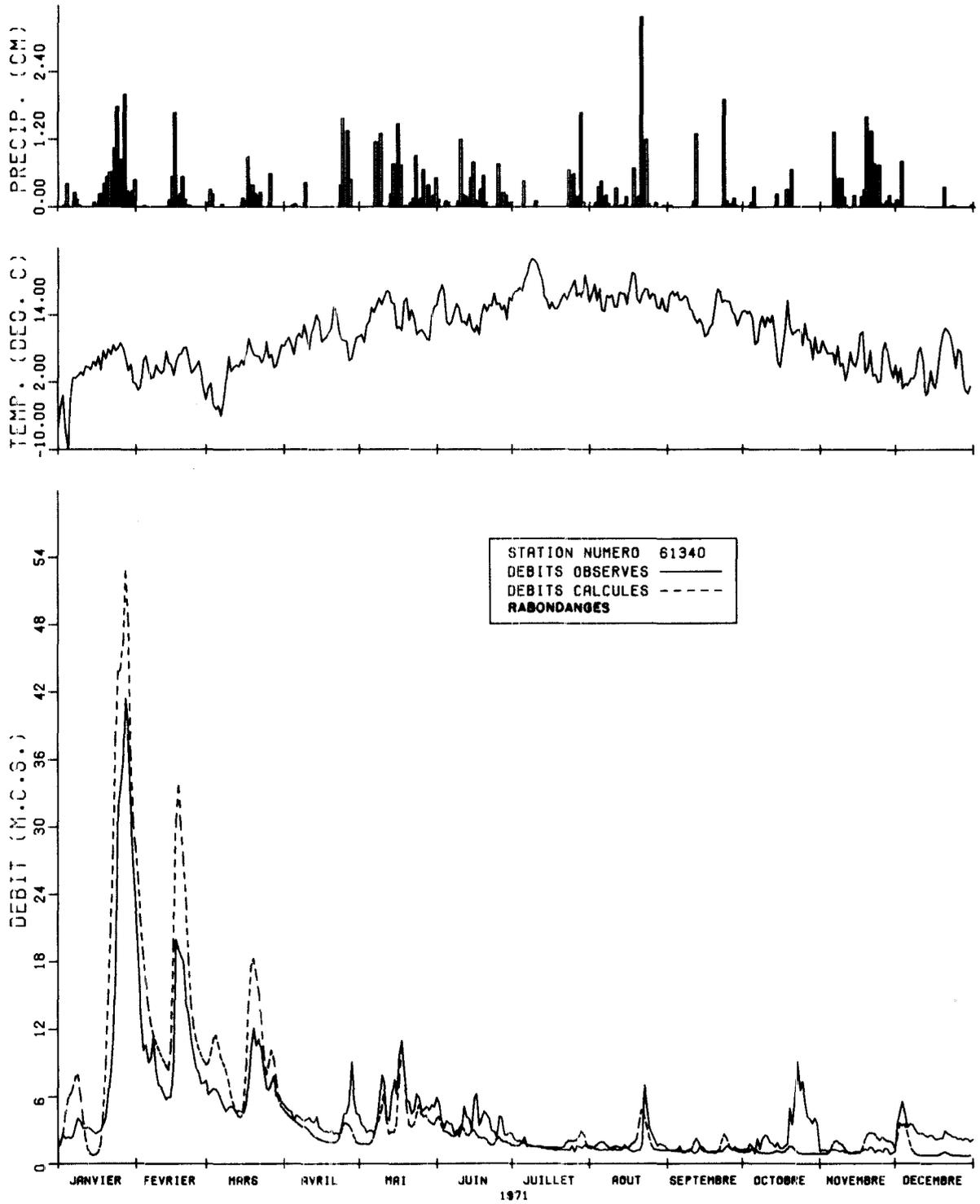


FIGURE 5.7. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

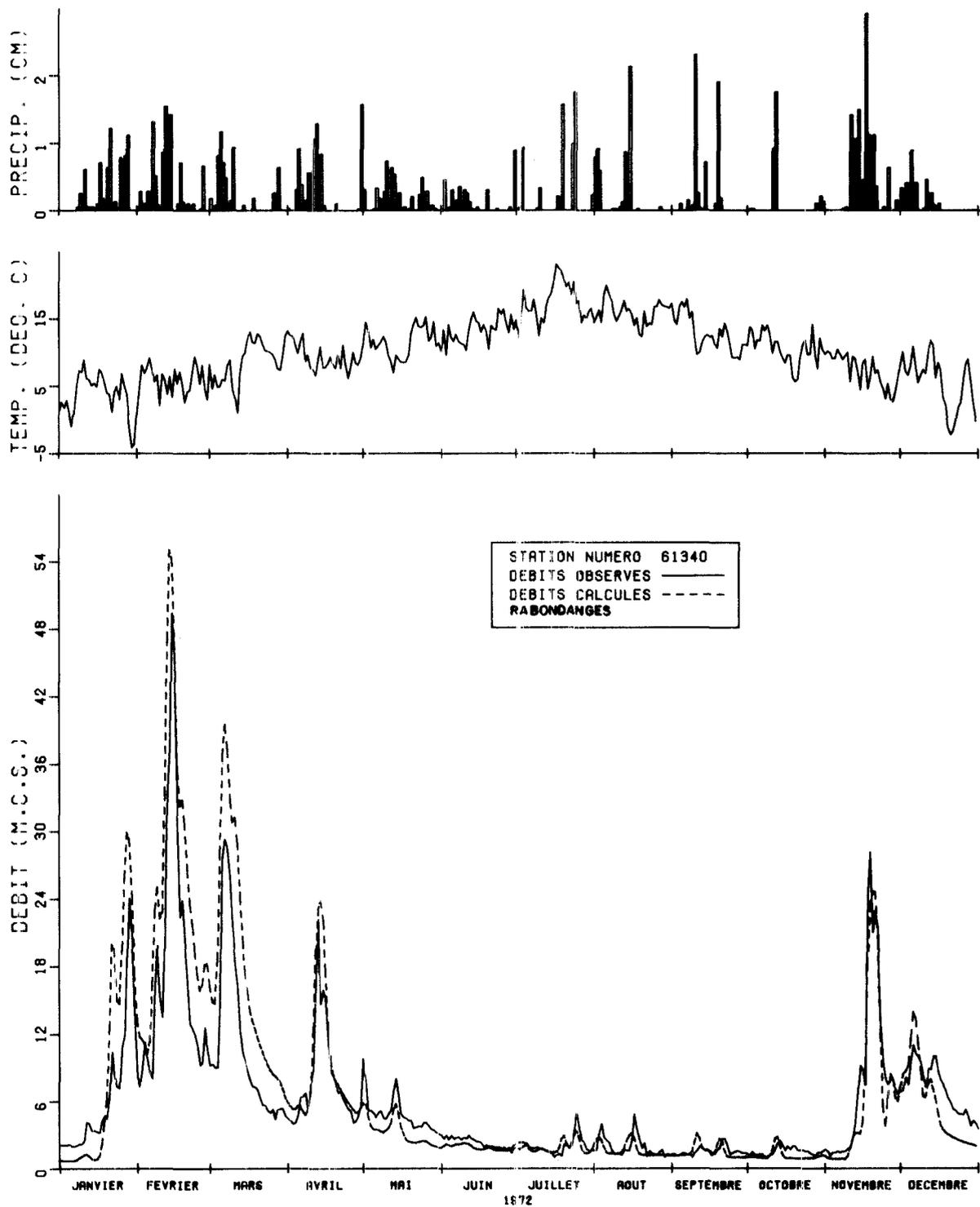


FIGURE 5.8. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

Par exemple, au mois d'octobre 1971 (figure 5.7), on observe une crue qui semble artificielle puisqu'il ne tombe presque pas de pluie, alors qu'au mois de novembre, qui est pluvieux, on observe aucune remontée du débit observé, ce qui ne peut être expliqué que par un effet barrage. Si l'on examine les mêmes périodes à une station plus en aval (Grimbosq, figure 5.13), on constate que les débits observés du mois d'octobre et novembre répondent bien aux précipitations.

La seule question qui reste sans réponse concerne la simulation des crues du mois de décembre 1969, qui sont très supérieures à celles observées. Deux choses peuvent être mises en doute: les précipitations observées ou la mesure des débits.

Si l'on considère les débits de décembre 1967 (figure 5.3), on observe que pour des précipitations plus faibles qu'en décembre 1969 (figure 5.5), les débits de crue observés sont 4 fois plus grands en décembre 1967 qu'en décembre 1969.

#### 5.2.2 l'Orne à Grimbosq

Les années simulées sont: 1967, 1968, 1969, 1970, 1971 et 1972. La comparaison entre les débits observés et les débits simulés pour les différentes années montre une meilleure correspondance que pour la station de Rabodanges, ce qui vient appuyer l'effet du barrage sur la station de Rabodanges.

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

On retrouve dans les figures 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 et 5.14 les résultats des simulations à cette station.

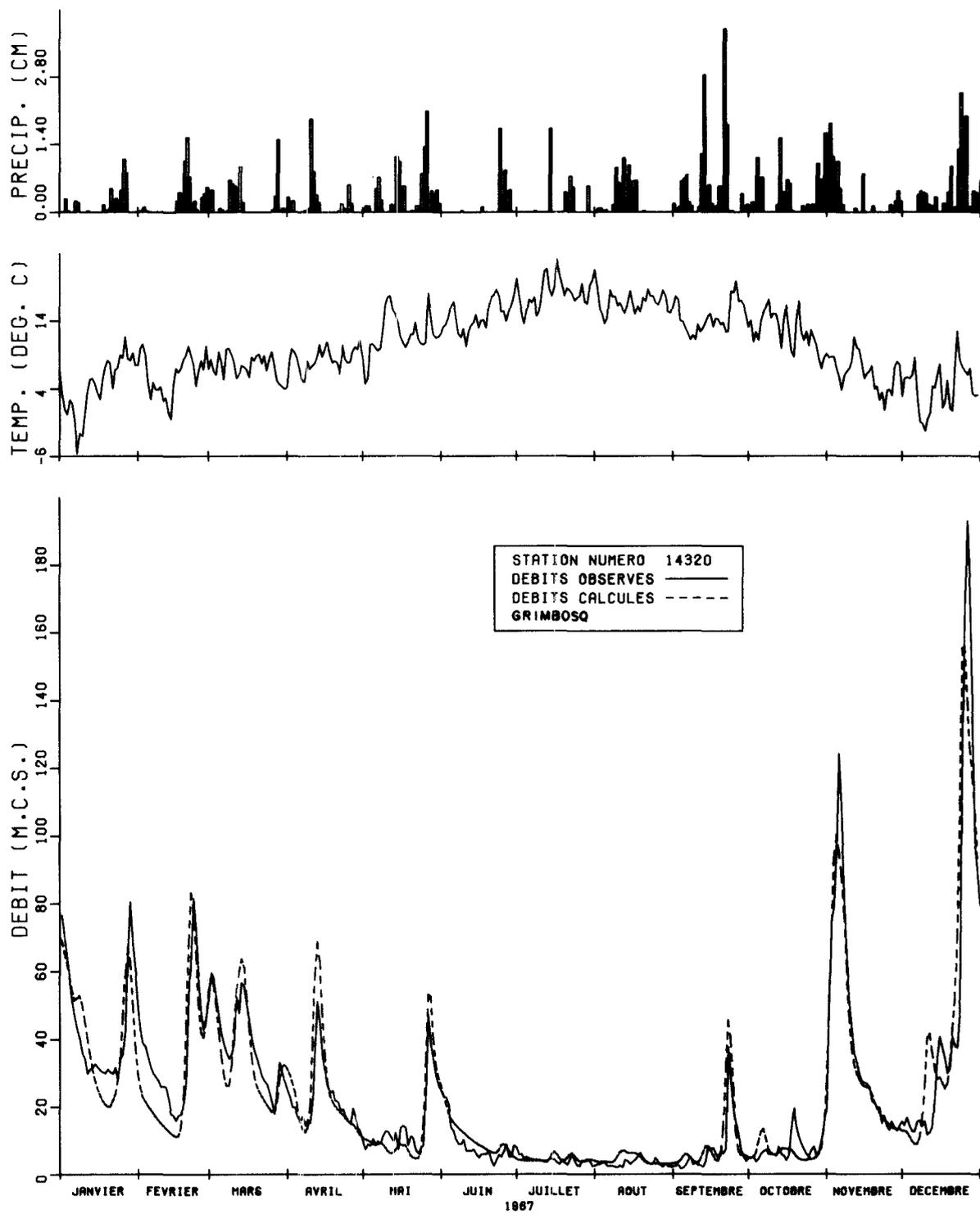


FIGURE 5.9. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

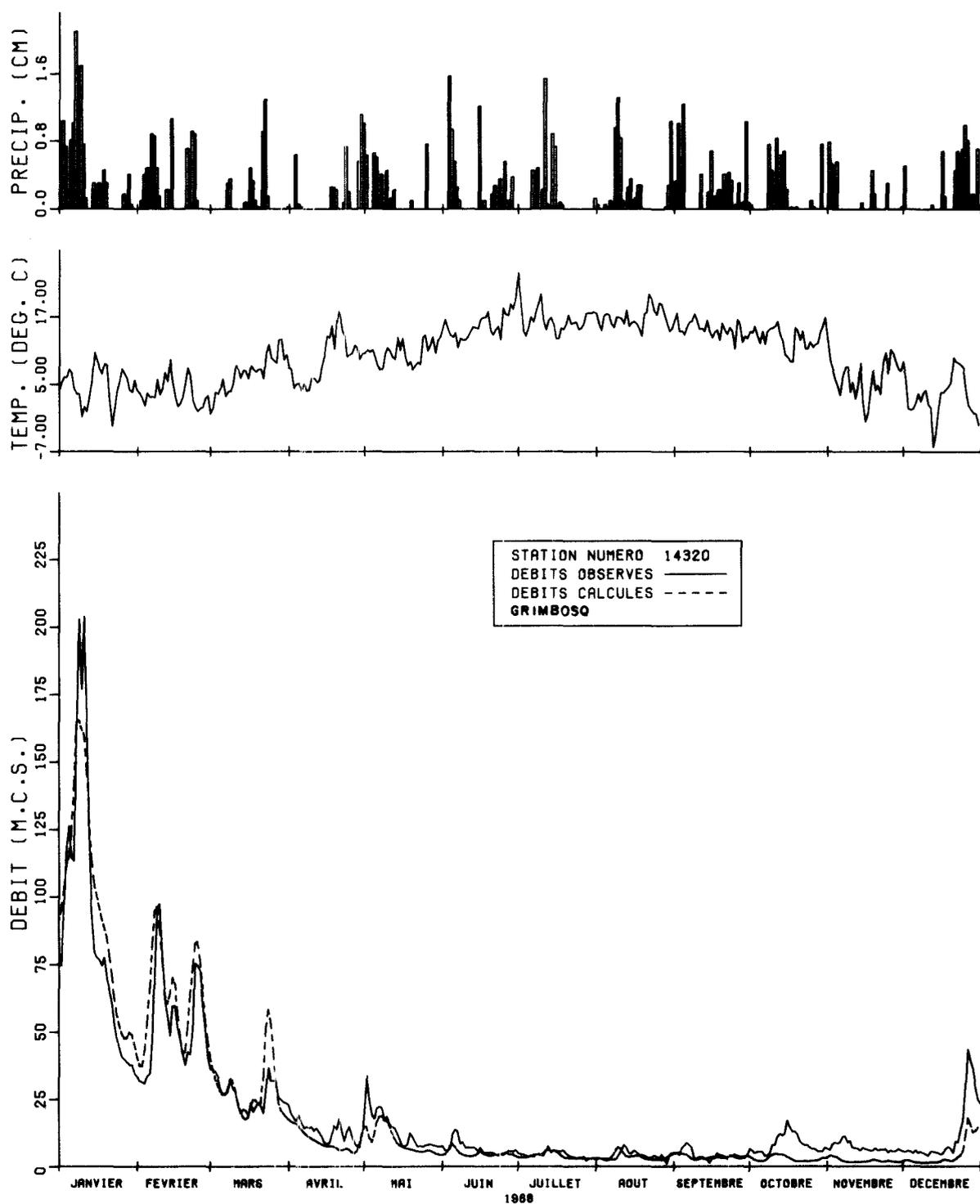


FIGURE 5.10. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

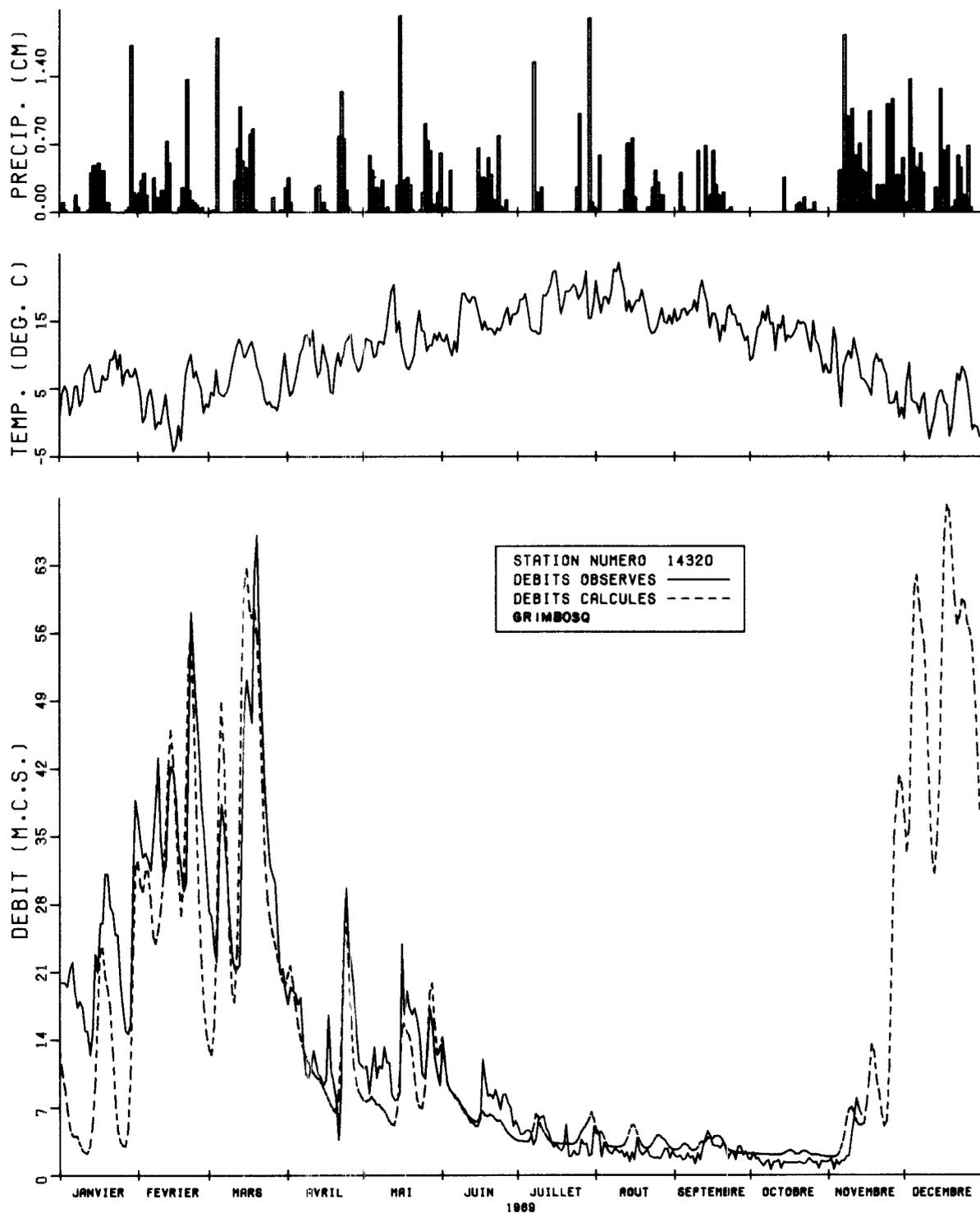


FIGURE 5.11. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

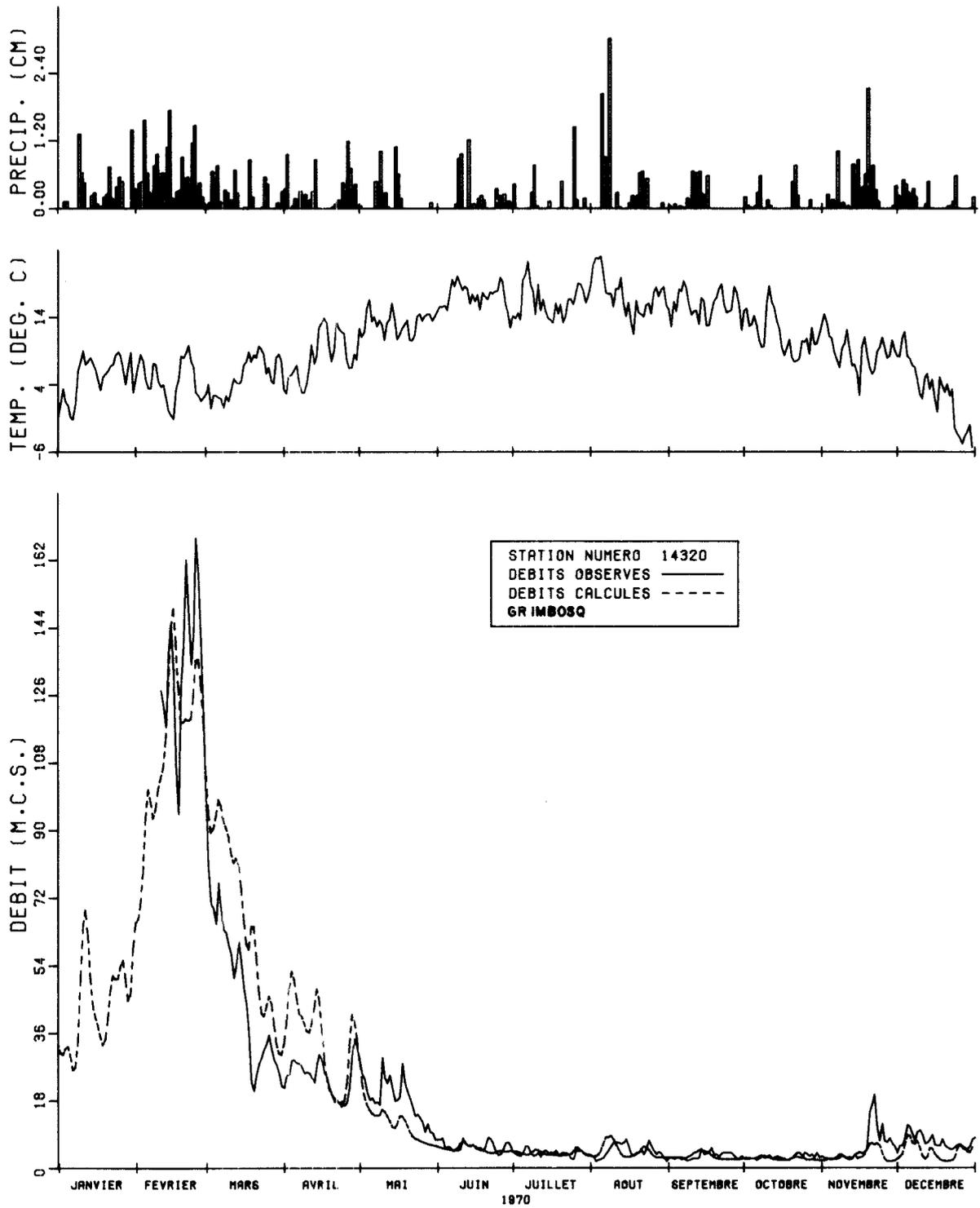


FIGURE 5.12 DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

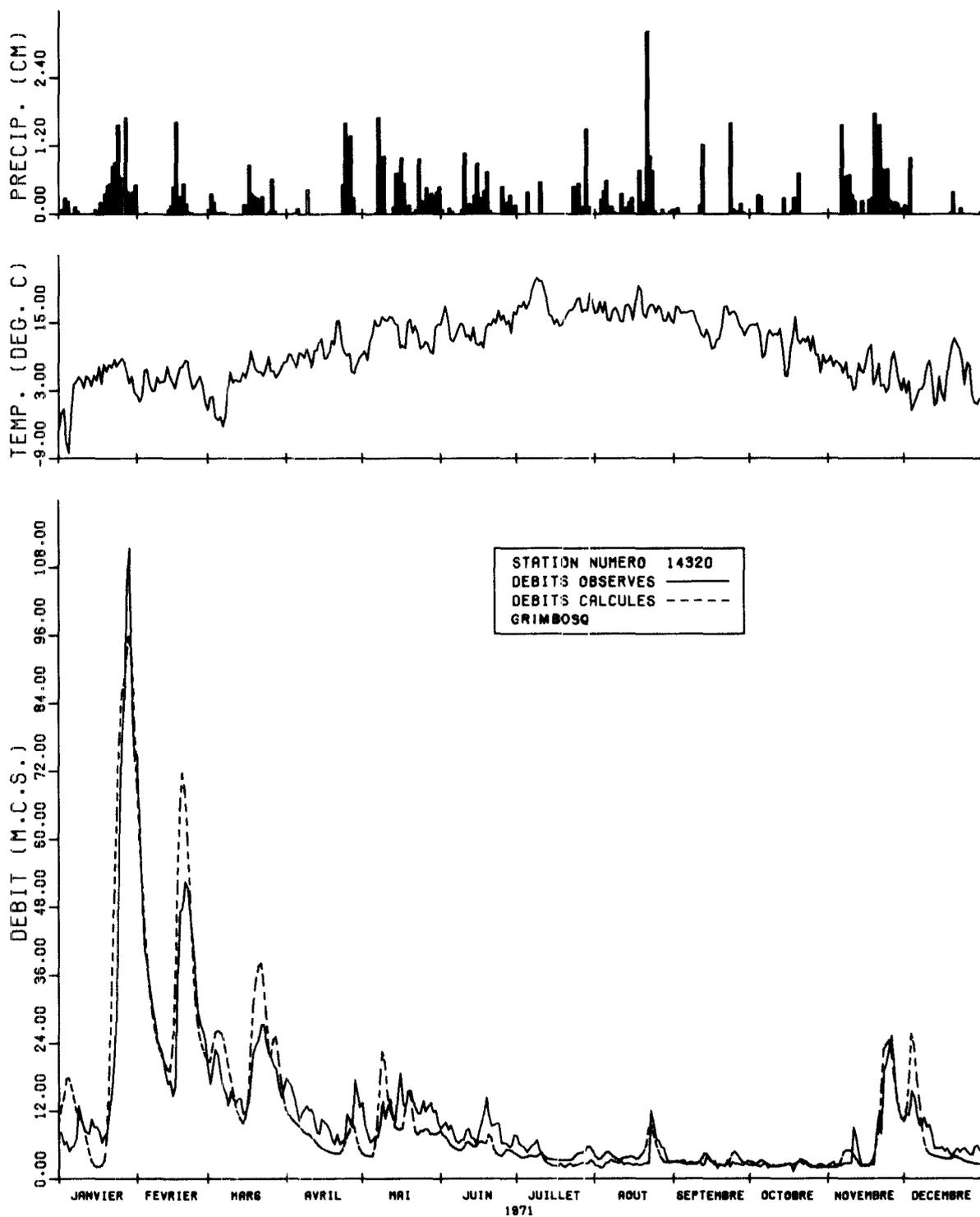


FIGURE 5.13 DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

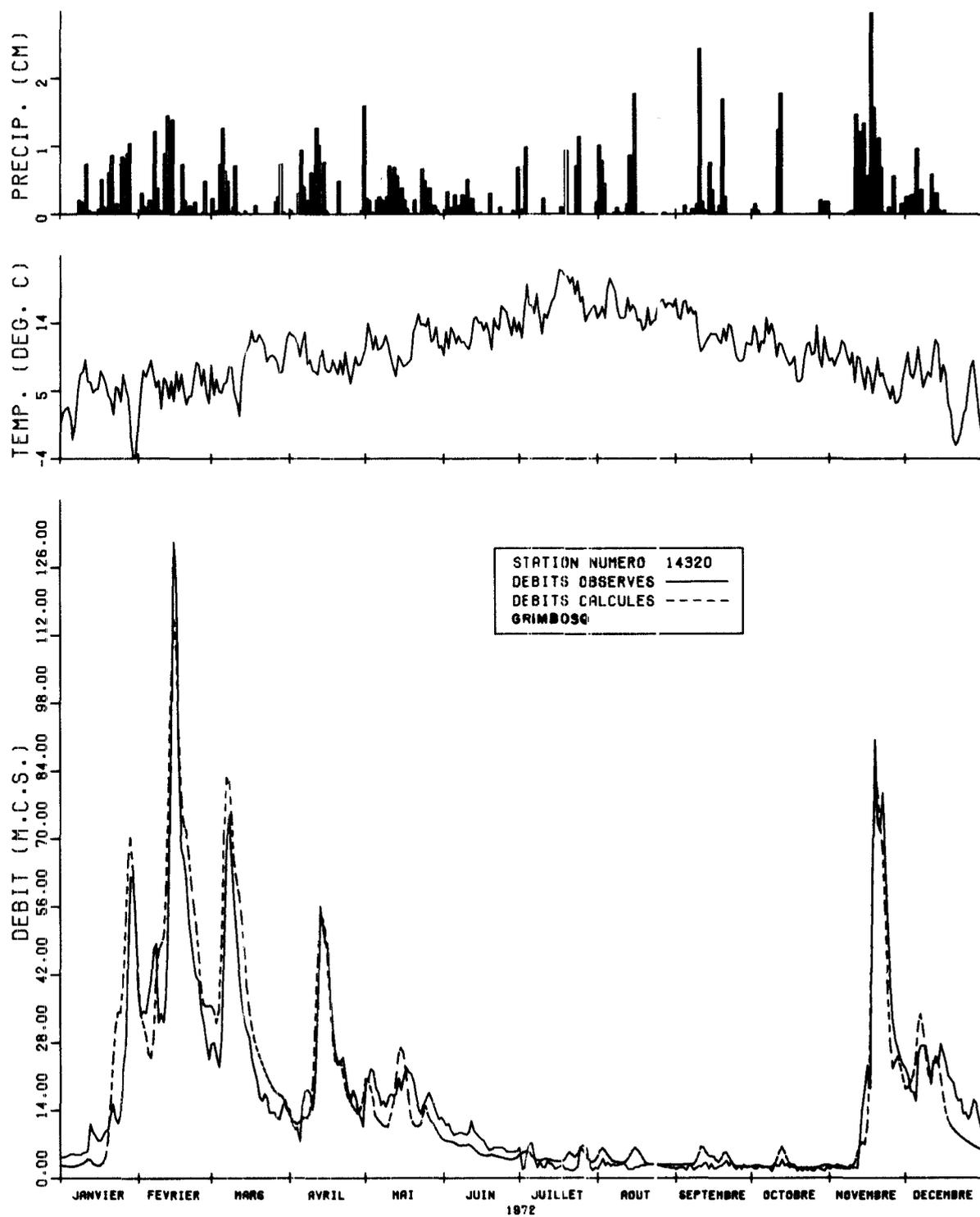


FIGURE 5.14. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE)

### 5.2.3 L'Orne à Caen

A titre indicatif et pour montrer la capacité du modèle de simuler le débit en n'importe quel point du bassin, on a calculé les débits à Caen. Ces résultats sont donnés dans les figures 5.15 et 5.16.

Comme on ne dispose pas de débits observés à ces stations fictives, on ne peut comparer les résultats obtenus par simulation. Cependant, si l'on compare d'une manière qualitative l'allure des simulations avec les débits observés de Grimbosq pour les mêmes années 1967-1968, on constate une très bonne similitude.

### 5.3 Le bassin de la Dives

Pour le bassin de la Dives, on dispose de quatre stations de mesure de débits. Les périodes d'observation ainsi que les surfaces des sous-bassins apparaissent dans le tableau suivant.

STATIONS	SURFACE (KM <sup>2</sup> )	DONNEES DE DEBITS DISPONIBLES
Beumais	287	entre 1968 et 1972
Corbon	434	entre 1970 et 1972
Magny Le Freule	643	entre 1970 et 1972
Le Ham	1330	entre 1971 et 1972
L'exutoire	???	-- --

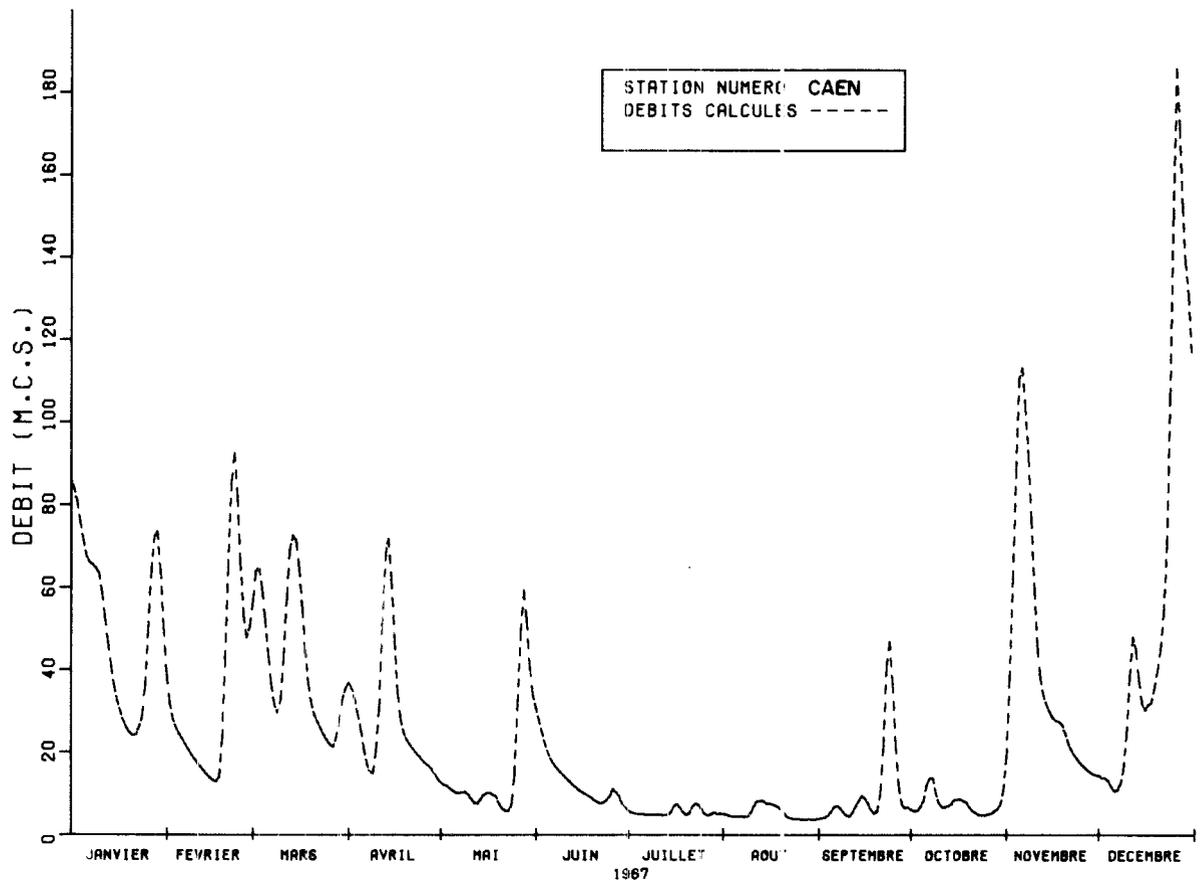


FIGURE 5.15. DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE).

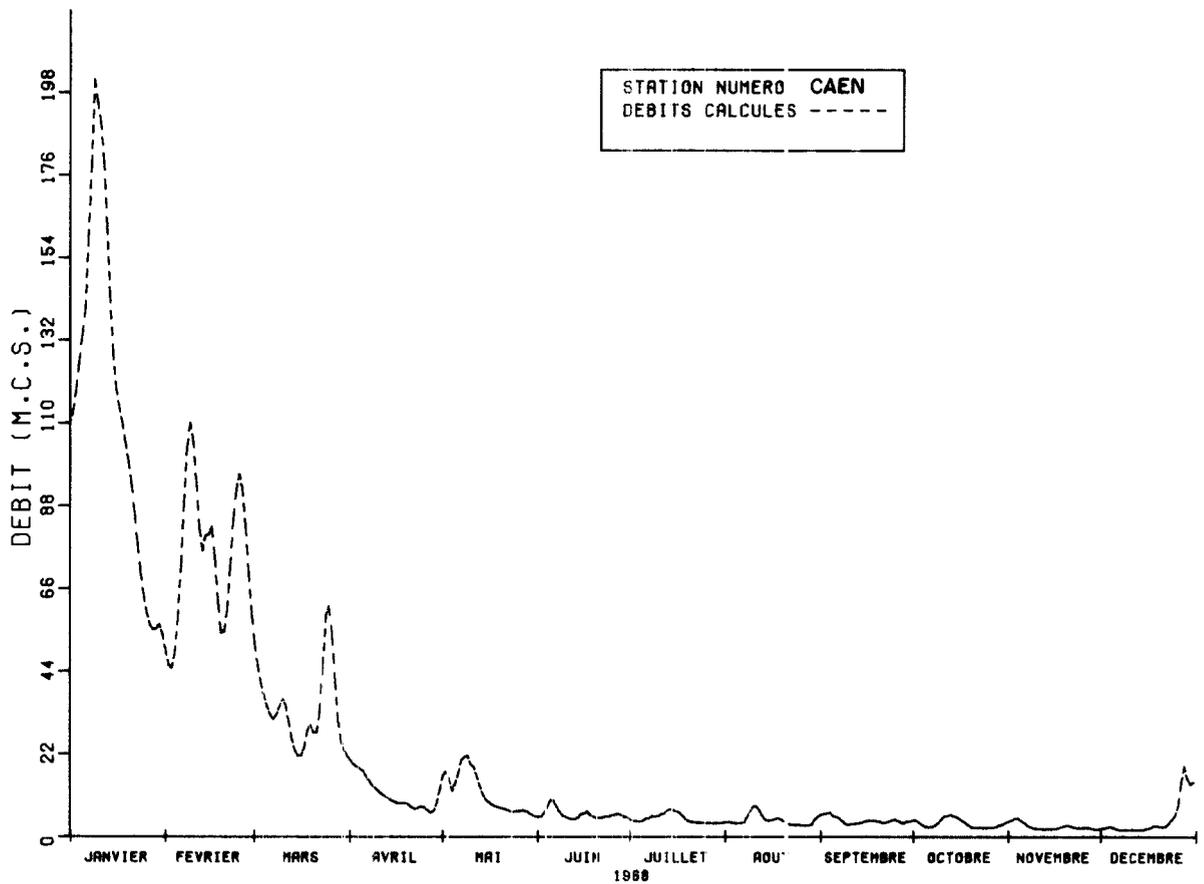


FIGURE 5.16. DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ORNE (FRANCE).

Pour cette rivière, le calage a débuté en utilisant les paramètres de l'Orne. On a amélioré les résultats obtenus en modifiant les paramètres du modèle afin d'augmenter

- 1) l'évaporation réelle sur le bassin versant;
- 2) la percolation vers le réservoir nappe;
- 3) la capacité d'emmagasinement du réservoir nappe.

On retrouve, lors de la simulation des débits à Beaumais pour 1969, figure 5.17, les mêmes difficultés de simulation des crues d'automne que celles que l'on a observées sur la rivière Orne.

Dans l'ensemble, les simulations des stations situées sur la rivière Dives sont moins satisfaisantes, ce qui peut s'expliquer par des influences humaines tel que barrages, pompage etc... Par contre, la simulation de la Vie à la station Corbon (affluent de la Dives) donne de meilleurs résultats.

Une partie des écarts entre les débits simulés et observés peuvent être expliqués en analysant les débits observés et les précipitations. En effet, on y relève des anomalies qui ne peuvent être attribuées qu'à des influences humaines ou à des mesures erronées.

La figure 5.25 montre pour la station Le Ham et l'année 1971, que les débits observés passent de  $3.7 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$  sans qu'il y ait de précipitations et, à la fin du mois, les débits baissent de  $5.1 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$  alors qu'on observe une précipitation moyenne sur le bassin d'environ 1.5 cm. Sur la figure 5.18 (débits

à Baumais), on observe un palier de 16 jours, à la fin d'avril et au début de mai. Enfin, les débits sur la station Magny la Freule (figure 5.23) passent de  $.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , le 30 novembre, à  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , le 1<sup>er</sup> décembre et s'y maintiennent par la suite. Ces trois exemples montrent bien certaines anomalies, qu'il est difficile à simuler lorsqu'on ne peut en établir les sources.

#### 5.4 Le bassin de la Seulles

Pour le bassin de la Seulles, on dispose de deux stations de mesure de débits. Les périodes d'observation ainsi que les surfaces des sous-bassins apparaissent dans le tableau suivant.

STATIONS	SURFACE ( $\text{KM}^2$ )	DONNEES DE DEBITS DISPONIBLES
Reviars	95	Rien
Tierceville	254	entre 1971 et 1972

Les débits de Tierceville, n'ayant été disponibles qu'à la fin de l'étude, on n'a pu faire de calage des paramètres sur cette rivière. Cependant, les débits de cette station ont été simulés en utilisant d'abord les mêmes paramètres que sur la rivière Orne. Ces résultats sont donnés sur les figures 5.27 et 5.28.

Ensuite, les paramètres de la rivière Dives ont été utilisés pour simuler ces débits. Ces résultats apparaissent aux figures 5.29 et 5.30.

La comparaison de ces deux simulations montre dans les deux cas, que les crues d'automne sont surestimées et que les crues du printemps sont mieux simulées avec les paramètres de la Dives.

Le calage des paramètres pour cette rivière permettrait sans doute d'améliorer la simulation des crues.

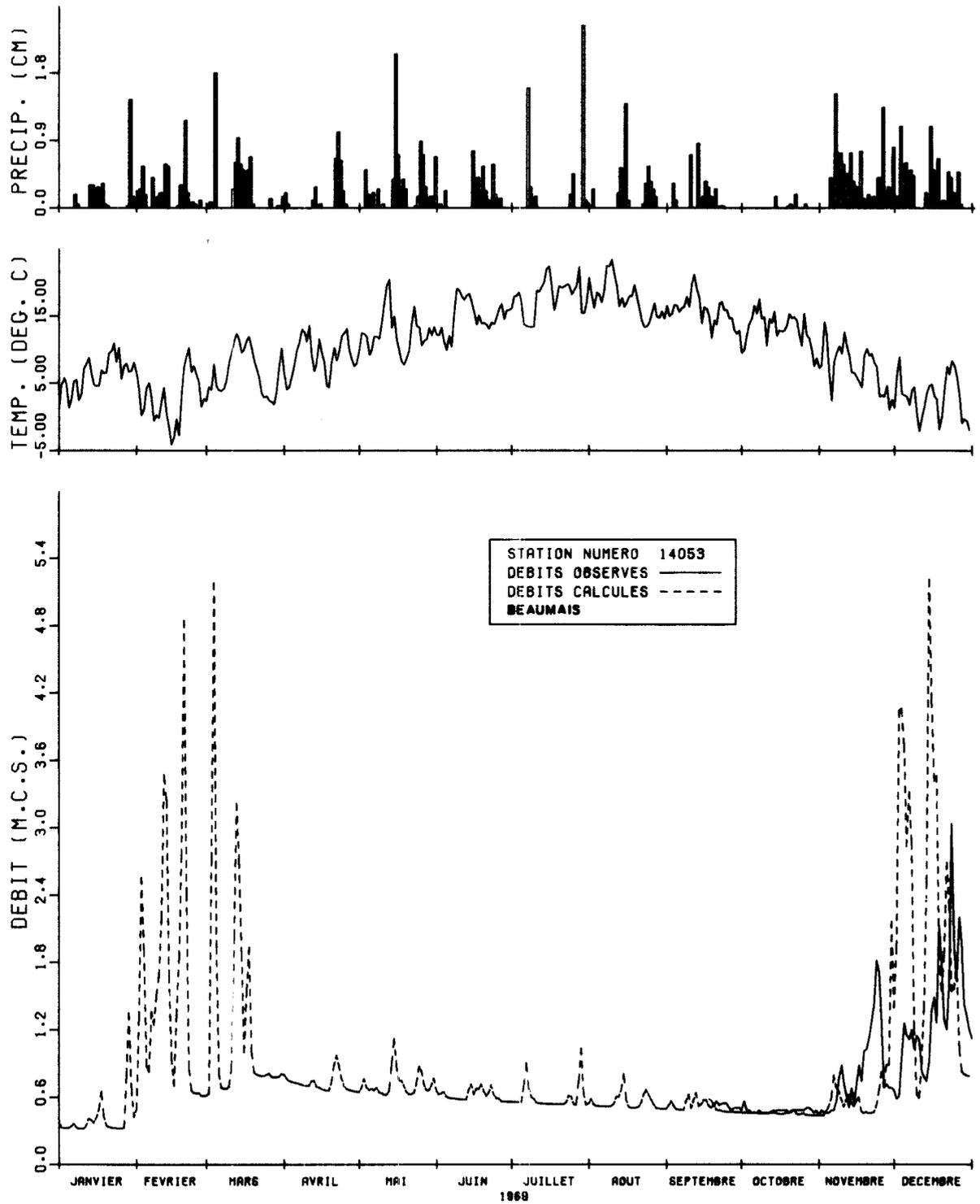


FIGURE 5.17. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DIVES (FRANCE)

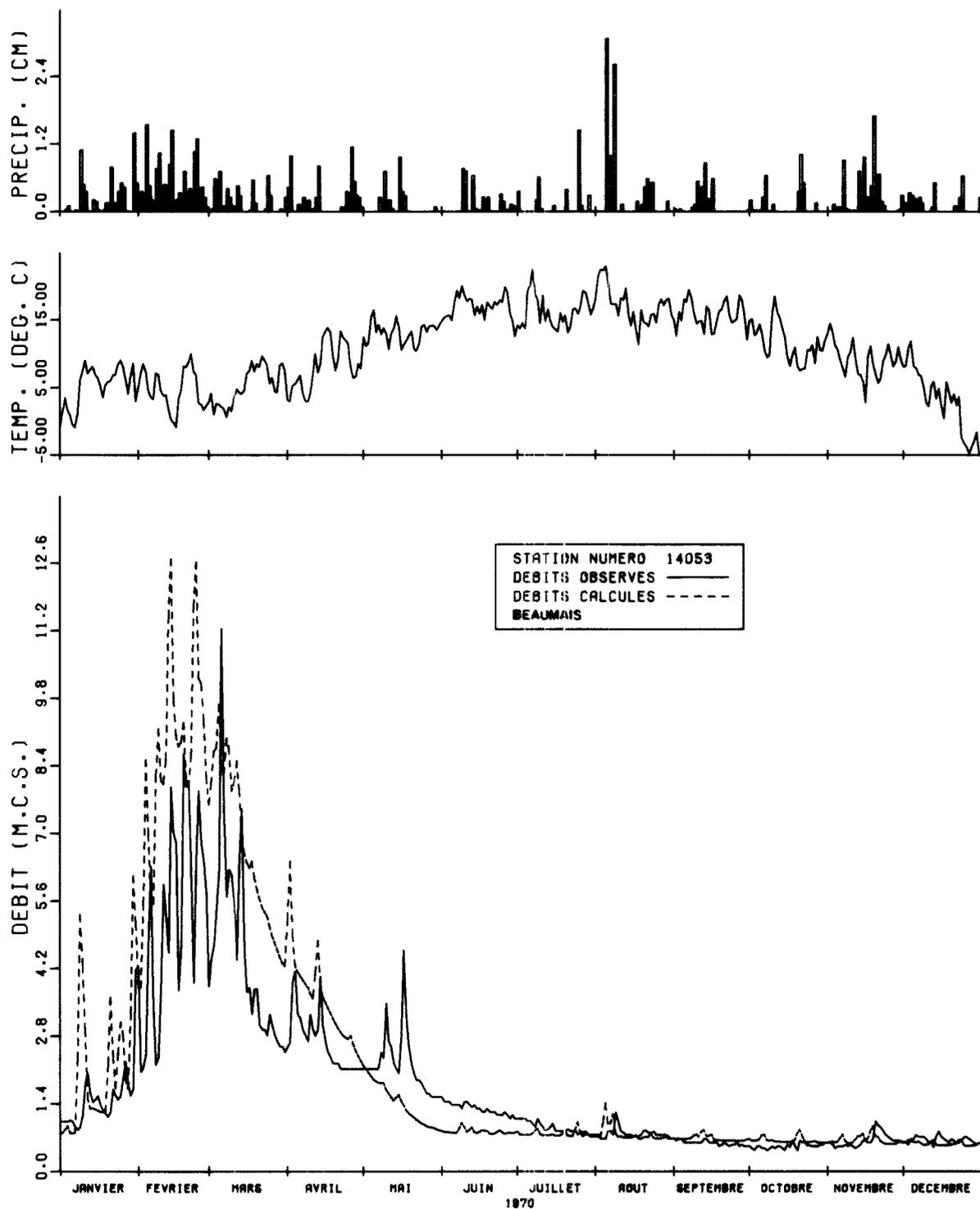


FIGURE 5.18. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DIVES (FRANCE)

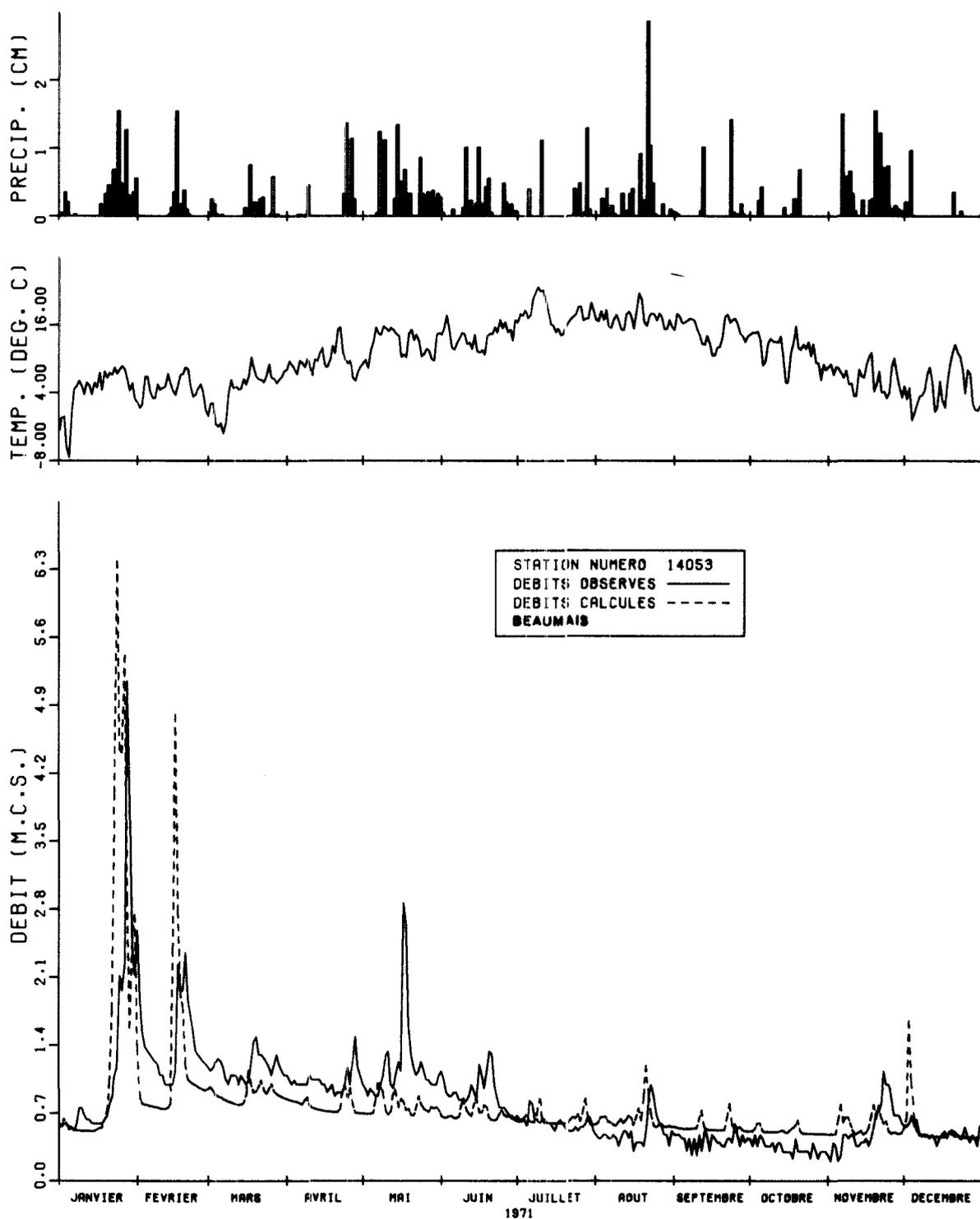


FIGURE 5.19. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DIVES (FRANCE)

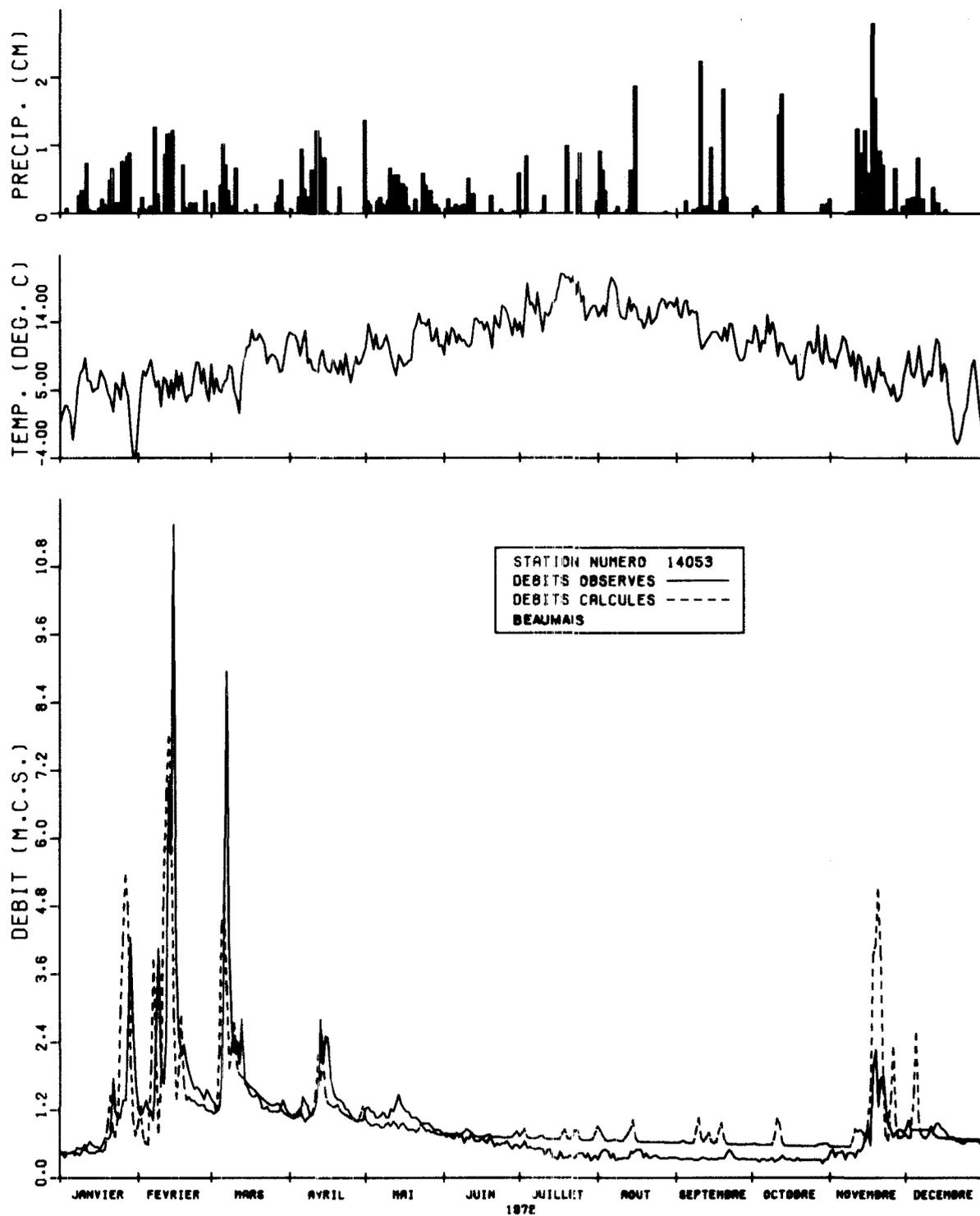


FIGURE 5.20. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DIVES (FRANCE)

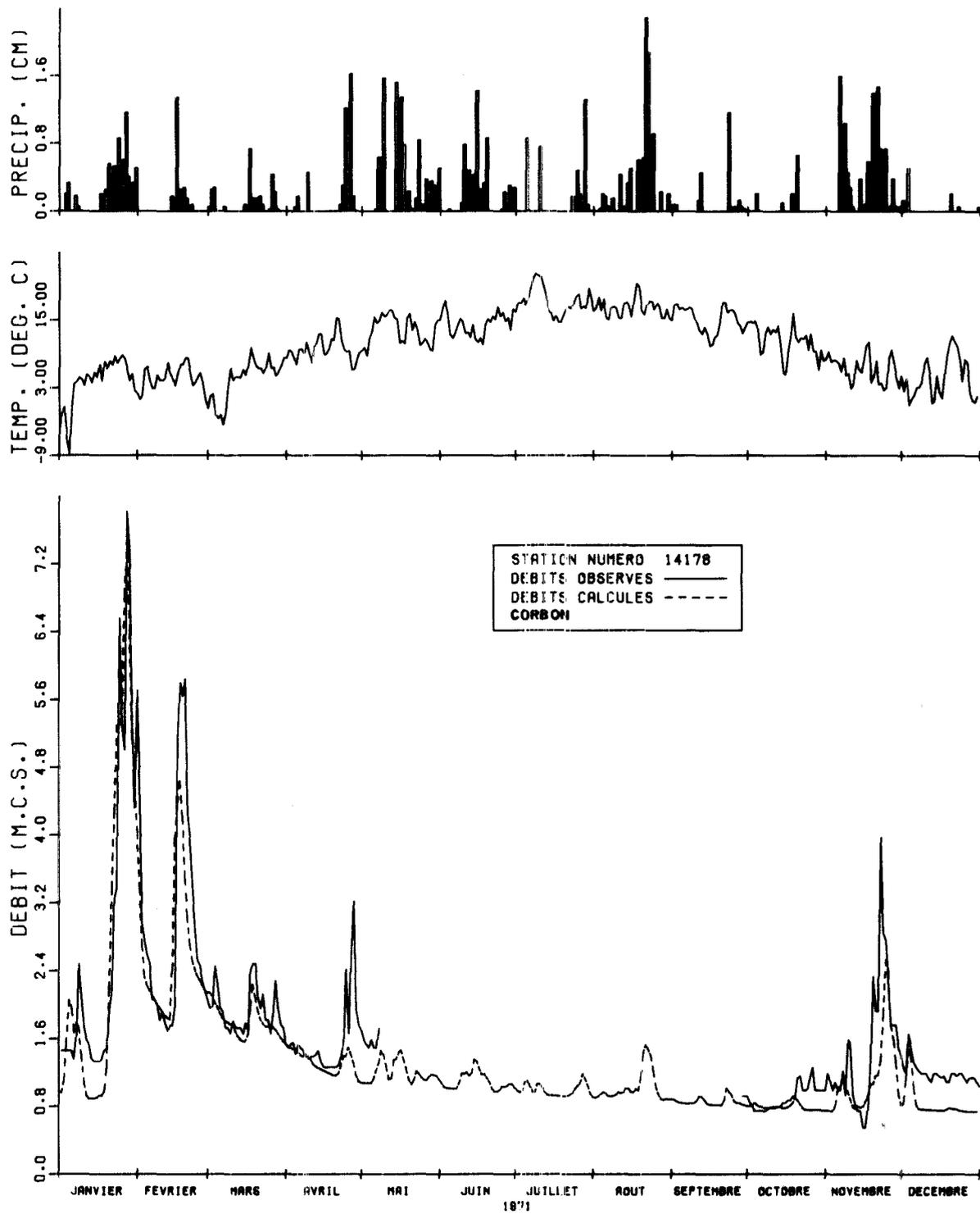


FIGURE 5.21. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DIVES (FRANCE)

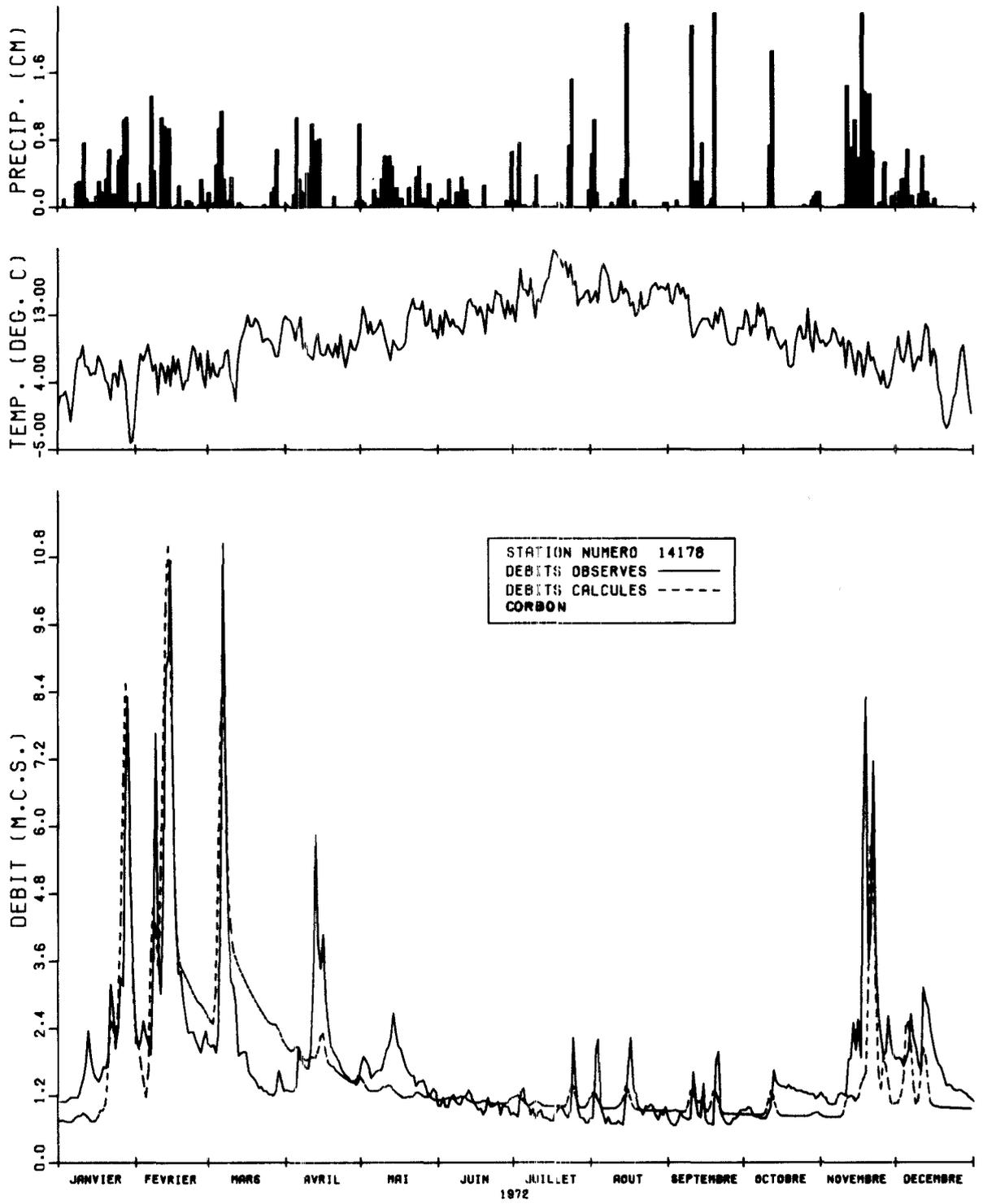


FIGURE 5.22. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DIVES (FRANCE)

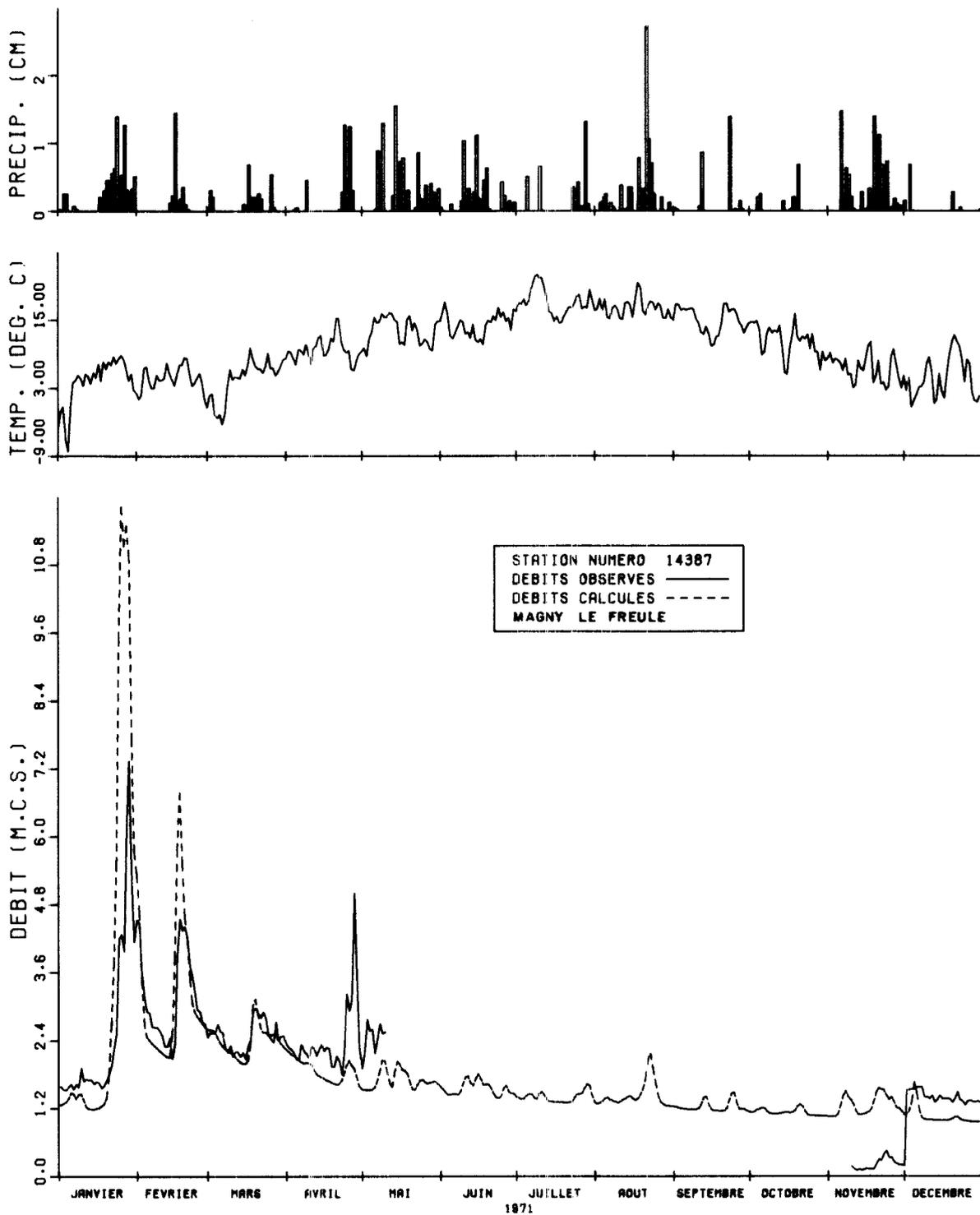


FIGURE 5.23. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DIVES (FRANCE)

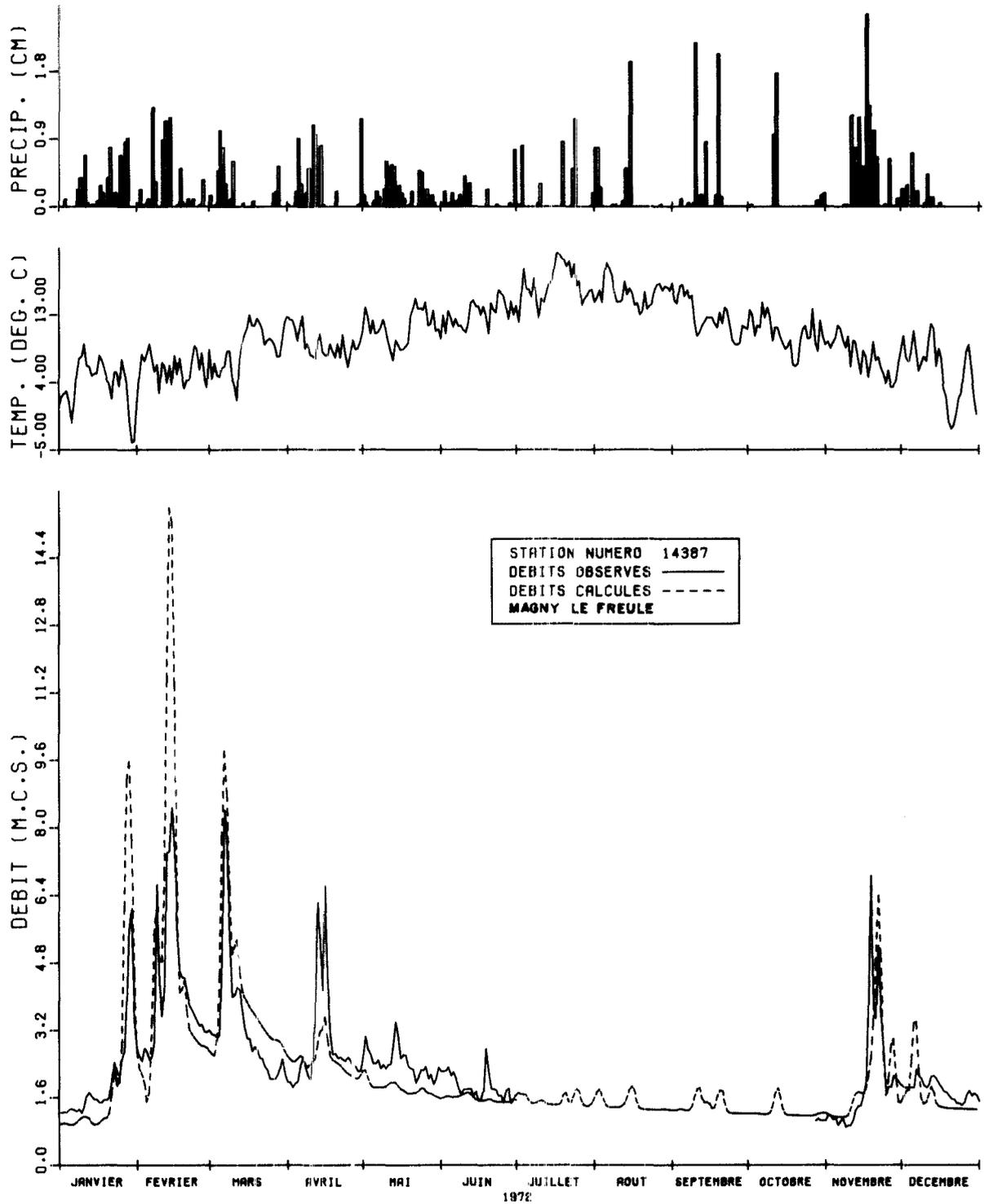


FIGURE 5.24. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DIVES (FRANCE)

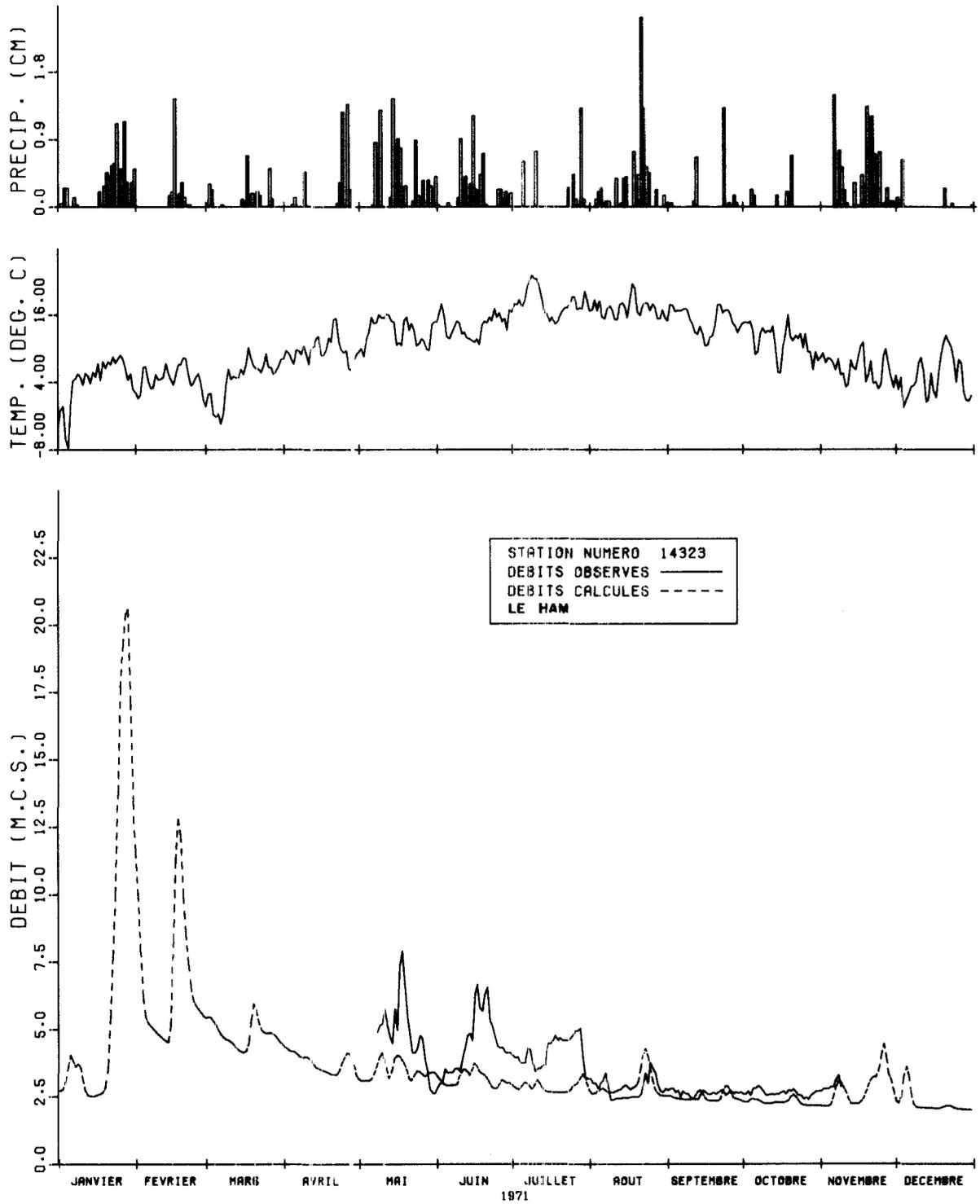


FIGURE 5.25. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DIVES (FRANCE)

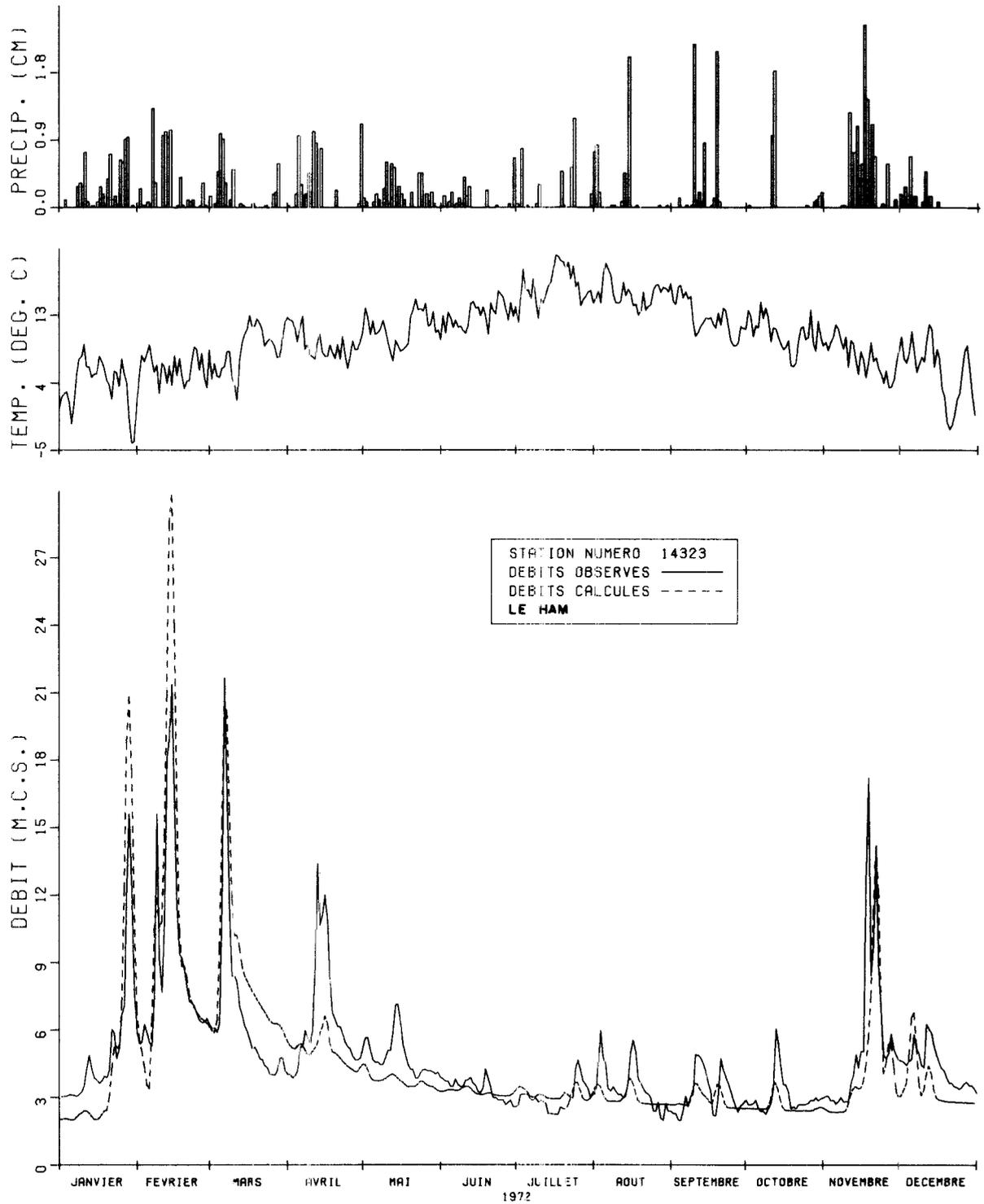


FIGURE 5.26. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DIVES (FRANCE)

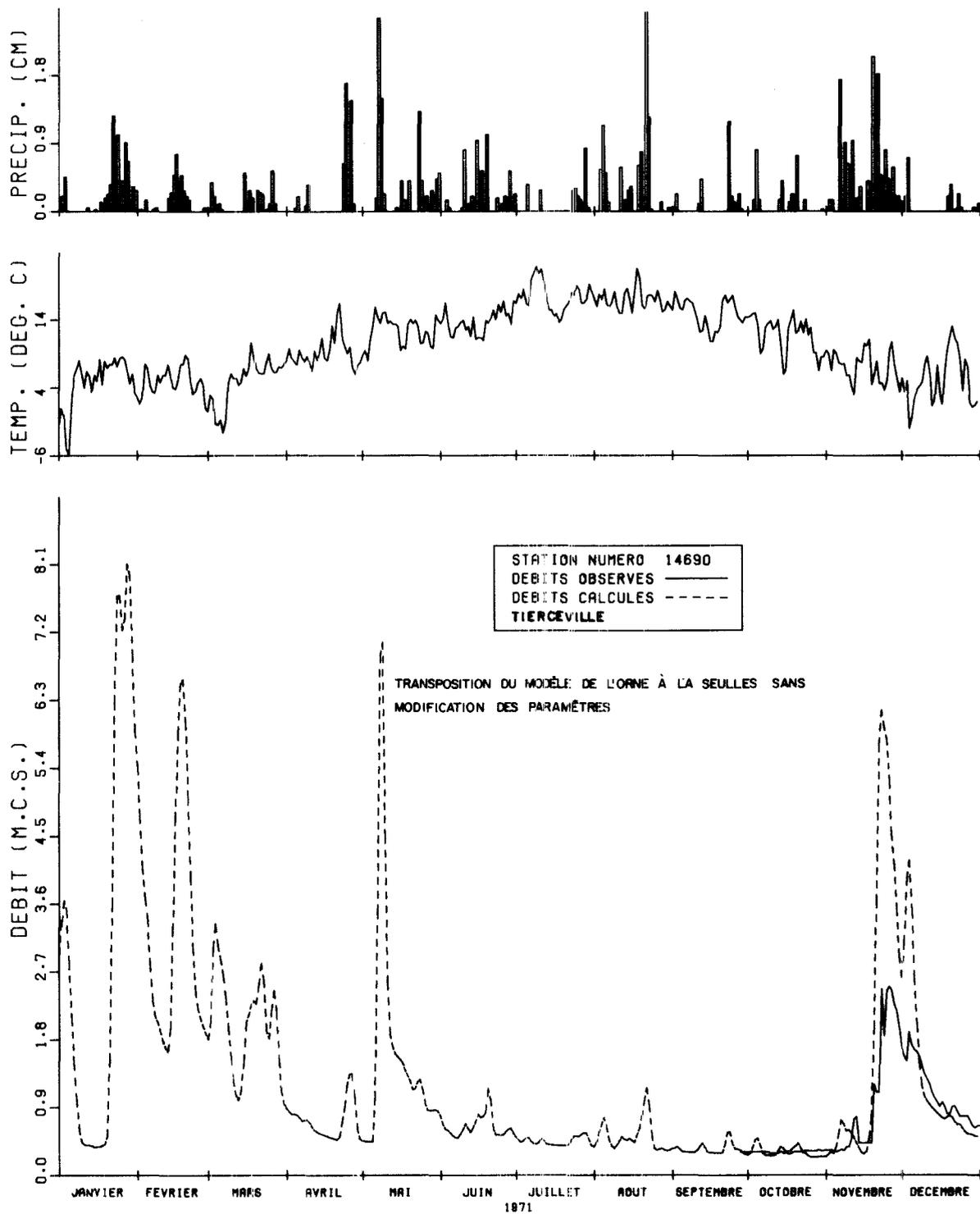


FIGURE 5.27. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE SEULLES (FRANCE)

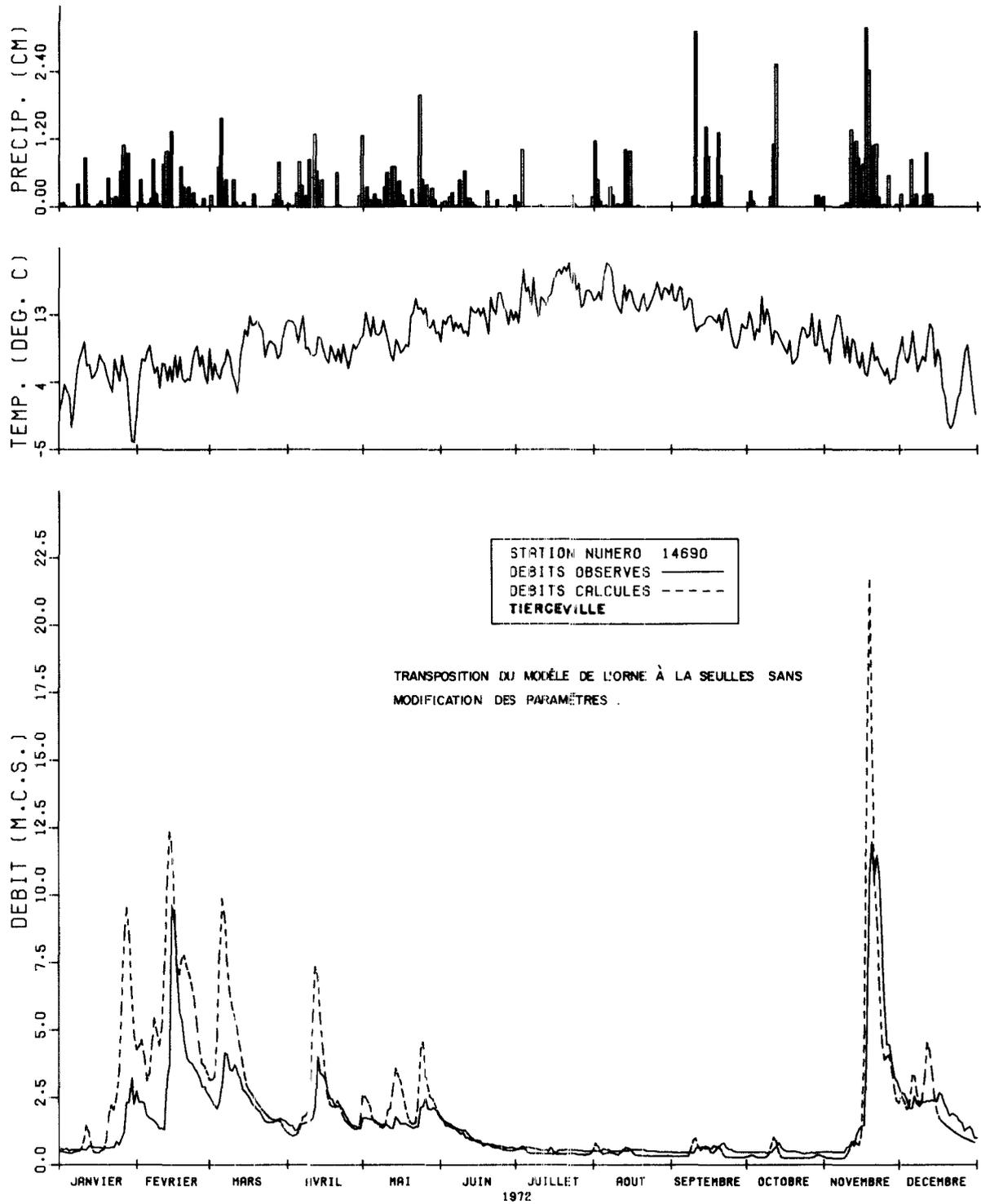


FIGURE 5.28. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE SEULLES (FRANCE)

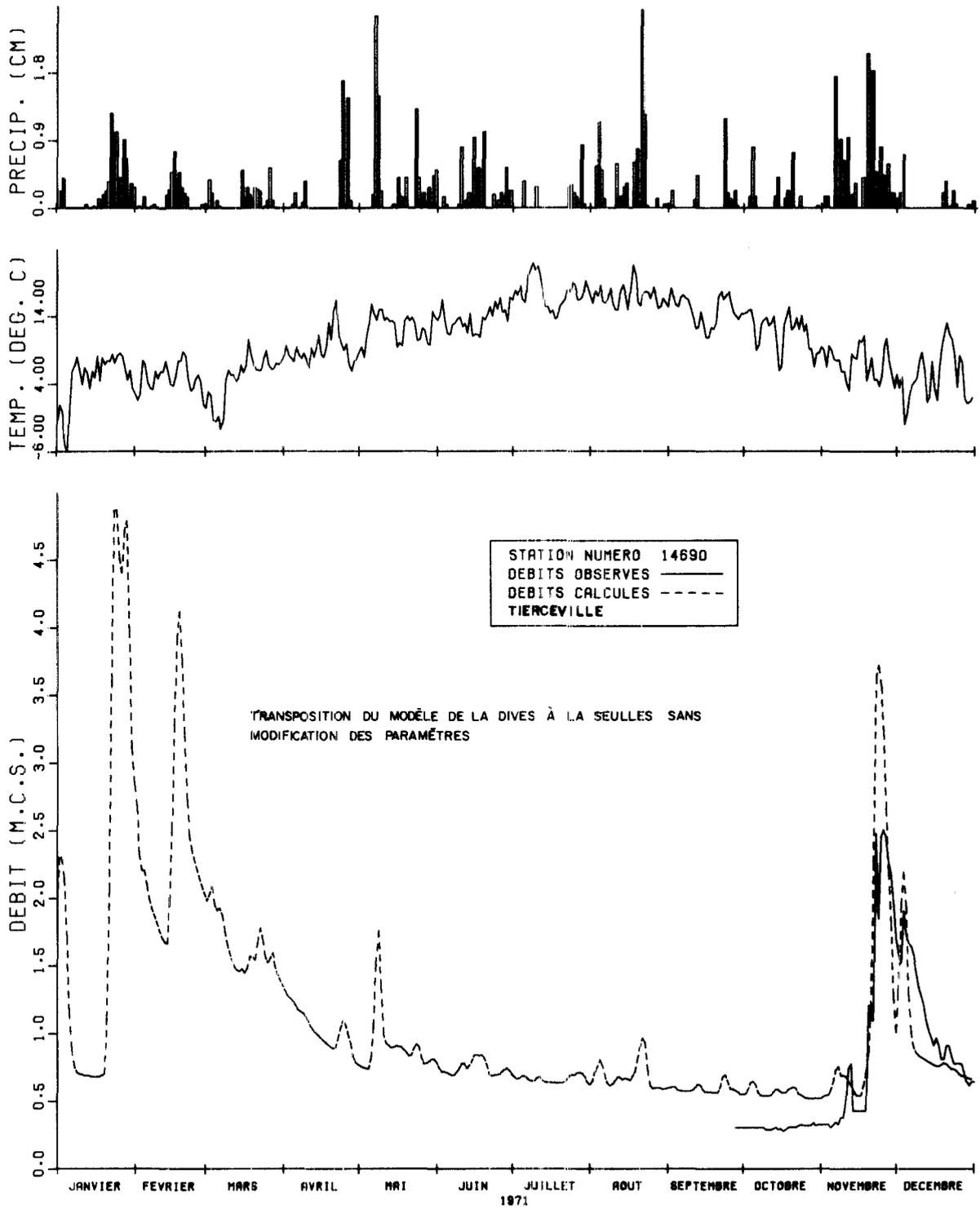


FIGURE 5.29. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE SEULLES (FRANCE)

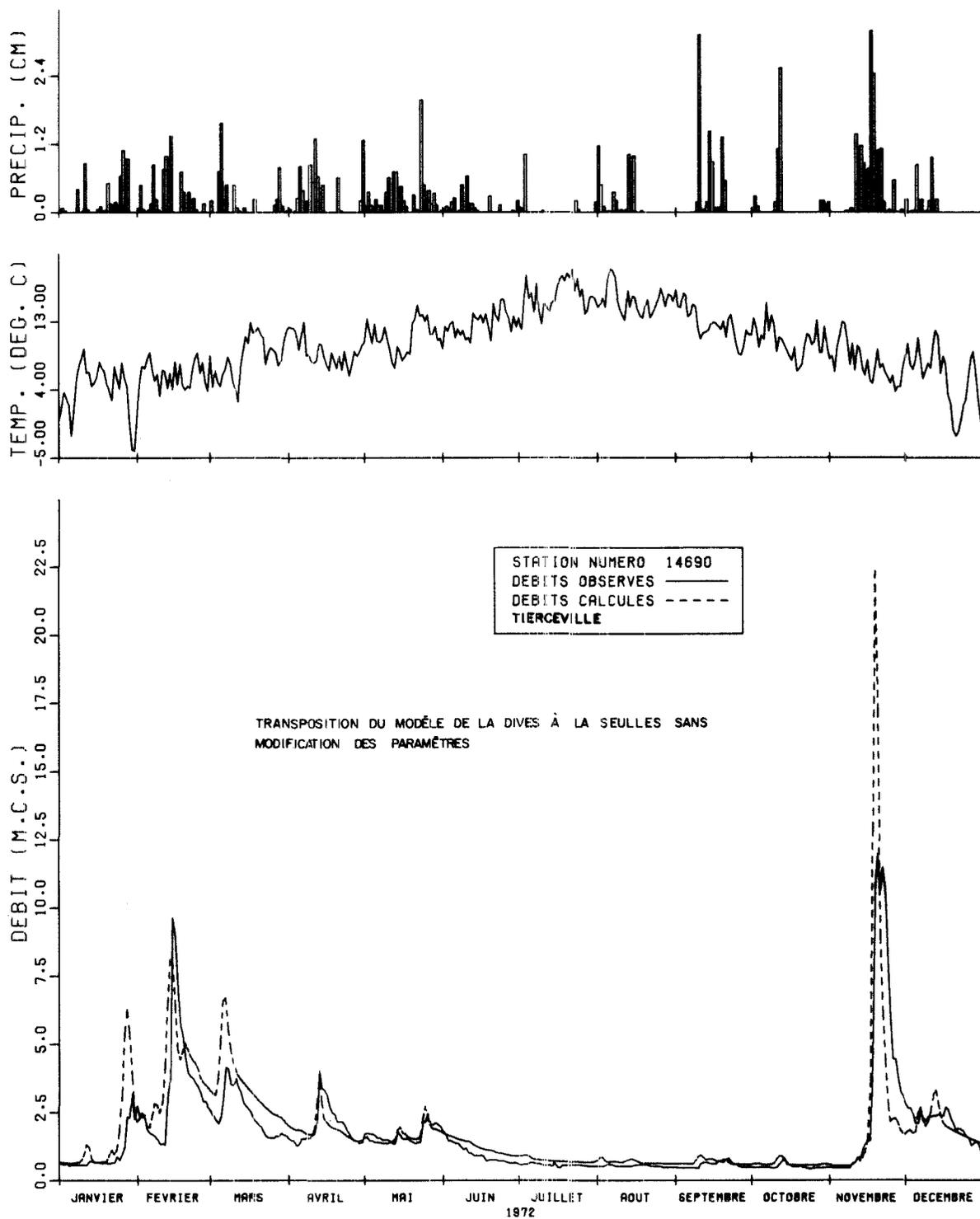


FIGURE 5.30. DEBITS OBSERVES ET DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE SEULLES (FRANCE)

**CHAPITRE -6-**

**CONCLUSION**

## 6- CONCLUSION

L'ensemble des simulations faites sur les trois rivières montrent que le modèle CEQUEAU peut être appliqué sans transformation aux rivières françaises.

Sa facilité de transposition a été démontrée en utilisant les paramètres de la rivière Harricana (Québec) pour une première simulation de rivières françaises; de plus, la transposition entre trois bassins français démontre la facilité de transposition entre rivières françaises, tout comme on l'a observé sur plusieurs rivières du Québec.

Le but de cette étude étant avant tout de démontrer la transposabilité du modèle, un minimum d'effort a été consacré pour la vérification et l'analyse de la qualité des données d'entrée au modèle. Compte tenu de l'incertitude de ces données\* et des courtes périodes d'observation témoin, les essais pour l'ajustement des paramètres de calage du modèle ont été très limités. Ce qui explique que dans le cas de la Dives et de la Seulles, les débits simulés ne sont pas aussi satisfaisants que nous l'aurions voulu. Il va de soi qu'avec des périodes d'observation plus longues et connaissant les différentes influences intervenant sur les débits, on aurait pu améliorer sensiblement la qualité des simulations.

Nous sommes convaincus que le but poursuivi a été atteint puisque le modèle, avec de légères modifications, a de façon satisfaisante simulé les débits, particulièrement pour le cas de la rivière Orne.

---

\* Débit naturel ou influencé

Enfin, si on voulait reprendre les simulations, il faudrait tenir compte dans le modèle, des facteurs qui modifient les débits afin de reconstituer les débits tels qu'observés. Le modèle est d'ailleurs déjà structuré pour tenir compte des influences sur les écoulements naturels (barrage, pompage).

Il serait également avantageux de tenir compte de la variabilité spatiale des caractéristiques géologiques en introduisant cette information sur chacun des carreaux.