

REPUBLIQUE FRANÇAISE

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

Direction des Ressources  
en Eau et en Sol

PROGRAMME DE CALCUL DES LAMES RUISSELEES  
EN ZONE ARIDE

( Application Citerne Telmam )

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

MISSION DE TUNISIE



Mai 1979

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DES RESSOURCES  
EN EAU ET EN SOL

Convention D.R.E.S.-O.R.S.T.O.M.  
Action de type A

REPUBLIQUE FRANCAISE

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

MISSION ORSTOM TUNISIE  
Section Hydrologie

PROGRAMME DE CALCUL DES LAMES RUISSELEES  
EN ZONE ARIDE

(Application Citerne Telmam)

---

M. EL FERSI  
Ingénieur Principal  
D.R.E.

G. GIRARD  
Directeur de Recherches  
O.R.S.T.O.M.

PROGRAMME DE CALCUL DES LAMES RUISSELEES  
EN ZONE ARIDE  
(Application Citerne Telmam)

par M. EL FERSI  
Ingénieur Principal  
D.R.E.

G. GIRARD  
Directeur de Recherches  
O.R.S.T.O.M.

---

Cette publication présente les résultats de recherches menées au Service Hydrologique de la D.R.E. dans le cadre d'accords conclus entre l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.) et la Direction des Ressources en Eau et en Sol du Ministère de l'Agriculture de la République Tunisienne.

TUNIS, MAI 1979

## I - AVANT-PROPOS

L'utilisation à des fins agricoles des eaux d'écoulement de surface provenant des têtes de petits bassins versants demande que soient connues : d'une part la chronologie et la valeur de chacun des apports journaliers d'eau de crue nécessaires aux projets de petites hydrauliques et, d'autre part, les débits maximums de crue afin d'assurer la protection des ouvrages projetés.

Cette chronologie des apports doit porter sur un nombre suffisant d'années permettant d'obtenir une estimation des données élaborées.

Etant donné que les observations hydrologiques directes d'un bassin versant représentent une opération longue, délicate et coûteuse, il est indispensable, à la suite de quelques années d'observations hydrométéorologiques complètes, de posséder un outil susceptible de fournir la chronologie des apports d'eau d'écoulement à partir des données pluviographiques car le régime des intensités pluviométriques n'est pas homogène.

C'est ainsi que pour la zone méditerranéenne (Sud Tunisie) où l'on observe une très grande variabilité de la fréquence des diverses intensités pluviométriques, un modèle utilisant des informations pluviométriques sur des pas de temps de 5 à 10 minutes a été développé. Il fournit les lames d'eau écoulées à chacun de ces pas de temps et au cours de la journée. Ce modèle et ses applications seront présentées dans le présent rapport.

## II - INTRODUCTION

Le programme de calcul des lames ruisselées à partir des relevés pluviographiques Intégraux se compose de trois parties essentielles qui sont en réalité imbriquées.

La première partie a trait à la lecture des relevés pluviographiques Intégraux bruts et à la détermination, pour des pas de temps préchoisis, de la hauteur élémentaire de pluie tombée dans cet intervalle de temps. Cette partie traite également le cas où une faible partie des informations pluviographiques fait défaut.

La seconde partie est constituée par le modèle lui-même de simulation utilisé pour la reconstruction des lames écoulées brutes. Le modèle peut être très simple : par exemple basé sur le contenu en eau de réservoir sol ou il peut être très sophistiqué en faisant appel :

- a) aux notions de temps antérieures à l'averse
- b) de pluie d'imbibition
- c) du taux d'infiltration initial lié à l'intensité de l'averse
- d) du taux d'infiltration variable à chaque pas de temps selon un ensemble de lois définies par les études de synthèses sur bassins versants représentatifs ou micro-bassins.

Cette seconde partie, le cœur du programme, doit être aisément modifiable et interchangeable selon le degré d'avancement des études expérimentales.

La troisième partie traite du prélèvement sur le réservoir sol de l'eau destinée à l'évapotranspiration du couvert végétal.

## III - PRESENTATION DES CARTES ET DEFINITION DES VARIABLES ESSENTIELLES

1 carte format (I8, I8, F8.1, F8.1, F8.1, F8.1)  
                   a    b    c    d    e    f

a = NST = numéro d'identification de la station hydrométrique  
           faisant l'objet de la simulation.

b = JAN = première année de la simulation.

c = DT = pas de temps choisi pour l'intervalle de temps de calcul exprimé en minutes, valeur sous multiple de 1440.

d = SM = stock maximal en eau dans le sol en 1/10 mm.

e = S = stock minimal en eau dans le sol en 1/10 mm.

f = S1 = capacité maximale d'absorption du sol en 1/10 mm par heure.

1 carte format (12 F5.0)

g

g = ETP = évapotranspiration mensuelle exprimée en 1/10 mm par jour.

1 carte format (I9, 10X, 6A4)

h

i

h = IDENT = numéro d'identification du poste pluviographique utilisé.

i = TITRE = nom du poste pluviographique.

Pour chaque année calendaire complète ou incomplète :

N - cartes de RPI (format ORSTOM)

1 carte blanche fin d'année

1 carte blanche fin de traitement pour un ensemble de stations pluviographiques.

NOTA : En cas d'erreur de station pluviographique, le programme réalise tout de même la simulation.

#### IV - PRESENTATION DU PROGRAMME

La partie essentielle du programme est comprise dans la boucle 200 qui permet l'exploration de chaque information pluviographique constituée par la hauteur cumulée de la précipitation à un instant repéré dans le temps à la minute près.

On réalise dans cette boucle, la détermination de la précipitation effective pour chaque pas de temps de calcul (DT) exprimé en minute. Soit VA cette précipitation tombée au cours du pas de temps J. Le vecteur PPANT (I) contenant l'ensemble des précipitations antérieures à chaque pas de temps sur un intervalle de ITR pas de temps, permet d'évaluer à tout instant les pluies antérieures (au maximum sur ITR x DT minutes).

A partir du moment où VA est nul, nous déterminons par un compteur ITA le nombre de pas de temps sans pluie. Ce nombre nous servira à calculer la valeur de la pluie préliminaire nécessaire à la fixation dans le temps du début du ruissellement. Cette pluie préliminaire du ruissellement est en effet en liaison directe avec la durée de la période sans pluie antérieure. Elle est normalement déterminée à la suite d'observations sur des bassins versants représentatifs ou à la suite de mesures faites au simulateur de pluie. La pluie préliminaire étant satisfaite par une averse donnée, la valeur de la capacité d'infiltration initiale liée à l'intensité présente de la précipitation sera déterminée par une relation extraite de la synthèse hydrologique du bassin de KORHOGO (Côte d'Ivoire).

A chaque nouveau pas de temps, et si la pluie ne cesse pas, la décroissance de la capacité d'absorption sera exponentielle. La lame ruisselée est déduite du bilan entre la pluie tombée au cours du pas de temps et cette capacité d'absorption calculée exprimée en hauteur d'eau.

Si la pluie cesse, la capacité d'infiltration va de nouveau être calculée au début de la prochaine averse selon le processus indiqué. Il serait certainement plus judicieux de programmer un accroissement de la capacité d'infiltration en l'absence de précipitation jusqu'à une limite maximale en cas de sécheresse très prolongée. Ceci peut faire ultérieurement l'objet d'étude au cours d'une synthèse et d'une application avec un modèle semblable mais légèrement transformé.

Les résultats obtenus à chaque pas de temps sont cumulés au cours d'une journée avec pluie et présentés à l'issue de cette journée. Ils sont également présentés d'une façon rudimentaire pour une utilisation éventuelle : évaluation de l'hydrogramme de crue après une convolution adéquate du type hydrogramme type .

Par ailleurs, l'ensemble des résultats et des données traitées sont présentés à la fin d'une année calendaire. Il s'agit de la lame ruisselée totale, de la valeur de l'évapotranspiration réelle calculée, de la pluie annuelle, de la précipitation maximale observée au cours d'un pas de temps pour cette année.

S'il existe une interruption des enregistrements pluviographiques au cours de l'année, nous considérons que pendant cette période d'interruption, il n'y a pas eu de précipitation. Le modèle continue de fonctionner et les indications de la variation des états des variables entre les dates sont fournies.

#### Cas de longues périodes sans pluie

Le modèle travaille, dans le cas de longues périodes sans pluie, au pas de temps journalier et fournit toutes les indications sur l'état des variables à la veille du jour avec précipitation.

#### V - DEFINITION DES VARIABLES UTILISEES

$C\emptyset 1$  = coefficient de la formule expérimentale de KORHOGO

$$C\emptyset - 18 = 0,76 (I\emptyset - 18)$$

$C\emptyset$  = capacité d'absorption exprimée en 1/10 mm par pas de temps.

DT = pas de temps calcul exprimé en minutes.

$E_{KDT} = e^{-K \cdot DT}$  (K coefficient d'ajustement de la décroissance de la capacité d'infiltration en fonction temps)

constante de décroissement de  $C\emptyset$ .

IA = index du début d'une précipitation et compteur du nombre de pas de temps consécutifs avec précipitation non nulle.



- IPP = Index de pluie préliminaire satisfaite (IPP : 1)
- IPRA = pluie cumulée en 1/10 de mm au relevé actuel.
- IPDR = pluie cumulée en 1/10 mm au temps ITDR.
- IRT = Intervalle de temps entre deux relevés pluviométriques exprimé en minutes, ou bien intervalle de temps entre le début d'un pas de temps et le relevé pluviométrique final des RPI.
- IRT1 = intervalle de temps entre le début du dernier pas de temps et le relevé pluviométrique final des RPI.
- ITA = temps antérieur sans pluie compté en pas de temps (p.d.t.)
- ITRA = instant en minutes compté depuis le 1er Janvier à 0h du relevé actuel.
- ITDR = ITRA du précédent relevé pluviométrique.
- ITR = temps de ressuyage du sol exprimé en pas de temps.
- JV = nombre de pas de temps depuis le dernier calcul de ETR.
- MPAS = pas de temps calcul exprimé en minutes.
- NJA = nombre de jours sans précipitation .
- NVJ = nombre de pas de temps par jour.
- PANT : pluie antérieure en 1/10 de mm depuis le début de l'averse.
- PM = pluie maximale annuelle en 1/10 de mm dans le pas de temps.
- PPA = pluie antérieure en 1/10 de mm calculée sur le temps ITR.
- PT = pluie cumulée en 1/10 mm sur la journée hydrologique.
- PTT = pluie annuelle cumulée en 1/10 de mm.
- VA = pluie en 1/10 de mm par pas de temps.
- R = ruissellement en 1/10 de mm évaluée au cours du pas de temps.
- RES = hauteur pluviométrique entre deux relevés ou bien hauteur résiduelle entre la fin du pas de temps étudié et le dernier relevé pluviométrique.
- RES1 = hauteur résiduelle entre le début du dernier pas de temps et le relevé pluviométrique final.

RJ = ruissellement cumulé en 1/10 de mm. sur la journée hydrologique.

S = lame stockée dans le sol en 1/10 mm à un pas de temps donné.

SETR = évapotranspiration réelle cumulée en 1/10 de mm sur l'année.

SM = lame d'eau maximale stockée dans le sol en 1/10 de mm.

S $\emptyset$  = lame d'eau minimale stockée dans le sol en 1/10 de mm.

S1 = capacité maximale d'absorption en 1/10 de mm par pluie puis par pas de temps.

SR = ruissellement annuel cumulé en 1/10 de mm.

VINT $\emptyset$  = intensité limite inférieure de ruissellement en 1/10 mm par pas de temps.

VINT = intensité de la précipitation exprimée en 1/10 mm par pas de temps

## VI - ORGANISATION DU PROGRAMME

L'organigramme A indique la logique du programme dans une première phase de travail avec le modèle. Il peut être modifié partiellement pour y inclure un aspect hydrologique nouveau mais il conservera sa structure interne en ce qui concerne la détermination de la précipitation par pas de temps et les évaluations faites au cours des périodes sans pluie.

L'organigramme B montre en détail le procédé de calcul du ruissellement utilisé actuellement. Il est possible que dans le futur une autre forme de calcul soit utilisé. Ce modèle doit rester évolutif.

L'organigramme C montre le calcul de la valeur de l'évapotranspiration réelle selon le contenu en eau du sol.

## VII EXEMPLE D'APPLICATION DU MODELE

Le premier exemple d'application de ce modèle intéresse le Sud Tunisien, soit la région située à l'Est de Gabès (17 km) soumise à une pluviométrie inter-annuelle de l'ordre de 185 mm. dont la distribution mensuelle présente des variations très aléatoires avec, cependant, une prédominance de fortes précipitations en octobre et en mars.

Le bassin versant faisant l'objet de la modélisation est celui de la citerne Telmam de superficie 0,022 km<sup>2</sup> qui a été suivi comme bassin représentatif de 1972 à 1977 dans le cadre de la convention entre le Ministère de l'Agriculture et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.

### CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES

#### STATION METEOROLOGIQUE DE GABES

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Anné
Pluviométrie moyenne mm.	16,9	34,5	29,6	16,3	19,5	17,6	20,7	15,0	8,1	1,3	0,3	1,4	182,
Pluie journ. maxim. mm.	93,5	43,8	84,1	100,3	43,5	27,2	50,0	13,4	20,6	11,0	2,4	3,7	*
Température moyenne 0°C	25,5	21,6	16,5	12,2	10,9	12,4	15,3	17,7	20,9	23,8	26,7	27,4	19,
Humidité %	70	71	65	66	65	63	63	71	71	70	68	68	67,
Teneur en vapeur d'eau g/m <sup>3</sup>		13,8	9,8	7,8	7,2	8,1	9,4	11,4	12,9	15,2	17,9	18,2	12,
Evaporation Piche mm.	192	158	132	133	133	132	167	141	186	189	229	229	2022
ETP "KIKUYU" mm.	129	101	76	57	63	56	97	128	164	170	203	187	1431

\* observations au pluviographe

HAUTEURS MAXIMALES DES PRECIPITATIONS EN MM AU PLUVIOGRAPHE DE GABES

(Valeurs expérimentales incomplètes indiquées scus toutes réserves)

DUREE \ FREQUENCE	1/10	1/5	1/2
5 mm	9,7	5,8	4,5
10 mm	13,5	10,0	6,3
15 mm	16,0	11,4	7,5
30 mm	30,0	15,6	11,4
45 mm	35,0	22,5	16,3
60 mm	37,4	26,7	18,2
180 mm	57,0	40,0	24,4

Les données ci-dessus proviennent du pré-dépouillement des enregistrements pluviographiques de la station météorologique de Gabès que le Service Météorologique National de Tunisie nous a présenté dans sa bibliothèque.

Les informations pluviographiques obtenues sur le bassin versant de la citerne Telmam ont été mises sous forme de RPI (Relevés Pluviographiques Intégraux) pour les années 1972 à 1976. Elles ont été utilisées pour les essais du modèle sur le bassin.

Les informations pluviographiques du poste de Gabès sont en cours d'exploitation pour la période 1951-1978.

LES SOLS DU BASSIN VERSANT

Les caractéristiques détaillées des sols du bassin versant sont données dans la publication "Etude d'un milieu représentatif du Sud Tunisien" de J. BOURGES, C. FLORET et R. PONTANIER dont nous avons extrait la carte fig. n° 1 des sols et le tableau ci-dessous.

DEFINITION ET SUPERFICIE DES DIFFERENTES UNITES DE SOLS DU BASSIN VERSANT DE LA CITERNE TELMAM

Unités de Sols	Matériau Texture Equilibr.	Matériau Limono- Argilleux	Matériau Détri- tique	Mio- plico- cène	Surface en m2	Surface %	Localisation Observations	
Cône caillouteux 1	présent	absent	0-10	90	560	2,5	Cône déjection au NE	
Sols peu évolués salés	2	0-20	20-40	40-110	110	790	3,6	partie amont NE
	3	0-30	30-70	70-150	150	2970	13,5	-
	4	0-40	40-70	70-140	140	1520	6,9	partie aval Tabia Est
	5	0-10	10-40	50-90	90	720	3,3	encroûtement gyp- seux entre 10 et 30
	6	0-50	50-100	100		14.360	65,3	-
Encroûtement gypseux (5)	absent	absent	100-135	135	1080	4,9	partie Nord-Oues de la citerne	

VEGETATION

Le recouvrement des espèces pérennes est de 17,8 % alors que le recouvrement des espèces annuelles avoisine 100 % au printemps.

La biomasse totale des espèces reste de l'ordre de 140 kg par ha.

RESULTATS DE LA SIMULATION DU MODELE

A l'échelle annuelle les résultats sont satisfaisants pour les cinq années.

ANNEE	PLUIE mm	RUISSELLEMENT en mm	
		observé	calculé
1972	89,0	18,8	14,0
1973	362,2	221,1	220,9
1974	92,0	23,1	17,1
1975	164,0	18,0	24,7
1976	309,0	46,5	81,1

A l'échelle de l'averse on note que dans 25 % des cas l'erreur sur le volume est supérieur à 100 % mais l'écart maximal n'est que de 10 mm (gr. 2).

DATE	PLUIE mm	LAME RUISSELEE en mm	
		observée	calculée
4/12/72	24,6	13,5	9,4
5/12/72	39,7	14,5	9,5
27/3/73	29,4	3,9	5,6
4/12/73	35,1	5,8	4,7
12/12/73	256,0	211,1	210,4
27/3/76	34,1	1,21	2,6

## PHASE EXTENSION

Avant la phase extension qui demande une étude critique de la documentation pluviographique saisie, une phase contrôle a été réalisée pour l'ensemble des stations pluviographiques environnantes, situées sur l'ensemble des bassins versants représentatifs du Sud Tunisien (1972 à 1977 sur le bassin du Zita).

Les résultats obtenus présentent des écarts sensiblement plus faibles. Le produit attendu de ce modèle est la chronologie des apports journaliers et annuels sur ce bassin à l'aide de 28 années d'observations pluviographiques ainsi que la chronologie des contenus en eau dans le sol au début et à la fin de chaque épisode pluvieux. L'étude des maximums de crue du bassin est envisageable à partir des éléments obtenus au cours des phases de calcul du modèle.

## VIII - TRANSPOSABILITE DES MODELES

L'extension des séries hydrologiques à partir des séries pluviographiques est une des applications réellement importante des modèles d'apports hydrologiques mais elle exige des mesures hydrométéorologiques intensives sur ces bassins représentatifs et une information pluviographique de base dépourvue d'anomalies sur une longue période.

La transposabilité des modèles sur des bassins régionaux n'ayant fait l'objet d'aucune mesure hydrométéorologique pose à l'heure actuelle de sérieuses difficultés de quantification des paramètres utilisés liés : à la perméabilité du sol et du sous-sol du bassin, à l'amplitude de variation annuelle du stock en eau des sols (fonction du couvert végétal), à la superficie du bassin réellement actif et à la pente de celui-ci.

L'étude sur le terrain de la caractérisation des facteurs conditionnels de l'écoulement devient nécessaire après consultation des cartes existantes (topographiques, géologiques, pédologiques, géomorphologiques et de végétation) ou des photographies aériennes.

Pour l'application du modèle d'apport à court pas de temps, la détermination de la pluie d'imbibition en fonction du temps antérieur sans pluie, de la capacité d'infiltration minimale, de la capacité d'infiltration maximale, de la fraction du bassin recouvert de litière et de plantes basses et de la valeur du ressuyage rapide, demande une étude détaillée de terrain et l'utilisation d'un appareil susceptible de fournir ces indications dans un temps minimum. L'ORSTOM s'engage dans cette voie en construisant un mini-simulateur de pluie en Tunisie et en comptant l'expérimenter sur les bassins versants représentatifs étudiés dans le cadre de la Coopération.

La transposabilité du modèle à court pas de temps à des zones arides du Brésil, de l'Afrique du Nord et du Sud Méditerranéen, ne doit pas être exclue, il suffit de réunir les deux conditions suivantes :

- . utilisation d'un mini-simulateur pour définir les paramètres du modèle
- . disponibilité d'une longue série d'enregistrement pluviographique de qualité (35 années, vitesse de déroulement supérieure ou égale à 12 mm/h).



## B I B L I O G R A P H I E

---

J. BOURGES, C. FLORET, R. PONTANIER -

Etude d'un milieu représentatif du Sud Tunisien.  
Convention DRES-ORSTOM, 1977, Gabès, 149 p.

H. CAMUS, P. CHAPERON, G. GIRARD, M. MOLINIER -

Analyse et modélisation de l'écoulement superficiel d'un  
bassin tropical. Influence de la mise en culture.  
Côte d'Ivoire KORHOGO.  
Travaux et Documents de l'ORSTOM n° 52, 1976, PARIS ,81p.

G. GIRARD - Les modèles hydrologiques pour l'évaluation de la lame  
écoulée en zone sahélienne et leurs contraintes.  
Cah. ORSTOM, Sér. Hydrologie, vol. XII, n° 3, Paris, 1975.

A. LAFFORGUE -

Inventaire et examen des processus élémentaires de  
ruissellement et d'infiltration sur parcelles. .  
Application à une exploitation méthodique des données  
obtenues sous pluies simulées.  
Cah. ORSTOM, Sér. Hydrologie, vol. XIV, n° 4, 1977 ,Paris.

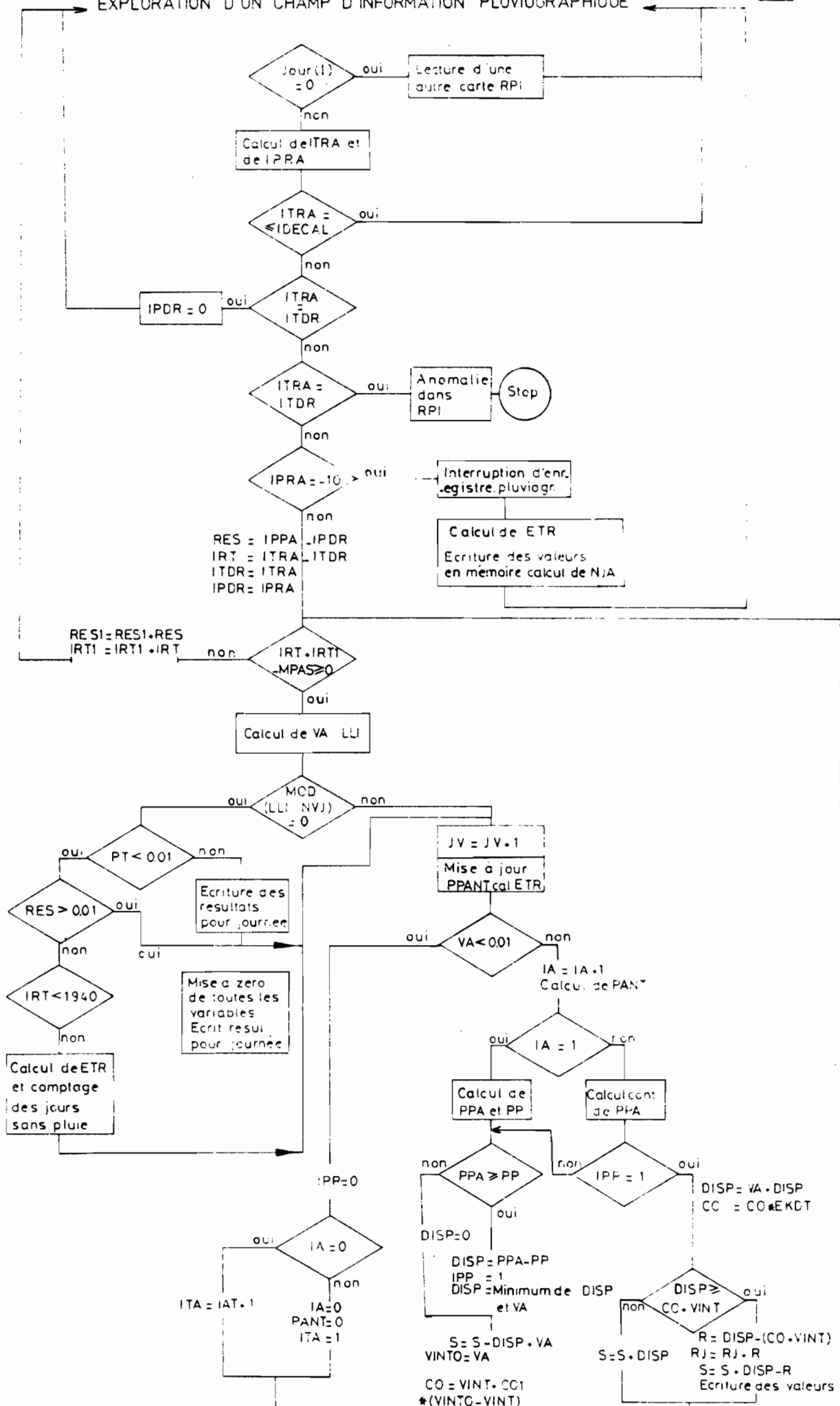
G. GIRARD, P. CHAPERON -

Traitement automatique de l'information pluviographique.  
Cah. ORSTOM, Sér. Hydrologie, vol. VIII, n° 3, 1971.

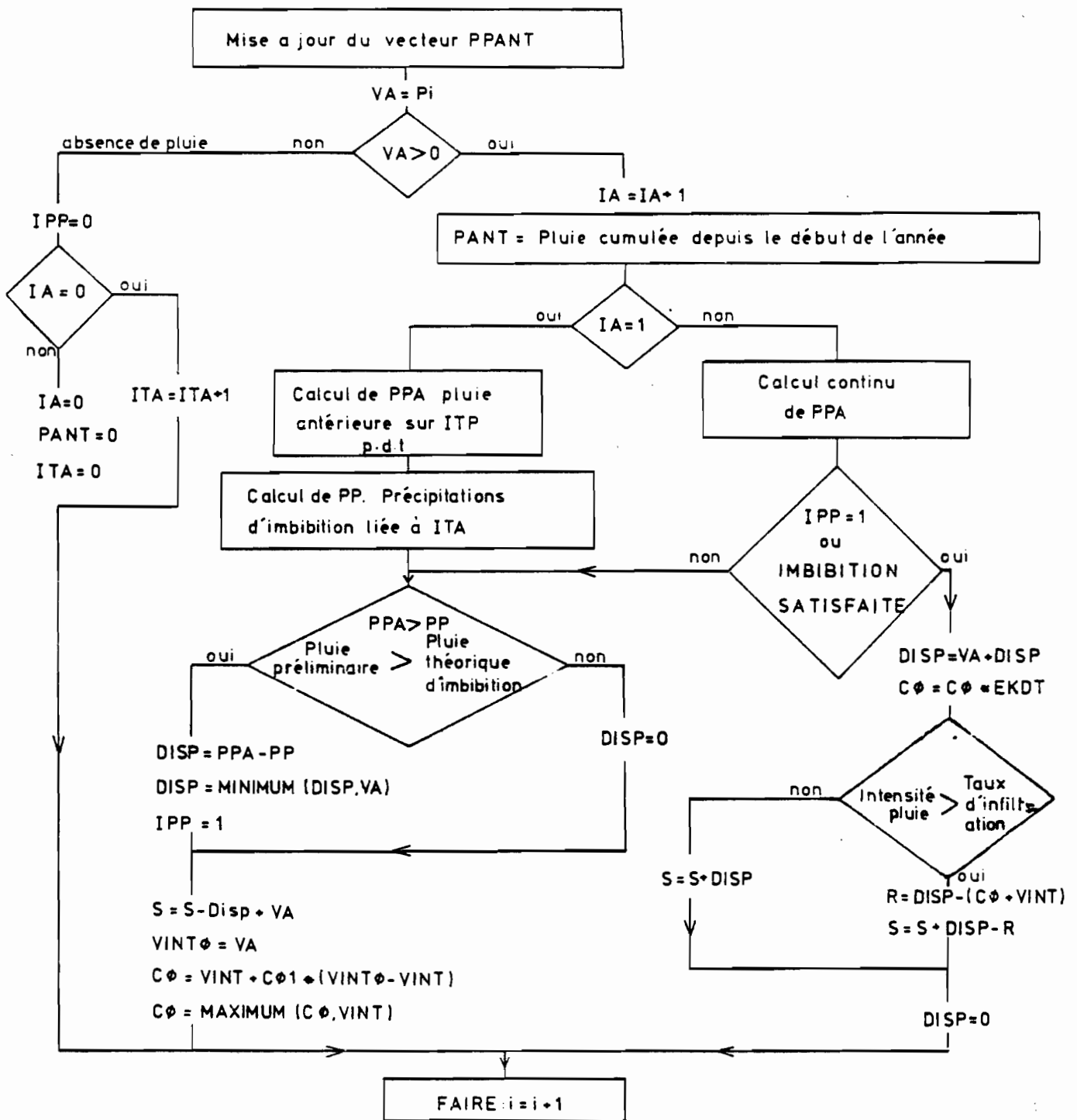
ORGANIGRAMME A

EXPLORATION D'UN CHAMP D'INFORMATION PLUVIOGRAPHIQUE

Gr. 1



## Organigramme du modèle d'apport à court pas de temps



- IA = Compteur de p.d.t avec pluies consécutives
- IPP = Index    IPP = 1 Imbibition satisfaite    IPP = 0 Pluie préliminaire insuffisante
- ITA = Nombre de p.d.t antérieurs avec précipitation nulle
- ITR = Dérivée en p.d.t de la cinétique rapide de ressuyage des sols
- PP = Pluie théorique d'imbibition liée à ITA
- PPA = Pluie préliminaire cumulée sur les ITR. p.d.t. précédents
- S = Stocken eau du sol
- VINT = Infiltration minimale au p.d.t
- R = Ruissellement calculé
- Cφ1 = Coefficient k du texte
- VA = Pluie Pi au p.d.t i

ANNEXE 1ORGANIGRAMME C

$$\text{ETR} = \frac{\text{JV}}{\text{NVJ}} \cdot \text{ETP} \cdot \frac{(\text{S} - \text{S}\emptyset)}{(\text{SM} - \text{S}\emptyset)}$$

$$\text{ETR} = \text{AMIN1} (\text{ETR}, \text{S} - \text{S}\emptyset)$$

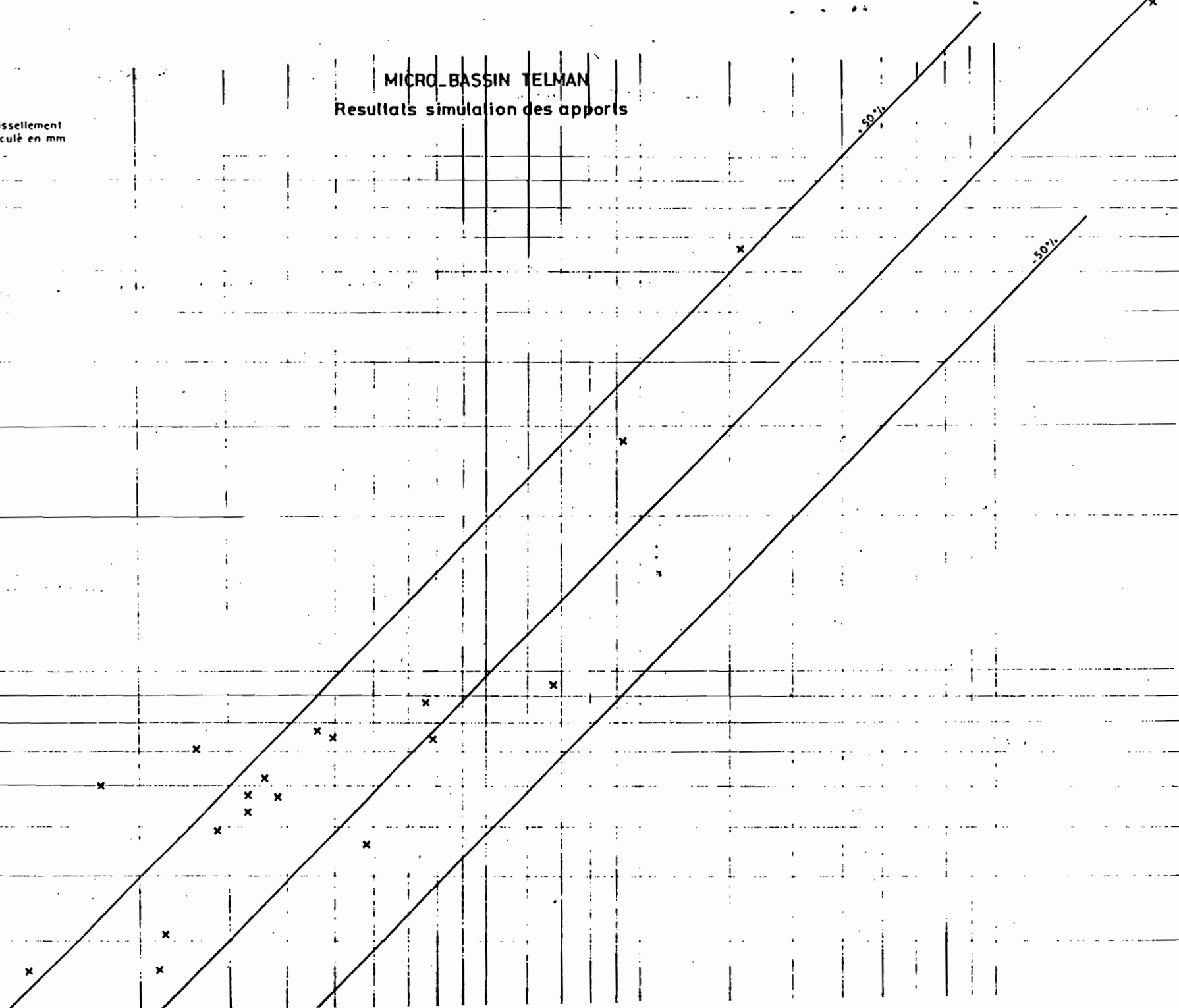
$$\text{SETR} = \text{SETR} + \text{ETR}$$

$$\text{S} = \text{S} - \text{ETR}$$

MICRO\_BASSIN TELMAN  
Resultats simulation des apports

Ruissellement  
calculé en mm

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3



MICRO\_BASSIN TELMAN  
Resultats simulation des apports

Ruissellement  
calculé en mm

