

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR DE CONCEPTION

TITRE

Implantation d'un logiciel
pluie-ruissellement

DATE : MAI 1987

AUTEUR

DIRECTEUR

CO-DIRECTEUR :

Genie : civil

Demba Sow

D.

Tessier

A mes parents

Et à tous mes amis

REMERCIEMENTS

Je voudrai profiter de la rédaction de ce rapport pour remercier très sincèrement tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé à la pleine réussite et à la mise en oeuvre de ce logiciel.

Il s'agit notamment de :

-Mr Daniel TESSIER, professeur

-Mesdames Monique LECLAIR et Elisa NDIAYE

-Messieurs NDOYE et A.LANGEVIN

tous du centre de calcul de l'EPT.

SOMMAIRE

Notre présente étude vise à analyser et à développer des relations entre les caractéristiques de la précipitation, celles d'un hydrogramme de crue et les caractéristiques d'un bassin versant, afin d'expliquer le comportement de ce dernier lors d'une pluie.

Un hydrogramme unitaire d'une durée de deux (02) heures sera dérivé à partir des différentes caractéristiques mentionnées précédemment, ainsi qu'un hydrogramme de la durée de la pluie nette et un hydrogramme en S.

La théorie utilisée est celle de l'hydrogramme unitaire développée à partir de 1932 par L.SHERMAN et qui fut la contribution la plus importante concernant le phénomène de ruissellement de surface.

Elle permet de reconstituer, à partir de l'hétéogramme d'une averse, un hydrogramme de ruissellement direct sur un bassin versant donné.

TABLE DES MATIERES

	Pages
Remerciements	II
Sommaire	III
Table des matières	IV
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
<u>CHAPITRE I</u> INTRODUCTION: Problématique et objet de l'étude	1
<u>CHAPITRE II</u> Revue de littérature	3
2-1 Hyétogramme et la notion de "pluie efficace", hauteur de "pluie nette"	3
2-2 L'indice d'infiltration	5
2-3 Les diverses composantes de l'écoulement	7
a/ Le ruissellement	7
b/ L'écoulement hypodermique	9
c/ L'écoulement souterrain	10
d/ Les précipitations tombant directement sur les nappes d'eau libres	11
2-4 Analyse d'un hydrogramme	12
a/ Caractéristiques d'un hydrogramme	12
b/ La courbe de concentration	14
c/ La pointe de l'hydrogramme	14
d/ La courbe de décrue	16
1- Courbe de décrue de l'hydrogramme de ruissellement	16
2- Courbe de décrue de l'hydrogramme global	16
3- Courbe de tarissement et capacité de rétention	

du bassin	17
e/La séparation des diverses composantes de	
l'hydrogramme	18
1-Le ruissellement ou écoulement direct de	
surface	18
2-L'écoulement de base	19
i/Méthodes simplifiées	19
ii/Méthodes approchées	21
2-5 La méthode de l'hydrogramme unitaire	24
a/ La notion d'averse unitaire et d'hydrogramme	
unitaire	25
1-Temps de base de l'hydrogramme unitaire et temps	
de concentration du bassin,averse unitaire	25
2- Définition de l'averse unitaire	26
b/La détermination de l'hydrogramme unitaire	26
c/ L'hydrogramme en S	27
d/ L'hydrogramme unitaire synthétique	29
e/ Quelques remarques sur la mise en oeuvre pratique	
de la technique de l'hydrogramme unitaire	30
1-La détermination de l'intensité nette des	
averses	32
2-Le choix de la durée limite des "averses	
unitaires"	32
<u>CHAPITRE III:Le programme "pluie-ruissellement"</u>	34
<u>CHAPITRE IV : Mode d'utilisation et application du modèle</u>	
"pluie-ruissellement"	38
4-1 Choix du bassin versant	38
4-2 Choix de l'évènement pluie-ruissellement	38

4-3 Données requises	39
4-4 Procédure pur l'obtention de résultats numériques	41
4-5 Résultats numériques	42
4-6 Fichier caractéristique de la précipitation et du ruissellement	43
4-7 Sorties graphiques	53
<u>CHAPITRE V</u> :Discussion et recommandations.Conclusion	61
<u>APPENDICE 1</u> : Programme "pluie-ruissellement"	64
<u>APPENDICE 2</u> : Sorties graphiques	80
<u>Bibliographie</u>	85

LISTE DES FIGURES

figures	pages
1- Schéma de définition de la pluie nette et de la pluie efficace	6
2-Les diverses composantes de l'hydrogramme type	13
3-Méthodes simplifiées de séparation des composantes d'un hydrogramme	20
4a-Utilisation de la courbe de tarissement pour la séparation des composantes d'un hydrogramme	22
4b-Séparation des composantes de l'écoulement en décrue sur un hydrogramme en coordonnées semi-logarithmiques	23
5-Séparation de l'hydrogramme	22
6- Hydrogramme en S	28
7a-Méthode de l'hydrogramme en S	28
7b-Construction d'un hydrogramme unitaire synthétique	31
8-Hydrogramme global en coordonnées semi-log	58
9- Hydrogramme de ruissellement global	79
10-Hydrogramme de ruissellement direct	80
11-Hydrogramme de ruissellement unitaire de la durée de la pluie nette	81
12-Hydrogramme de ruissellement unitaire de durée deux (02) heures	82

LISTE DES TABLEAUX

tableaux		pages
1	Fichier de données	40
2	Fichier de résultats	44
3	Fich 1	54

CHAPITRE I

INTRODUCTION

PROBLEMATIQUE ET OBJET DE L'ETUDE

Dans la plupart de ses réalisations, l'ingénieur civil est préoccupé par l'évacuation, la plus rapide possible, de quantités d'eau souvent importantes qui pourraient endommager ces dernières: c'est le cas des routes, des voies ferrées, des habitations avec les ponceaux, les réseaux de drainage et les digues de protection.

Dans d'autres cas par contre, il cherche à estimer, avec le moins d'incertitude, le volume d'eau qu'il pourra recueillir: c'est le cas des barrages, des bassins de retenue.

Pour cela, il a longtemps eu recours à la méthode rationnelle qui lui permettait d'estimer uniquement le débit maximum, en relation avec la superficie du bassin versant, l'intensité de la pluie, le coefficient de ruissellement moyen. Il n'avait alors aucune idée de l'allure de l'hydrogramme et ses ouvrages étaient alors surdimensionnés (cas des égouts pluviaux et des évacuateurs de crues).

L.SHERMAN a énoncé en 1932 le concept d'hydrogramme unitaire qui permet de reconstituer un hydrogramme de ruissellement direct à partir de l'hétéogramme d'une averse. Il établit donc une relation pluie-ruissellement.

Cette théorie s'applique, en général pour les bassins

dont la superficie est comprise entre 2 et 200 km².

En effet pour les bassins versants dont la superficie est inférieure à 2 km²., le temps de concentration t_c est trop court pour que l'averse soit unitaire.

Par contre ,si la superficie est supérieure à 200 km²., le bassin est rarement couvert par une averse uniforme.

Notre étude a pour objet d'analyser et de développer des relations entre les caractéristiques de la précipitation, celles d'un hydrogramme de crue et celles physiographiques d'un bassin versant en vue d'expliquer le phénomène de ruissellement sur ce dernier.

CHAPITRE II

REVUE DE LITTERATURE

Nous donnons ici un bref aperçu théorique des relations utilisées dans notre étude.

Nous nous limiterons à l'exposé des notions de base d'un hydrogramme pour mieux saisir les artifices qui seront utilisés dans le programme pluie-ruissellement.

2-1 Hyétoqramme et la notion de "pluie efficace" et hauteur de "pluie nette"

L'hyétoqramme est la représentation de la distribution temporelle de la précipitation en un endroit .

Les intensités sont enregistrées par un pluviographe à un pas de temps constant (1 heure ou autre unité). Le pluviomètre par contre ne donne que la hauteur totale tombée; il ne peut nous renseigner sur la distribution de la pluie.

La forme de l'hyétoqramme nous renseigne sur le type d'averse: longue ou courte, faible ou de forte intensité.

On a observé que parfois de longues pluies représentant une hauteur de lame d'eau déjà notable n'entraînent qu'une faible augmentation du débit des cours d'eau, tandis que dans d'autres circonstances, il suffit de courtes averses, apportant des hauteurs d'eau du même ordre de grandeur, pour produire des crues importantes.

La connaissance détaillée des précipitations tombées sur un bassin versant, serait donc de peu de valeur s'il

n'était possible de déterminer à chaque instant et dans chaque cas, la fraction de celles-ci qui atteint effectivement le cours d'eau, par la voie du ruissellement superficiel direct indépendamment de celle transportée beaucoup plus lentement par les écoulements hypodermique ou souterrain.

Si P est la hauteur de précipitation totale, définie comme la hauteur moyenne de la lame d'eau reçue par le bassin versant pendant une certaine averse, le bilan hydrologique peut être représenté par l'équation:

$$P = I + E + (F + S) + P_{net}$$

où:

I : représente la hauteur de pluie arrêtée par interception (couverture végétale)

E : la hauteur d'eau perdue par évaporation

F : la hauteur de pluie absorbée par infiltration

S : la hauteur d'eau correspondant au stockage dans les dépressions superficielles

P_{net} : la hauteur de pluie nette ou hauteur de pluie ruisselée.

C'est cette portion des précipitations qui atteindra l'exutoire par la voie du ruissellement superficiel.

On définit ainsi la "pluie effective" comme la différence entre la pluie totale et l'interception I .

Soit $L = F + S$, appelée pertes de l'averse

Une partie de L atteindra l'exutoire et alimentera l'écoulement différé (écoulements hypodermique et souter-

rain).

Pour la mise en application de la méthode de l'hydrogramme unitaire, on détermine la durée de la pluie nette t_r , définie comme étant la somme des intervalles de temps, pris au cours de l'averse, durant lesquels la pluie effective étant supérieure aux pertes, il existe un ruissellement superficiel sur le bassin (voir fig.1)

La pluie efficace P_c est la hauteur totale de la lame d'eau reçue par le bassin pendant la seule durée de la pluie nette; elle est donc égale pour cette période à la hauteur de la pluie nette augmentée de celle relative aux pertes de l'averse (y compris l'interception l).

2-2 L'indice d'infiltration θ

On admet que pour une averse donnée et des conditions initiales déterminées du bassin, le taux de recharge du bassin demeure constant pendant toute la durée de l'averse.

Sur l'hyétogramme qu'on a illustré à la fig.1, l'indice θ représente l'intensité moyenne au dessus de laquelle tout excédent de débit pluvial se retrouve sous forme d'écoulement à l'exutoire.

L'indice θ intègre, sous une forme simplifiée, l'action de l'interception, du stockage superficiel et de l'infiltration.

Si on connaît d'une part l'hydrogramme de ruissellement d'un bassin et d'autre part l'hyétogramme moyen de l'averse, l'indice θ peut être déterminé de la manière

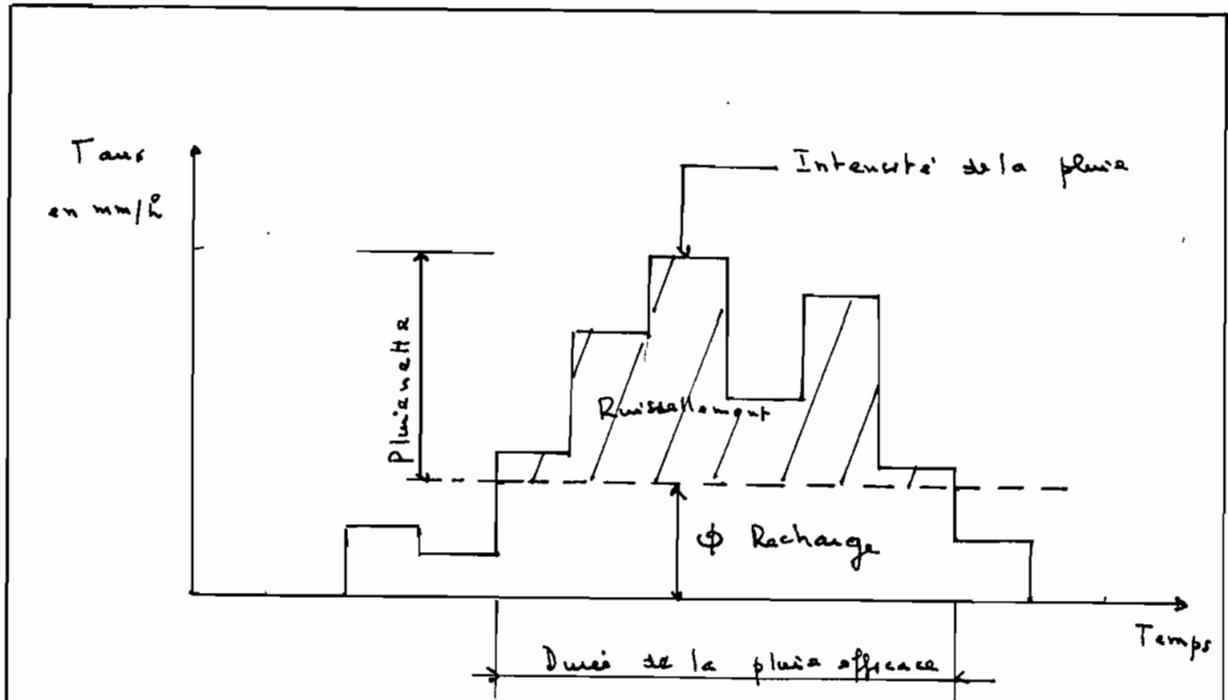


fig. 1.

Schéma de définition de la pluie nette et de la pluie efficace

suivante:

Si F_n est la hauteur de la lame d'eau ruisselée obtenue à partir de l'hydrogramme, on trace (par tâtonnements) une parallèle à l'axe des temps telle que la portion du hydrogramme située au dessus de cette droite représente la hauteur de la lame d'eau ruisselée F_n . L'ordonnée de cette parallèle est égale à l'indice θ .

2-3 Les diverses composantes de l'écoulement:

Les précipitations qui tombent sur un bassin versant atteignent l'exutoire de ce dernier par quatre voies différentes qu'empruntent respectivement:

- le ruissellement ou écoulement de surface
- l'écoulement hypodermique
- l'écoulement souterrain
- les précipitations tombant directement sur les nappes d'eau libres.

Considérons une averse uniforme et analysons ces modes d'écoulement.

a/ Le ruissellement:

On désigne sous ce terme l'écoulement par gravité, à la surface du sol, suivant la pente du terrain et dans le micro-réseau hydrographique des eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel.

Il peut s'écouler un délai entre l'instant où les premières gouttes tombent en un point donné du bassin versant et celui où corrélativement on observe une augmen-

tation du débit à l'exutoire de celui-ci; en effet:

1°/ Dans un premier temps, les précipitations ont tendance à saturer progressivement mais jamais complètement le terrain. Le ruissellement ne se produira pas tant que l'intensité de la pluie ne dépasse pas la capacité d'infiltration du sol.

2°/ Si l'intensité de la pluie excède cette capacité, un film d'eau se forme à la surface et s'écoule par gravité le long des pentes où son mouvement est plus ou moins freiné par les irrégularités du terrain et de sa couverture végétale. Une partie de l'eau qui s'écoule s'accumule d'abord dans les dépressions de la surface, les emplit, puis continue sa course en empruntant des micro-canaux dont la réunion forme des rigoles de plus en plus importantes, lesquelles se déversent à leur tour dans le réseau hydrographique proprement dit du bassin.

3°/ La dernière phase est constituée par l'écoulement de l'eau dans le réseau hydrographique proprement dit et qui évacue vers l'exutoire le débit ruisselé lequel se trouve alors mélangé avec les autres composantes du débit global.

La vitesse d'écoulement est beaucoup plus grande dans le réseau hydrographique que dans le film liquide qui s'écoule sur le sol; ainsi donc une forte densité hydrographique tendra à exalter la soudaineté et la violence des crues.

Le débit à l'exutoire ira en croissant avec l'apport progressif des zones les plus éloignées.

Si la durée de la pluie est supérieure au temps de concentration du bassin—qui est égal au temps nécessaire à la goutte la plus éloignée pour atteindre l'exutoire du bassin versant—il y a un moment où l'ensemble du bassin "débite en ruissellement".

Dans le cas d'une courte averse où tr<tc, le ruissellement de la partie la plus éloignée du bassin atteint l'exutoire dans la phase de décroissance des débits, parfois longtemps après la fin de la pluie.

Le débit maximum correspondra alors à l'arrivée du ruissellement d'une partie moyenne du bassin.

Après le ruissellement, les débits ne seront constitués que par les écoulements hypodermique et souterrain. L'importance du "ruissellement de surface" dans le débit total observé à l'exutoire dépend de la nature du bassin versant ainsi que de l'"état d'humidité initial" et de l'importance des précipitations.

Ainsi une pluie de faible intensité tombant sur un terrain très sec et très perméable donnera lieu à un ruissellement modeste ou nul tandis que sur terrain imperméable (zones bâties, chaussées, pistes d'aérodromes) ou saturé par des averses antérieures, la même précipitation pourra fournir un débit relativement important.

Il constitue donc le facteur prédominant du débit de pointe des crues.

b/ L'écoulement hypodermique:

On désigne sous ce vocable, l'écoulement de la partie

des précipitations infiltrées qui chemine quasi horizontalement dans les couches supérieures du terrain pour réapparaître bientôt à l'air libre à la rencontre d'un micro-chenal, d'un talus, ou plus généralement de la surface du sol à un niveau inférieur à celui de son point d'infiltration.

Il est, comme le ruissellement de surface, un résidu; il est en effet égal à la différence entre les infiltrations totales et la fraction de celles-ci absorbée pour augmenter l'humidité du sol et la réserve des nappes souterraines.

L'importance du débit qui emprunte la voie hypodermique dépend essentiellement de la structure du sol. La présence d'un horizon relativement imperméable (un tel horizon a tendance à se former dans les zones cultivées au niveau limite de pénétration des instruments aratoires) à faible distance de la surface, favorise ce genre d'écoulement, au détriment de la réalimentation des nappes profondes. Il peut atteindre 80% du débit total sur des versants à pente douce ameublis par des labours ou dans des zones forestières à forte couche d'humus recevant des averses d'intensité nette modérée (régions tropicales humides).

c/ L'écoulement souterrain:

Lorsque la zone d'aération du sol contient une humidité suffisante pour permettre la percolation profonde de l'eau, une fraction des précipitations atteint la nappe phréatique ou d'autres nappes plus profondes. L'importance de cet apport dépend de la structure géologique du sol et du sous-sol ainsi que de l'intensité de la pluie.

Sauf dans certaines régions karstiques, la durée du trajet de l'écoulement souterrain vers l'exutoire est beaucoup plus longue que celle des autres composantes, en raison de la faible vitesse de filtration dans les terrains (qui peut atteindre quelques mètres par jour dans certaines couches très perméables).

Sur un bassin de dimensions et de caractéristiques moyennes, le volume d'eau apporté à la nappe souterraine par une averse met souvent plus d'un mois à s'écouler par l'exutoire. De ce fait, la contribution de l'écoulement souterrain au débit total à l'exutoire est toujours graduelle et n'intervient que pour une très faible fraction dans les débits de pointe des crues; il fournit cependant la totalité du débit dans l'intervalle de temps qui sépare deux averses consécutives.

d/ Les précipitations tombant directement sur les nappes d'eau libres:

Ce débit peut facilement se calculer à partir des précipitations, si l'on connaît l'aire des surfaces d'eau (lacs, cours d'eau etc...) existant dans le bassin versant.

Cette quatrième composante de l'écoulement apporte sa pleine contribution au débit du cours d'eau dès le début de l'averse et elle est parfois prise en compte dans le calcul de la capacité à donner aux évacuateurs de crues des réservoirs; en général, son importance est faible aussi l'intègre-t-on le plus souvent dans le ruissellement de

surface.

2-4 Analyse d'un hydrogramme:

Un hydrogramme est la représentation graphique du débit d'un cours d'eau, à des temps donnés.

Il reflète les conditions climatiques (précipitations) et physiographiques d'un bassin versant.

a/ Caractéristiques d'un hydrogramme:

Considérons à la figure 2 un type d'hydrogramme enregistré à une station de jaugeage après une averse tombée sur un bassin versant.

Il a en général la forme d'une cloche dissymétrique que l'on divise en trois parties:

- la partie correspondant à la montée appelée courbe de concentration

- la zone entourant le maximum est dite "la pointe"

- la zone afférente à la descente est désignée sous le nom de courbe de décrue

EN considérant un bassin idéal parfaitement imperméable, R.K.LINSLEY a montré que la forme de l'hydrogramme dépendait:

- de la durée de l'averse tr

- de la distribution spatiale des précipitations

- de la variation de l'intensité des précipitations au cours de l'averse.

En réalité, cette forme dépend aussi des conditions initiales (précipitations antérieures ou état de saturation du sol), des caractéristiques topographiques du bassin.

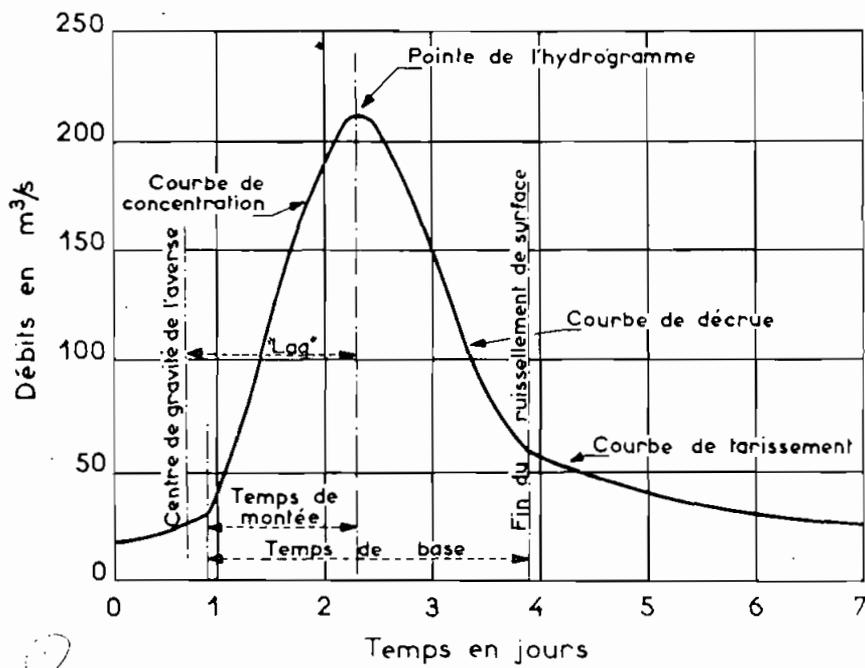


fig. 2 : Les diverses composantes de l'hydrogramme-type

b/ La courbe de concentration

Cette courbe représente la montée de la crue et son allure dépend:

1°/ de la durée et de l'hétérogénéité spatiale et temporelle de la pluie

2°/ de l'étendue et de la disposition des aires du bassin comprises entre des isochrones (d'égal temps) d'écoulement.

Ces aires d'égal temps de parcours sont souvent plus étendues dans les parties moyennes et supérieures du bassin versant que dans la région de l'exutoire (influence de la pente des versants). Le débit croît alors lentement au début du ruissellement puis plus rapidement jusqu'à la fin de la montée.

3°/ des conditions initiales du bassin (déficit en humidité du sol et état de la couverture du sol); la tendance à l'accélération du taux de croissance des débits en fin de montée est accrue par le fait que la proportion d'eaux météoriques soustraite à l'écoulement par interception, infiltration et rétention est beaucoup plus importante que dans les premières phases (dQ/dt va régulièrement croissant pour une intensité constante).

c/ La pointe de l'hydrogramme:

On désigne sous ce nom la région comprise entre le point d'inflexion de la courbe de concentration et le point d'inflexion de la courbe de décrue.

La pointe, qui correspond au débit maximum à

l'exutoire, survient plus ou moins longtemps après l'instant du maximum de la pluie nette. On caractérise ce "délai de réaction" de l'écoulement à la sortie du bassin à l'averse qu'il reçoit par le temps de réponse ou "lag" du dit bassin: on désigne ainsi l'intervalle de temps compris entre les instants correspondant au centre de gravité du hétérogramme d'une averse et au maximum de l'hydrogramme correspondant.

Le temps de réponse d'un bassin représente en quelque sorte le déphasage dans le temps (retard) entre la courbe chronologique des débits à son exutoire et celle des débits de la pluie, qui est supposée uniforme sur le bassin.

Le débit de pointe se produit, sous réserve de l'influence du stockage dans le réseau hydrographique, avec l'arrivée à l'exutoire de l'écoulement de la partie du bassin qui fournit le débit de ruissellement le plus fort. Si l'averse est d'intensité et de répartition uniformes, la pointe du débit a lieu après la fin de l'averse dépendamment des caractéristiques du bassin et de sa durée; si l'averse n'est pas uniforme de répartition, la pointe sera d'autant plus rapprochée du début de l'averse que celle-ci aura davantage été centrée près de l'exutoire.

Si l'intensité de la pluie varie, l'intensité maximum ayant lieu au début de l'averse, la pointe de l'hydrogramme peut se présenter à la fin de l'averse.

Les hydrogrammes de nombreux bassins versants comportent deux ou plusieurs maxima même pour une averse uniforme

de courte durée.

Ceci peut résulter de la forme du bassin qui produit un décalage des pointes de divers affluents; toutefois, souvent l'existence de plusieurs "pointes" reflète simplement l'hétérogénéité spatiale et temporelle.

d/ La courbe de décrue:

1°/ Courbe de décrue de l'hydrogramme de ruissellement:

Elle est la seule partie de l'hydrogramme qui peut être assez approximativement représentée par une équation générale applicable à la majorité des averses tombant sur un même bassin. Elle traduit l'écoulement de l'eau accumulée dans le bassin après la cessation de tout apport météorologique: son allure doit donc être quasi indépendante:

i/ des variations de l'intensité de la pluie

ii/ des infiltrations

et être seulement fonction

i/ des caractéristiques physiques du réseau hydrographique

ii/ et du volume d'eau retenu sur le bassin à l'instant pris comme origine .

Toutefois de fortes pluies dans le voisinage immédiat de l'exutoire engendrent une décrue exceptionnellement rapide, tandis qu'une averse concentrée sur les parties éloignées du bassin donnera une décrue particulièrement lente.

2°/ Courbe de décrue de l'hydrogramme global:

Chacune des composantes du débit total arrivant à

l'exutoire par un chemin différent, les courbes de décrue du ruissellement superficiel, de l'écoulement hypodermique et de l'écoulement souterrain auront leurs caractéristiques propres.

En première approximation, chacune de ces courbes de décrue peut être représentée par une fonction exponentielle de la forme:

$$Q_t = Q_0 \exp(-\alpha t)$$

qui donne le débit Q_t à l'instant t en fonction du débit à un instant t_0 antérieur et arbitraire pris comme origine.

α est un coefficient de décrue

On peut écrire cette formule sous la forme:

$$\log Q_t = \log Q_0 - \alpha t$$

ce qui montre qu'en coordonnées semi-logarithmiques les courbes de décrue sont représentées par des droites, ce qui donne facilement α .

Certains hydrologues désignent sous le nom de "débit de base" ces débits qui figurent en ordonnées dans la courbe de tarissement et qui correspondent au seul apport des écoulements souterrains.

Si le bassin versant n'est pas homogène, l'ingénieur français MAILLET propose de représenter la courbe de décrue par la formule:

$$Q_t = Q_0 \exp(-\alpha t^n)$$

qui comporte deux paramètres d'ajustement α et n .

3°/ Courbe de tarissement et capacité de rétention du

bassin:

MAILLET a essayé de représenter le débit d'une source en régime non influencé, c'est à dire sans apports extérieurs .

La courbe de MAILLET (ou courbe de tarissement) représente donc la décrue des eaux souterraines:

$$W = \int_0^{\infty} Q_0 t \, dt = \int_0^{\infty} Q_0 \exp(-\alpha t) \, dt = Q_0 / \alpha$$

ce qui donne la capacité de rétention du bassin et permet de caractériser les réserves des nappes phréatiques en fonction du seul débit de la rivière.

Les courbes de tarissement sont également utiles pour l'étude des infiltrations, de l'humidité du sol.

e/ La séparation des diverses composantes de l'hydrogramme:

La séparation des différentes composantes de l'hydrogramme ne peut qu'être approximative puisqu'il n'existe pas de méthode simple permettant d'identifier avec précision l'origine et le trajet antérieur des débits observés à l'exutoire.

En pratique on se limitera à diviser l'hydrogramme en deux parties :

1°/ Le ruissellement ou écoulement direct de surface:

Il englobe le ruissellement superficiel, l'écoulement hypodermique et les précipitations reçues sur les surfaces d'eau libres du bassin.

Il est cependant plus logique de grouper l'écoulement hypodermique avec l'écoulement souterrain.

2°/ L'écoulement de base:

Il est constitué de l'écoulement souterrain (certains y ajoutent l'écoulement hypodermique).

L'hypothèse de base de la séparation de l'hydrogramme est que les écoulements ont des temps de réponse différents: la contribution du ruissellement de surface cesse en premier et l'écoulement souterrain se prolonge plus longtemps, bien après l'arrêt de l'écoulement hypodermique.

Parmi les méthodes utilisées, il y a les méthodes graphiques.

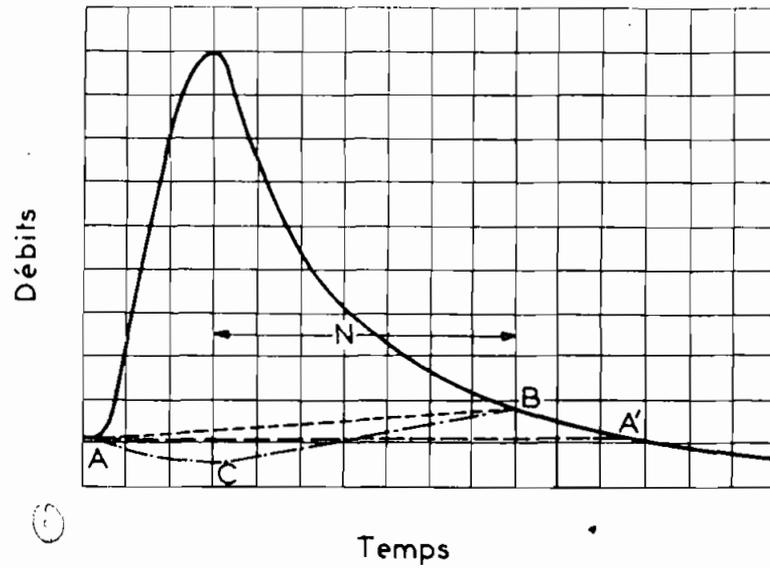
i/ Méthodes simplifiées:

Pour certains problèmes, l'ingénieur peut se contenter de méthodes de séparation simples telles que celles illustrées à la figure.3 .

La plus expéditive consiste à admettre comme limite de l'hydrogramme de l'écoulement souterrain la ligne parallèle à l'axe AA'; elle présente l'inconvénient de conduire à un temps de base trop important pour l'hydrogramme de ruissellement.

En variante, on peut assigner à l'hydrogramme des eaux souterraines un tracé suivant la droite AB qui joint le point représentatif de l'origine de la crue à celui figurant le débit N jours ou heures après la "pointe"; la valeur de N est choisie de façon à ce que le point B corresponde à la fin du ruissellement.

Une formule parfois plus plausible mais tout aussi



Méthodes simplifiées de séparation des composantes d'un hydrogramme

fig 3 : Méthodes simplifiées de séparation des composantes d'un hydrogramme.

subjective, est d'admettre pour l'hydrogramme susvisé la ligne ACB; le segment AC schématise la portion de la "courbe de tarissement" partant du débit correspondant au début de la montée des eaux et s'étendant jusqu'à l'instant de la pointe de la crue. On joint par une droite le point C ainsi obtenu au point B choisi comme ci-dessus.

ii/ Méthodes approchées:

Si l'on a pu établir avec quelque précision la courbe de tarissement du bassin en régime non influencé, il est plus logique de tracer par tâtonnements la courbe de décrue des eaux souterraines, comme l'indique la figure.4a- en faisant coïncider au mieux la partie terminale de l'hydrogramme global avec la portion de la droite de tarissement; l'époque de la pointe de la crue phréatique ainsi que l'allure de sa courbe de montée doivent être choisies au jugé ou, si possible, déterminées expérimentalement par analyse des hydrogrammes de crues n'ayant produit aucun ruissellement.

Pour obtenir la décomposition de l'hydrogramme global en trois composantes, S.BARNES utilise le fait qu'en coordonnées semi-logarithmiques les courbes de décrue de chacune des composantes sont approximativement représentées par des droites de pente différente.

S'il en est ainsi, on peut procéder à la séparation des diverses composantes comme l'indique la figure.4b.

Nous ne nous intéresserons, dans notre étude, qu'à la séparation de l'hydrogramme de ruissellement et celle de

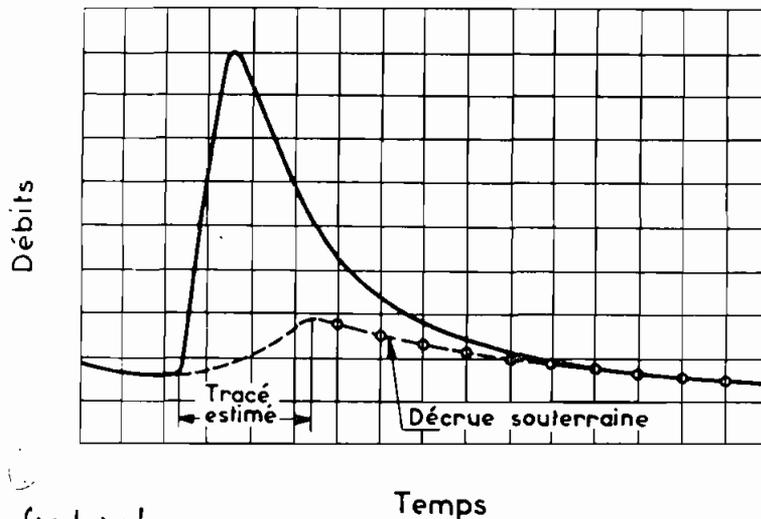


fig 4: a/

— Utilisation de la courbe de tarissement pour la séparation des composantes d'un hydrogramme

7-17

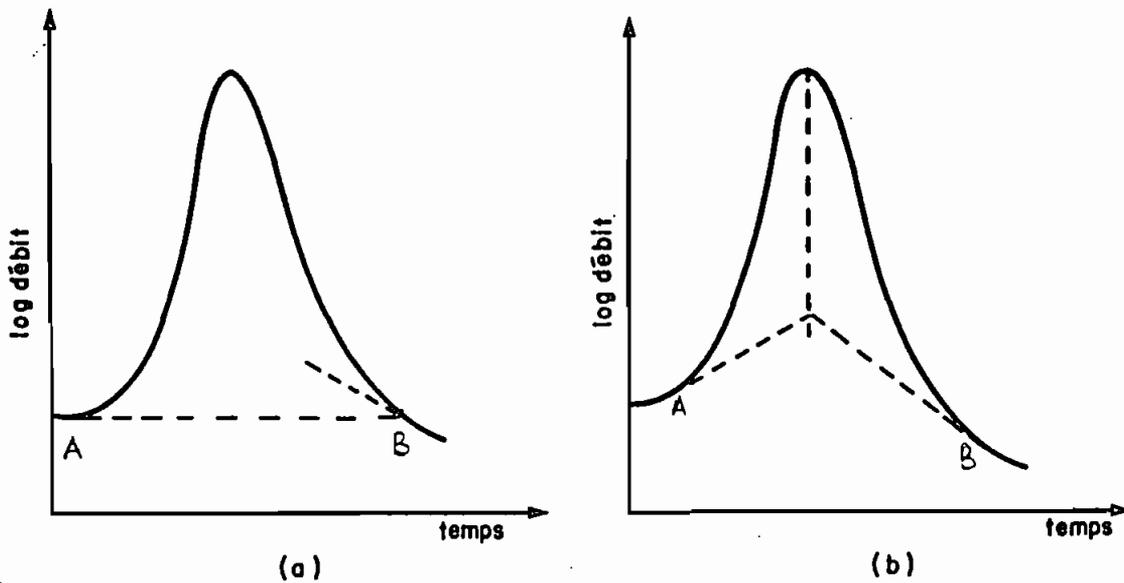


fig 5: Séparation de l'hydrogramme

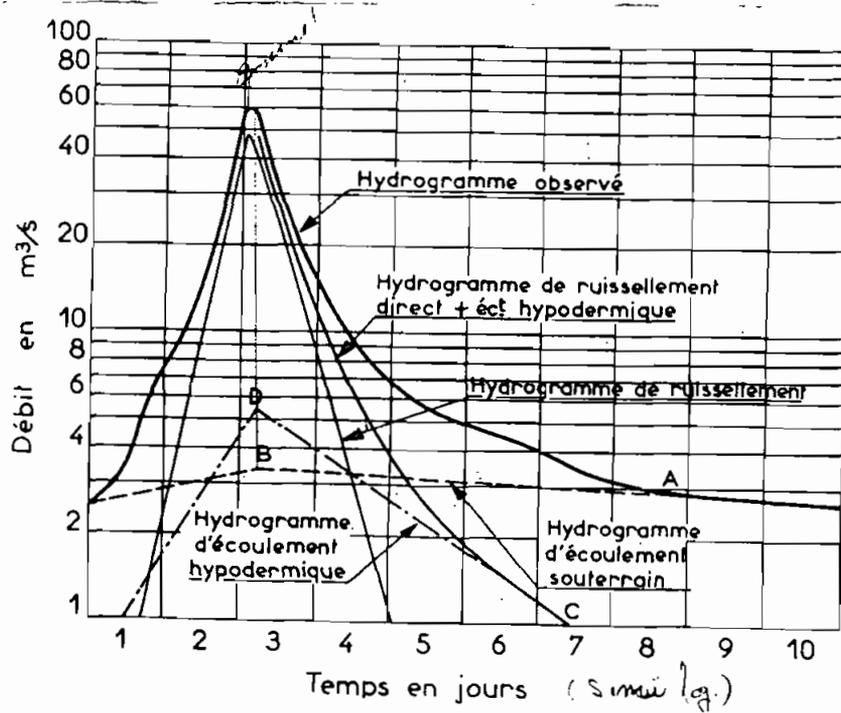


fig 4-b : Séparation des composantes de l'écoulement sur un hydrogramme en coordonnées semi-logarithmiques

l'hydrogramme de l'écoulement souterrain plus hypodermique (écoulement de base) .

La courbe de tarissement étant un segment linéaire, on la prolonge vers la gauche jusqu'à couper l'hydrogramme global au point B qui marque la fin de l'écoulement hypodermique.

Deux méthodes sont utilisées pour relier les points A et B. La première, illustrée à la figure 5-a, consiste à relier les points par une droite. C'est celle-là que nous adopterons.

La seconde méthode, présentée à la figure 5-b, consiste à prolonger le segment de tarissement jusqu'à la verticale de la pointe de l'hydrogramme et à la relier par la suite au point du début de la montée A.

L'utilisation de l'une ou l'autre de ces méthodes permet de tracer un hydrogramme composé du ruissellement de surface et de l'écoulement hypodermique; cet hydrogramme sera celui du ruissellement relatif à une averse donnée.

2-5 La méthode de l'hydrogramme unitaire:

Cette méthode, proposée en 1932 par L.K. SHERMAN, a pour objet la détermination de l'hydrogramme de ruissellement superficiel à l'exutoire d'un bassin, à partir des hyéto-grammes de l'averse correspondante reçue par le dit bassin.

Elle établit donc une relation pluie-ruissellement. Il faut noter que les hyéto-grammes d'averses considérées dans la théorie de l'hydrogramme unitaire sont ceux représentant les hauteurs de "pluie nette" ou "ruisselée" P_{net} que nous

avons défini plus haut.

a/ La notion d'"averse unitaire" et d'"hydrogramme unitaire":

On appelle "hydrogramme unitaire", l'hydrogramme résultant d'une averse uniforme sur le bassin donnant une lame de ruissellement égale à 1 mm ou 1 Po ou une autre unité caractéristique.

1°/ Temps de base de l'hydrogramme unitaire et temps de concentration du bassin, averse unitaire:

On appelle "temps de base" d'un hydrogramme global l'intervalle de temps compris entre le début et la fin du ruissellement superficiel provoqué par l'averse correspondante.

L'analyse de divers hydrogrammes de ruissellement superficiel suggère l'idée que si t_r est la durée de l'averse nette et non de l'averse réelle), supposée uniforme dans le temps et dans l'espace, tombant sur un bassin dont le temps de concentration est t_c , le temps de base T de l'hydrogramme est: $T = t_r + t_c$

Avec SHERMAN on peut admettre comme hypothèses de travail que:

i/ Sur un bassin donné, tous les hydrogrammes résultant d'averses unitaires uniformes de même durée auront le même temps de base.

ii/ Les ordonnées homologues de divers hydrogrammes afférents à des averses de même durée seront proportion-

nelles aux intensités des averses correspondantes.

Par analogie on a étendu ces hypothèses, d'abord admises pour des averses uniformes, au cas d'averses non uniformes mais semblables, c'est à dire ayant, en valeur relative, la même répartition temporelle et spatiale; dans ce cas également, les hydrogrammes relatifs à des averses "semblables" de même durée seraient des courbes affines par rapport à l'axe des temps, de rapport d'affinité entre deux quelconques d'entre elles égal au rapport des volumes d'eau ruisselés apportés par chacune des averses considérées.

2°/ Définition de l'averse unitaire:

Une averse est dite unitaire lorsque la durée t_r de l'averse est suffisamment inférieure au temps de concentration t_c du bassin; en pratique on choisira des durées inférieures au $1/3$ ou même au $1/5$ du temps de concentration.

b/ La détermination de l'hydrogramme unitaire:

La constitution d'un hydrogramme unitaire nécessite la connaissance de l'hyétogramme d'une averse d'intensité relativement uniforme de la durée désirée et de l'hydrogramme de ruissellement direct relatif à cette averse.

L'hydrogramme unitaire est obtenu en divisant chaque ordonnée de l'hydrogramme de ruissellement direct par la hauteur de ruissellement (lame d'eau ruisselée) ou la hauteur de la pluie nette.

Cet hydrogramme unitaire correspond à une pluie d'intensité uniforme de durée égale à la ~~hauteur~~^{durée} de la pluie nette t_r . Cette durée est déterminée en séparant de l'hétérogramme la portion ayant contribué au ruissellement direct. La méthode de l'indice d'infiltration ϕ a été illustrée plus haut. Elle est approximative car elle suppose que les pertes (par infiltration, interception) sont constantes durant toute la durée de l'averse; elle est cependant suffisante pour la plupart des applications.

c/ L'hydrogramme en S:

On désigne ainsi la courbe de montée de l'hydrogramme qui correspond à une averse uniforme d'une durée égale ou supérieure au temps de concentration t_c du bassin.

L'hypothèse de linéarité permet d'additionner directement les ordonnées d'hydrogrammes unitaires.

Ainsi, il est possible de construire un hydrogramme de durée $N t_r$ en additionnant N hydrogrammes uniformes d'une durée t_r décalés de t_r heures. Cette méthode est limitée aux durées multiples entières de la durée de l'hydrogramme unitaire.

L'hydrogramme en S est la somme d'une série d'hydrogrammes unitaires d'une durée t_r , décalés de t_r heures. Si le temps de base d'un hydrogramme unitaire est T , la somme de T/t_r hydrogrammes unitaires suffira à établir la courbe en S (voir figure 6).

Il faut noter que l'hydrogramme en S ne dépend que des "caractéristiques de drainage" du bassin.

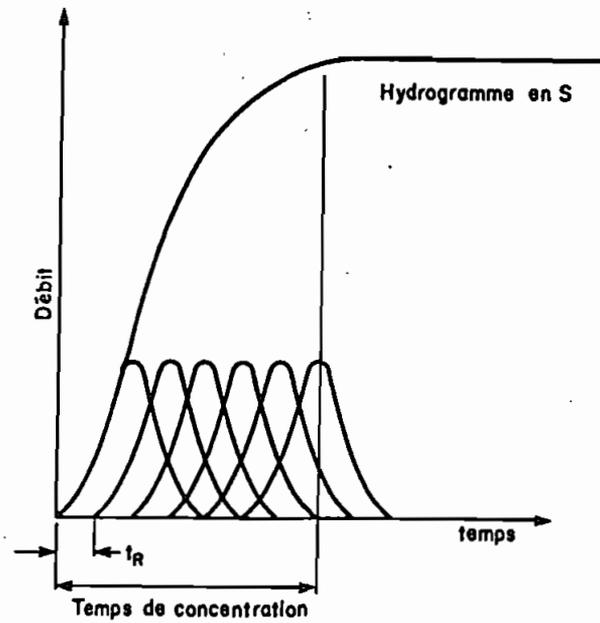


fig 6: Hydrogramme en S

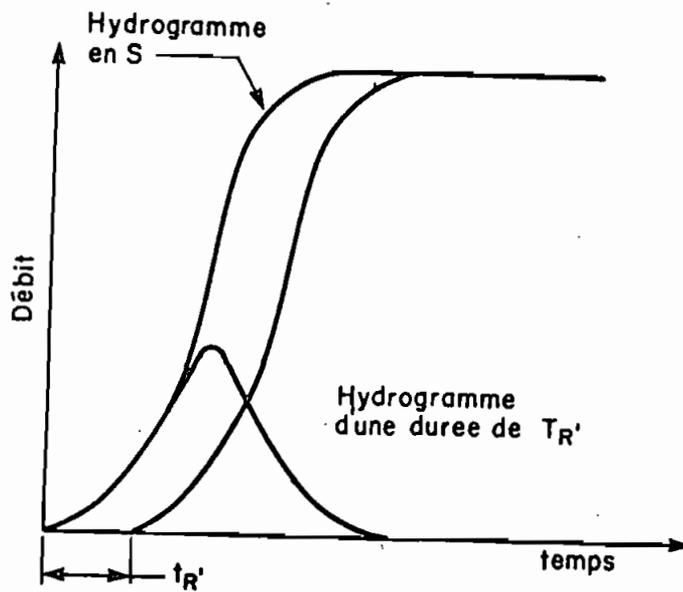


fig 7a: Méthode de l'hydrogramme en S

On peut aussi, à partir d'un hydrogramme en S, obtenir un hydrogramme unitaire pour une pluie d'intensité uniforme et de durée $t'r$.

Pour cela, on soustrait les ordonnées de deux hydrogrammes en S décalés de $t'r$, ce qui donne l'hydrogramme de ruissellement direct.

L'hydrogramme unitaire est obtenu en multipliant chacune des ordonnées de l'hydrogramme de ruissellement direct par le rapport $t'r/\text{durée}$ de l'hydrogramme en S (voir figure 7). a/

d/ L'hydrogramme unitaire synthétique:

Un hydrogramme unitaire synthétique est un hydrogramme unitaire tracé, par des segments de droites, à partir des caractéristiques usuelles d'un hydrogramme.

Les caractéristiques de la précipitation, du ruissellement et certaines caractéristiques physiographiques du bassin sont nécessaires pour développer les relations dans ce type d'hydrogramme.

Il s'agit de TP, QP, WO, WQP, W75 et W50 .

La méthode consiste premièrement à localiser QP. Il s'agit à partir du centre de gravité de la pluie efficace (CG) d'avancer de la durée TP. Lorsque la valeur QP est placée, nous pouvons localiser le début de l'hydrogramme unitaire synthétique considéré en reculant dans le temps de la distance WQP.

Le point de la fin se détermine en avançant à partir du début de l'hydrogramme, de la valeur de WO.

Lorsque le point de début est relié au sommet de l'hydrogramme (QP) par une droite, il est alors possible de localiser W75 et W50 connaissant Q75 et Q50 calculés à partir de QP.

On termine la construction de l'hydrogramme unitaire synthétique en partant du sommet jusqu'à Q75, de Q75 à Q50 et finalement de Q50 à la fin du ruissellement (matérialisé par W0) , voir figure 7b.

Le volume d'eau ruisselé sous l'hydrogramme unitaire synthétique doit être d'un (1) pouce ou 25.4 mm.

Ce volume est donné par la relation:

$$VOL = 3.6 \text{ QP} (0.25 \text{ W75} + 0.375 \text{ W50} + 0.25 \text{ W0}) / \text{AIRE}$$

Si VOL n'est pas égal à 25.4 mm (1 Po), il faudra corriger les variables W50, W75 et W0 en les multipliant par le rapport $25.4 / VOL$ (mm) .

Dans notre présente étude, nous ne nous intéresserons pas à ce type d'hydrogramme.

e/ Quelques remarques sur la mise en oeuvre pratique de la technique de l'hydrogramme unitaire:

En règle générale, la technique de l'hydrogramme unitaire n'est applicable que sur un bassin bien connu par des études préliminaires sur le terrain et comportant notamment un réseau de pluviographes et de pluviomètres judicieusement disposés et exploités depuis assez longtemps.

On établira, autant que possible, l'hydrogramme unitaire à partir des hydrogrammes et notamment des hyétogrammes afférents à des "averses isolées" soigneusement observées.

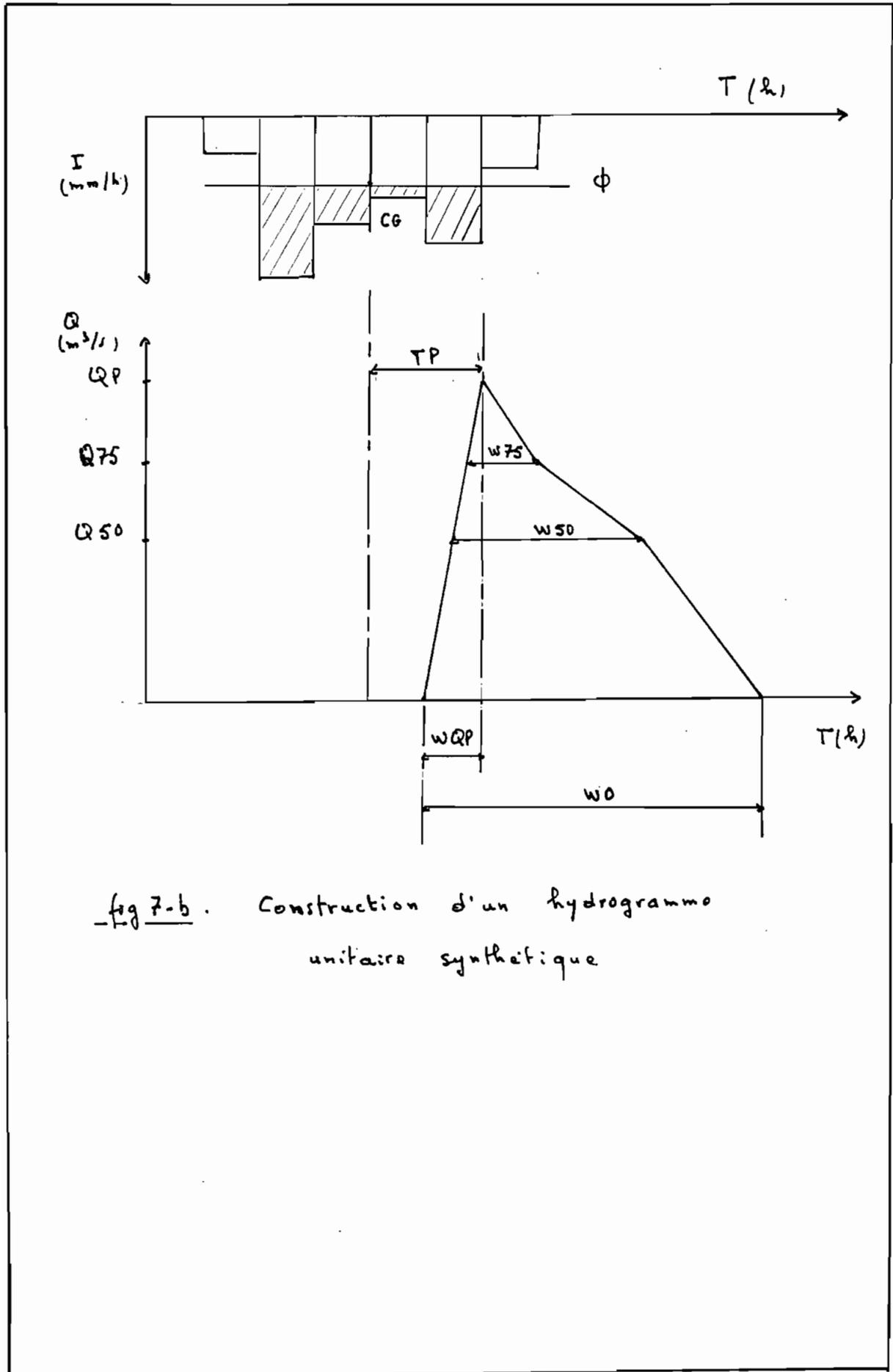


fig 7-b. Construction d'un hydrogramme unitaire synthétique

1° / Détermination de l'intensité nette des averses:

La détermination de l'intensité de la pluie nette à partir des graphiques des pluviographes exigerait, en toute rigueur, de délicates études sur la variation de la capacité d'infiltration du sol.

En pratique on s'efforce de préciser, par des observations adéquates, cette capacité en fonction:

-de l'écart de temps entre le début de l'averse étudiée et la fin de la pluie précédente, compte tenu de la hauteur totale de celle-ci

-de la durée de la pluie .

A chaque instant, l'intensité nette ou excédentaire est égale à l'intensité des précipitations diminuée de capacité d'infiltration du sol et de l'évaporation. On note en outre, pour les différentes crues observées, la valeur du "lag" ou "temps de réponse" et du temps de montée.

Toutes ces données permettent de comparer la valeur de divers paramètres pour les différentes crues analysées.

2° / Le choix de la durée limite des "averses unitaires":

C'est l'expérience qui fixera cette durée limite qui doit être basée sur la durée de la pluie nette et non sur la durée totale de la pluie.

Sans qu'il soit possible de l'ériger en règle précise à ce sujet, on peut estimer que l'averse cesse d'être "unitaire" si la durée (nette) dépasse le quart du "temps de concentration" ou même de montée du bassin; il y a intérêt à choisir

une averse de durée bien plus courte et d'intensité efficace aussi grande que possible.

CHAPITRE III

LE PROGRAMME PLUIE-RUISSÈLEMENT

L'application du programme pluie-ruissellement nécessite, dans un premier temps, la constitution d'un fichier de données qui contient les données de précipitation et les données hydrométriques.

Le nom de ce fichier est déterminé par l'utilisateur lors de la constitution de ce dernier.

Il servira à la détermination de l'indice θ , de l'écoulement de base donc du ruissellement direct grâce à la représentation sur une échelle semi-logarithmique des données hydrométriques.

On introduit ensuite les points de début A et fin B du ruissellement direct, ainsi qu'on les a définis précédemment.

Les résultats obtenus, et qui sont consignés dans un fichier de résultats auparavant nommé par l'utilisateur, sont, l'hydrogramme global, l'hydrogramme de ruissellement direct, l'hydrogramme unitaire d'une durée TR et l'hydrogramme unitaire d'une durée de deux (02) heures.

À partir de ces résultats, certaines caractéristiques sont calculées dans le but de les appliquer à des modèles d'estimation d'un hydrogramme unitaire.

Les caractéristiques observées et calculées pour la précipitation sont les suivantes:

-caractéristiques observées sur l'hyétogramme:

- 1°/ temps de base de la précipitation, NB
- 2°/ temps de montée de la précipitation, TMHYE
- 3°/ intensité maximale de la pluie ,ITMAX
- 4°/ hauteur de pluie totale ,HPT

-caractéristiques calculées:

- 5°/ hauteur de pluie nette ,HPN
- 6°/ indice phy, θ
- 7°/ durée de la pluie efficace ,TR
- 8°/ centre de gravité de la pluie efficace,CG

-caractéristiques observées de la précipitation

antécédente:

- 9°/ index de la précipitation antécédente ,API
- 10°/ index de la précipitation antécédente la journée même du début de l'averse ,JAPI

Les caractéristiques observées ou calculées pour le ruissellement se subdivisent en quatre(04) parties, soit: l'hydrogramme de ruissellement direct, l'hydrogramme en S, l'hydrogramme unitaire d'une durée TR et l'hydrogramme unitaire d'une durée de deux (02) heures.

Les caractéristiques observées et calculées pour le ruissellement direct sont les suivantes:

-caractéristiques observées

- 1°/ débit maximum observé ,QMAX
- 2°/ débit de pointe ,QP

$$QP = QMAX - Q_{base}(t=t_{Qmax})$$

- 3°/ 75% du débit de pointe ,Q75

4°/ 50% du débit de pointe , Q_{50}
 5°/ temps de base de l'hydrogramme , W_0
 6°/ temps de montée de l'hydrogramme , W_{QP}
 7°/ intervalle de temps pendant lequel 75% du débit de pointe est atteint ou dépassé , W_{75}

8°/ intervalle de temps pendant lequel 50% du débit de pointe est atteint ou dépassé , W_{50}

9°/ temps de réponse du bassin versant , T_{Po}

10°/ coefficient de ruissellement moyen , C

11°/ débit moyen , Q_{moy}

$$Q_{moy} = Q_{cumul} / W_0$$

12°/ facteur de forme , $ALPHA$

$$ALPHA = Q_{max} / Q_{moy}$$

13°/ temps écoulé entre Q_{max} et Q_{75} en décrue , T_1

14°/ temps écoulé entre Q_{75} et Q_{50} en décrue T_2

15°/ temps écoulé entre Q_{50} en décrue et la fin du ruissellement , T_3

-caractéristiques calculées de l'hydrogramme en S:

16°/ valeur de la courbe S au temps t , Q_{St}

-caractéristiques calculées de l'hydrogramme unitaire d'une durée TR :

17°/ débit de pointe de l'hydrogramme unitaire d'une durée TR , Q_{Ptr}

18°/ 75% de Q_{Ptr} , Q_{75tr}

19°/ 50% de Q_{Ptr} , Q_{50tr}

20°/ intervalle de temps pendant lequel 75% de Q_{Ptr} est atteint ou dépassé , W_{75tr}

21°/ intervalle de temps pendant lequel 50% de Q_{Ptr} est atteint ou dépassé, W_{50tr}

22°/ temps écoulé entre Q_{Ptr} et Q_{75tr} en décrue, T_{1tr}

23°/ temps écoulé entre Q_{75tr} et Q_{50tr} en décrue, T_{2tr}

24°/ temps écoulé entre Q_{50tr} en décrue et la fin du ruissellement, T_{3tr}

Les caractéristiques calculées de l'hydrogramme unitaire de deux (02) heures sont les mêmes que celles calculées de l'hydrogramme unitaire d'une durée TR , sauf qu'elles sont calculées à partir de $(HU)_2$.

CHAPITRE IV

MODE D'UTILISATION ET APPLICATION NUMERIQUE DU MODELE PLUIE-RUISSellement

Ce chapitre présente l'application numérique du programme pluie-ruissellement. Il explique de quelle façon sera fait le choix du bassin versant et de l'évènement pluie-ruissellement; il présente ensuite les résultats numériques et la procédure pour l'obtention des sorties graphiques.

4-1 Choix du bassin versant:

Ce choix est basé exclusivement sur l'hypothèse que la station climatologique située sur le bassin a un pluviographe.

4-2 Choix de l'évènement pluie-ruissellement:

Le choix de l'évènement pluie-ruissellement pour notre étude est basé sur les hypothèses de validité de la méthode de l'hydrogramme unitaire.

Nous les rappelons ici:

a/ Les données mensuelles des précipitations sont disponibles

b/ La précipitation est homogène du début à la fin de l'averse

c/ La distribution temporelle de la précipitation est en accord avec le début de la crue

d/ Il n'y a pas de données manquantes dû à un bris du pluviographe au cours de l'averse

e/ L'hydrogramme global est de forme simple (et non com-

posée ou complexe).

4-3 Données requises:

Les données requises à l'application du programme pluie-ruissellement sont, premièrement, les données horaires de la précipitation et du ruissellement nécessaires à la détermination du débit de base.

Puis, lorsque les points A et B de début et fin du ruissellement ont été déterminés, le programme calcule les caractéristiques d'un hydrogramme de ruissellement direct, d'un hydrogramme unitaire de la durée de la pluie efficace, d'un hydrogramme en S et d'un hydrogramme unitaire de deux (02) heures.

Nous devons fournir au programme la valeur de l'indicateur qui prend la valeur 0 si A et/ou B ne sont pas fournis et 1 si les deux valeurs sont fournies.

Si cet indicateur est égal à 1, l'utilisateur entrera alors la position de ces deux points.

Les données horaires de précipitation et de ruissellement sont présentées comme au tableau 1.

Le fichier de données est constitué comme suit:

première ligne: le numéro et le nom de la station climatologique (1X, I7, A15);

deuxième ligne: l'année, le mois et le jour du début de la précipitation (3(1X, I2) ;

troisième ligne: l'heure du début de la précipitation (1X, F5.2)

quatrième ligne: le nombre d'observations de la précipitation

7027656 SAINT-PIERRE

76 06 16

5.00

8

5.3

0.0

5.00 16.8

6.00 6.9

7.00 0.0

8.00 10.4

9.00 9.7

10.00 2.3

11.00 2.5

12.00 0.3

24012 PALMER

209.8

76 06 16

14.00 82

1.00

000.708000.793000.793000.963001.472002.860004.984014.612021.804021.096

019.199016.650014.612012.969011.355010.194009.118008.382007.787007.249

006.881006.258005.947005.522005.295005.069004.786004.559004.276004.021

003.738003.681003.426003.256003.143002.973002.917002.803002.633002.577

002.464002.464002.407002.322002.322002.265002.152002.152002.095001.954

001.954001.954001.812001.812001.699001.699001.586001.586001.577001.472

001.388001.388001.388001.388001.359001.359001.359001.246001.246001.246

001.246001.246001.246001.246001.246001.133001.133001.133001.133001.133

001.048001.048

tableau 1

pitation(1X,I3) ;

cinquième ligne:l'index de la précipitation antécédente (API) (1X,F5.1);

sixième ligne:la précipitation tombée le jour même de la précipitation étudiée juste avant le début de l'averse(JAPI) (1X,F5.1);

septième ligne et suivantes;l'heure d'observation et l'intensité de la précipitation(1X,F5.2,1X,F5.1) .

L'intensité et les hauteurs de précipitation sont, respectivement, en mm/h et en mm .

On enchaîne ensuite par la lecture des données horaires de ruissellement(dans le même fichier lorsque l'on aura terminé la lecture des données de précipitation).

première ligne:le numéro de la station hydrométrique et le nom du bassin versant où se situe la station hydrométrique(1X,I7,A18) ;

deuxième ligne:la superficie du bassin versant en km.2 (1X,F6.1);

troisième ligne:l'année, le mois et le jour du début de l'enregistrement hydrométrique(3(1X,I2) ;

quatrième ligne:l'heure du début de l'enregistrement hydrométrique et le nombre d'observations (1X,F5.2,1X,I3);

cinquième ligne:le pas de temps des observations de ruissellement en heures(1X,F4.2);

sixième ligne et les suivantes:les débits observés en m.3/s. aux heures considérées (1X,10F7.3).

4-4 Procédure pour l'obtention de résultats

numériques (MANUEL D'UTILISATION)

La procédure utilisée pour obtenir des résultats numériques est la suivante:

i/ Lire le nom du fichier de données (exemple :données) et celui de résultats(exemple :resitats).Les lectures des données d'entrée de la précipitation et du ruissellement seront faites sur le fichier de données et les résultats consignés dans le fichier de résultats.

ii/ Lire l'indicateur en lui donnant la valeur de 1

iii/ Localiser le point A en donnant le mois le jour et l'heure du début du ruissellement(exple:061616.00)

iv/ Localiser le point de fin du ruissellement B en donnant le mois,le jour et l'heure(exple:061902.00).

Ces points seront déterminés à l'aide de la figure.8.

4-5 Résultats numériques:

L'exemple numérique présenté est l'évènement pluie-ruissellement du 16 Juin 1976 sur le bassin versant PALMER, la station hydrométrique utilisée est la station PALMER(024012) et la station pluviométrique est SAINT-PIERRE(7027656).

Les résultats numériques ou extrants de cet évènement pluie-ruissellement sont dans l'ordre:

i/ Les données pluviométriques et hydrométriques

ii/ L'hydrogramme de ruissellement direct

iii/ L'hydrogramme de ruissellement unitaire de la durée de la pluie nette

iv/ L'hydrogramme de ruissellement unitaire d'une durée de deux (02) heures.

v/ Le fichier des caractéristiques de la précipitation et du ruissellement regroupant les caractéristiques essentielles à la constitution d'un fichier d'événements pluie-ruissellement est donné à la fin de la simulation.

Voici les résultats numériques de l'évènement pluie-ruissellement du 16 Juin 1976 sur le bassin versant PALMER (024012) (tableau 2).

4-6 Fichier des caractéristiques de la précipitation et du ruissellement:

Ce fichier est composé de quatre (4) lignes:

1ère ligne: le chiffre 1 indique le début de ce fichier, le numéro de la station pluviométrique, le temps de base de l'hétéogramme (NB), le temps de montée de l'hétéogramme (TMHYE), le temps de réponse observé du bassin versant pour un hydrogramme unitaire unitaire d'une durée de deux (02) heures (TP2), la durée de la pluie efficace (TR), l'intensité maximale de la précipitation (ITMAX), la hauteur de la pluie totale (HPT), la hauteur de pluie nette (HPN), l'indice phy (θ), l'index de la précipitation antécédente (API) et l'index de la précipitation antécédente la journée même du début de l'orage (JAPI);

2° ligne: le numéro de la station hydrométrique, la durée de la pluie efficace (TR), la hauteur de pluie nette (HPN), le temps de montée de l'hydrogramme (WQF), le temps de base de l'hydrogramme (WD), l'intervalle de temps où se produit 75% ou plus du débit de pointe de l'hydrogramme de ruisselle-

Tableau 2 :

STATION PLUVIOMETRIQUE SAINT-PIERRE

NUMERO 7027656

DATE DEBUT ENREGISTREMENT 76 6 16 HEURE DEBUT 5.00

NOMBRE D ENREGISTREMENTS: 8

DONNEES PLUVIOMETRIQUES

HEURE INTENSITE (mm./hr.)

0	5.00	16.8
0	6.00	6.9
0	7.00	.0
0	8.00	10.4
0	9.00	9.7
0	10.00	2.3
0	11.00	2.5
0	12.00	.3

PRECIPITATION ANTECEDENTE (API) : 5.3mm

****FIN DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES****

STATION HYDROMETRIQUE PALMER

NUMERO 24012

DATE DEBUT ENREGISTREMENT 76 6 16 HEURE DEBUT 14.00

NOMBRE D ENREGISTREMENTS: 82

PAS 1.00 HEURE

DONNEES HYDROMETRIQUES

HEURE DEBIT (m.3/s.) LOGARITHME DU DEBIT

0	14.00	.708	-.150
---	-------	------	-------

0	15.00	.793	-.101
0	16.00	.793	-.101
0	17.00	.963	-.016
0	18.00	1.472	.168
0	19.00	2.860	.456
0	20.00	4.984	.698
0	21.00	14.612	1.165
0	22.00	21.804	1.339
0	23.00	21.096	1.324
0	24.00	19.199	1.283
0	1.00	16.650	1.221
0	2.00	14.612	1.165
0	3.00	12.969	1.113
0	4.00	11.355	1.055
0	5.00	10.194	1.008
0	6.00	9.118	.960
0	7.00	8.382	.923
0	8.00	7.787	.891
0	9.00	7.249	.860
0	10.00	6.881	.838
0	11.00	6.258	.796
0	12.00	5.947	.774
0	13.00	5.522	.742
0	14.00	5.295	.724
0	15.00	5.069	.705
0	16.00	4.786	.680
0	17.00	4.559	.659
0	18.00	4.276	.631
0	19.00	4.021	.604
0	20.00	3.738	.573
0	21.00	3.681	.566
0	22.00	3.426	.535
0	23.00	3.256	.513
0	24.00	3.143	.497
0	1.00	2.973	.473
0	2.00	2.917	.465
0	3.00	2.803	.448
0	4.00	2.633	.420
0	5.00	2.577	.411
0	6.00	2.464	.392
0	7.00	2.464	.392
0	8.00	2.407	.381
0	9.00	2.322	.366
0	10.00	2.322	.366
0	11.00	2.265	.355
0	12.00	2.152	.333
0	13.00	2.152	.333
0	14.00	2.095	.321
0	15.00	1.954	.291
0	16.00	1.954	.291
0	17.00	1.954	.291
0	18.00	1.812	.258
0	19.00	1.812	.258
0	20.00	1.699	.230
0	21.00	1.699	.230
0	22.00	1.586	.200
0	23.00	1.586	.200
0	24.00	1.577	.198
0	1.00	1.472	.168
0	2.00	1.388	.142
0	3.00	1.388	.142
0	4.00	1.388	.142
0	5.00	1.388	.142
0	6.00	1.359	.133
0	7.00	1.359	.133
0	8.00	1.359	.133

0	9.00	1.246	.096
0	10.00	1.246	.096
0	11.00	1.246	.096
0	12.00	1.246	.096
0	13.00	1.246	.096
0	14.00	1.246	.096
0	15.00	1.246	.096
0	16.00	1.246	.096
0	17.00	1.133	.054
0	18.00	1.133	.054
0	19.00	1.133	.054
0	20.00	1.133	.054
0	21.00	1.133	.054
0	22.00	1.048	.020
0	23.00	1.048	.020

****FIN DES DONNEES HYDROMETRIQUES****

1

STATION HYDROMETRIQUE PALMER

NUMERO 24012

HYDROGRAMME EN COORDONNEES VRAIES

CALCUL DES DEBITS PAR INTERVALLE

INTERVALLE	DEBIT RUISSELE (DEBUT INTERVALLE)	DEBIT RUISSELE CUMULE (CENTRE INTERVALLE)	DEBIT DE BASE
------------	--------------------------------------	--	------------------

0	16.00	.000	.000	.793
0	17.00	.162	.081	.801
0	18.00	.664	.494	.808
0	19.00	2.044	1.848	.816
0	20.00	4.160	4.949	.824
0	21.00	13.780	13.919	.832
0	22.00	20.964	31.291	.840
0	23.00	20.248	51.897	.848
0	24.00	18.342	71.192	.857
0	25.00	15.785	88.255	.865
0	26.00	13.739	103.017	.873
0	27.00	12.087	115.930	.882
0	28.00	10.465	127.206	.890
0	29.00	9.295	137.086	.899
0	30.00	8.210	145.838	.908
0	31.00	7.465	153.676	.917
0	32.00	6.862	160.840	.925
0	33.00	6.315	167.428	.934
0	34.00	5.938	173.554	.943
0	35.00	5.305	179.175	.953
0	36.00	4.985	184.321	.962
0	37.00	4.551	189.089	.971
0	38.00	4.314	193.521	.981
0	39.00	4.079	197.718	.990
0	40.00	3.786	201.651	1.000

0	41.00	3.550	205.318	1.009
0	42.00	3.257	208.722	1.019
0	43.00	2.992	211.846	1.029
0	44.00	2.699	214.691	1.039
0	45.00	2.632	217.357	1.049
0	46.00	2.367	219.856	1.059
0	47.00	2.186	222.133	1.070
0	48.00	2.063	224.257	1.080
0	49.00	1.883	226.230	1.090
0	50.00	1.816	228.080	1.101
0	51.00	1.691	229.833	1.112
0	52.00	1.511	231.434	1.122
0	53.00	1.444	232.911	1.133
0	54.00	1.320	234.293	1.144
0	55.00	1.309	235.607	1.155
0	56.00	1.240	236.891	1.167
0	57.00	1.144	238.074	1.178
0	58.00	1.133	239.212	1.189
0	59.00	1.064	240.310	1.201
0	60.00	.939	241.312	1.213
0	61.00	.928	242.246	1.224
0	62.00	.859	243.139	1.236
0	63.00	.706	243.921	1.248
0	64.00	.694	244.621	1.260
0	65.00	.681	245.308	1.273
0	66.00	.527	245.913	1.285
0	67.00	.515	246.434	1.297
0	68.00	.389	246.886	1.310
0	69.00	.376	247.268	1.323
0	70.00	.251	247.582	1.335
0	71.00	.238	247.826	1.348
0	72.00	.216	248.052	1.361
0	73.00	.097	248.209	1.375
0	74.00	.000	248.258	1.388

LA LAME D'EAU RUISSELEE SUR LE BASSIN= 4.260 mm

LA SUPERFICIE DU BASSIN VERSANT EST DE 209.8 km.2

QMAX	Q75	Q50	T1	T2	T3
20.964	15.723	10.482	3.03	2.96	46.01

TM = 6.00

TP = 17.50

W75 = 3.76

W50 = 7.33

W0 = 58.00HEURES OU 2JOURS 10.00HEURES .

ALPHA = 4.898

HYDROGRAMME DE RUISSELLEMENT UNITAIRE

(LAME D'EAU DE 1 Po OU 25.
(mm)

DUREE 1.0 HEURES

DEBIT EN

METRES CUBES/SECONDE

DEBIT

DEBIT CUMULE

TEMPS (HEURES)

0	.000	.000	16.00
0	.968	.968	17.00
0	3.956	4.924	18.00
0	12.186	17.110	19.00
0	24.803	41.913	20.00
0	82.163	124.076	21.00
0	124.998	249.074	22.00
0	120.728	369.802	23.00
0	109.368	479.169	24.00
0	94.120	573.289	25.00
0	81.918	655.207	26.00
0	72.071	727.278	27.00
0	62.396	789.674	28.00
0	55.422	845.096	29.00
0	48.954	894.050	30.00
0	44.513	938.564	31.00
0	40.913	979.476	32.00
0	37.651	1017.128	33.00
0	35.403	1052.531	34.00
0	31.634	1084.165	35.00
0	29.724	1113.889	36.00
0	27.135	1141.024	37.00
0	25.725	1166.749	38.00
0	24.321	1191.069	39.00
0	22.576	1213.645	40.00
0	21.165	1234.810	41.00
0	19.419	1254.229	42.00
0	17.840	1272.069	43.00
0	16.093	1288.161	44.00
0	15.693	1303.854	45.00
0	14.112	1317.966	46.00
0	13.037	1331.002	47.00
0	12.301	1343.303	48.00
0	11.225	1354.528	49.00
0	10.828	1365.356	50.00
0	10.085	1375.441	51.00
0	9.007	1384.448	52.00
0	8.608	1393.056	53.00
0	7.869	1400.924	54.00
0	7.802	1408.726	55.00
0	7.396	1416.122	56.00
0	6.821	1422.944	57.00
0	6.753	1429.697	58.00
0	6.345	1436.042	59.00
0	5.601	1441.643	60.00
0	5.531	1447.174	61.00
0	5.121	1452.295	62.00
0	4.208	1456.503	63.00
0	4.136	1460.640	64.00
0	4.063	1464.703	65.00
0	3.143	1467.846	66.00

0	3.069	1470.915	67.00
0	2.320	1473.235	68.00
0	2.244	1475.479	69.00
0	1.494	1476.973	70.00
0	1.417	1478.390	71.00
0	1.285	1479.675	72.00
0	.580	1480.255	73.00
0	.000	1480.255	74.00

QMAX	Q75	Q50	T1	T2	T3
124.998	93.748	62.499	3.03	2.96	46.01

TM = 6.00
 TP = 17.50
 W75 = 3.76
 W50 = 7.33
 WD = 58.00HEURES OU 2JOURS 10.00HEURES .
 ALPHA = 4.898

1

HYDROGRAMME DE RUISSELLEMENT UNITAIRE DERIVE (LAME D'EAU DE 1 Po.

DUREE 2.0 HEURES DEBIT EN METRES CUBES/SECONDE

	DEBIT	DEBIT CUMULE	TEMPS (HEURES)
0	.000	.000	16.00
0	.484	.484	17.00
0	2.462	2.946	18.00
0	8.071	11.017	19.00
0	18.494	29.511	20.00
0	53.483	82.995	21.00
0	103.580	186.575	22.00
0	122.863	309.438	23.00
0	115.048	424.486	24.00
0	101.744	526.229	25.00
0	88.019	614.248	26.00
0	76.994	691.242	27.00
0	67.233	758.476	28.00
0	58.909	817.385	29.00
0	52.188	869.573	30.00
0	46.734	916.307	31.00
0	42.713	959.020	32.00
0	39.282	998.302	33.00
0	36.527	1034.829	34.00
0	33.518	1068.348	35.00
0	30.679	1099.027	36.00

0	28.430	1127.456	37.00
0	26.430	1153.886	38.00
0	25.023	1178.909	39.00
0	23.448	1202.357	40.00
0	21.870	1224.228	41.00
0	20.292	1244.520	42.00
0	18.629	1263.149	43.00
0	16.966	1280.115	44.00
0	15.893	1296.008	45.00
0	14.902	1310.910	46.00
0	13.574	1324.484	47.00
0	12.669	1337.153	48.00
0	11.763	1348.916	49.00
0	11.026	1359.943	50.00
0	10.456	1370.399	51.00
0	9.546	1379.944	52.00
0	8.807	1388.752	53.00
0	8.238	1396.990	54.00
0	7.835	1404.825	55.00
0	7.599	1412.425	56.00
0	7.109	1419.533	57.00
0	6.787	1426.321	58.00
0	6.549	1432.870	59.00
0	5.973	1438.843	60.00
0	5.566	1444.409	61.00
0	5.326	1449.735	62.00
0	4.665	1454.399	63.00
0	4.172	1458.572	64.00
0	4.100	1462.672	65.00
0	3.603	1466.275	66.00
0	3.106	1469.381	67.00
0	2.694	1472.075	68.00
0	2.282	1474.357	69.00
0	1.869	1476.227	70.00
0	1.455	1477.682	71.00
0	1.351	1479.033	72.00
0	.933	1479.966	73.00
0	.290	1480.256	74.00

QMAX	Q75	Q50	T1	T2	T3
122.863	92.147	61.431	2.70	3.00	45.30

TM = 7.00

TP = 18.50

W75 = 3.93

W50 = 7.54

WD = 58.00HEURES OU 2JOURS 10.00HEURES .

ALPHA = 4.814

FIN DE SIMULATION

1
1 7027656 8 .5 18.5 1.0 16.8 48.9 4.3 12.5 5.3 .0

24012	1.0	4.3	6.0	58.0	3.8	7.3	20.964	15.723	10.482	8.7	21.804
24012	1.0	25.4	6.0	58.0	3.8	7.3	124.998	93.748	62.499		
24012	2.0	25.4	7.0	58.0	3.9	7.5	122.863	92.147	61.431		

ment direct (W_{75}), l'intervalle de temps où se produit 50% ou plus du débit de pointe de l'hydrogramme de ruissellement direct (W_{50}), le débit de pointe de l'hydrogramme de ruissellement direct (Q_P), 75% du débit de pointe (Q_{75}), 50% du débit de pointe (Q_{50}), le coefficient de ruissellement (C) et le débit maximum observé de l'hydrogramme de ruissellement global (Q_{max});

3^o ligne: le numéro de la station hydrométrique, la durée de la pluie efficace (TR), 25.4 mm d'eau ruisselée, le temps de montée de l'hydrogramme (W_{QP}), le temps de base de l'hydrogramme (W_D), l'intervalle de temps où se produit 75% ou plus du débit de pointe de l'hydrogramme unitaire d'une durée de la pluie efficace (W_{75tr}), l'intervalle de temps où se produit 50% ou plus du débit de pointe de l'hydrogramme unitaire d'une durée de la pluie efficace (W_{50tr}), le débit de pointe de l'hydrogramme unitaire d'une durée de la pluie efficace (Q_{Ptr}), 75% du débit de pointe (Q_{75tr}) et 50% du débit de pointe (Q_{50tr});

4^o ligne: le numéro de la station hydrométrique, 2.0, 25.4 mm d'eau ruisselée, le temps de montée de l'hydrogramme (W_{QP}), le temps de base de l'hydrogramme (W_D), l'intervalle de temps où se produit 75% ou plus du débit de pointe de l'hydrogramme unitaire d'une durée de deux (02) heures (W_{752}), l'intervalle de temps où se produit 50% ou plus du débit de pointe de l'hydrogramme unitaire d'une durée de deux (02) heures, le débit de pointe de l'hydrogramme unitaire d'une durée de deux (02) heures

(QP2), 75% du débit de pointe(Q752), 50% du débit de pointe (Q502).

Les quatre dernières lignes du fichier de résultats (tableau 2) constituent le fichier caractéristique de la précipitation et du ruissellement pour l'évènement du 16 Juin 1976 sur le bassin versant PALMER.

Les unités utilisées sont respectivement: m³/s, mm, heure, pourcentage pour les débits, les hauteurs d'eau, le temps et le coefficient de ruissellement.

4-7 Sorties graphiques:

Les résultats numériques peuvent être représentés sous forme de graphiques. Pour cela, on utilisera le logiciel Lotus 1-2-3.

Nous devons disposer de deux disquettes:

- l'une contenant le Lotus 1-2-3
- et l'autre étant la disquette Printgraph (elle servira à l'impression proprement dite des graphiques).

La procédure à suivre pour l'obtention de ces différents graphiques est la suivante:

- Créer tout d'abord un fichier WKS (c'est à dire avec Lotus 1-2-3) à partir des données hydrométriques (voir fich 1). Ce fichier servira à la détermination des points A et B, respectivement début et fin du ruissellement direct.

Après avoir constitué ce fichier, on obtient la courbe comme suit:

- Tapez /: G: on a sélectionné la commande Graph
- Poussez X et définir l'étendue qui contient les

Tableau 3 : fich 1 :

HEURE	DEBIT	LOG DEBIT	LOG DEBIT+1	POSITION en HRES
14.000	0.708	-0.150	0.850	0.000
15.000	0.793	-0.101	0.899	1.000
16.000	0.793	-0.101	0.899	2.000
17.000	0.963	-0.016	0.984	3.000
18.000	1.472	0.168	1.168	4.000
19.000	2.860	0.456	1.456	5.000
20.000	4.984	0.698	1.698	6.000
21.000	14.612	1.165	2.165	7.000
22.000	21.804	1.339	2.339	8.000
23.000	21.096	1.324	2.324	9.000
24.000	19.199	1.283	2.283	10.000
1.000	16.650	1.221	2.221	11.000
2.000	14.612	1.165	2.165	12.000
3.000	12.969	1.113	2.113	13.000
4.000	11.355	1.055	2.055	14.000
5.000	10.194	1.008	2.008	15.000
6.000	9.118	0.960	1.960	16.000
7.000	8.382	0.923	1.923	17.000
8.000	7.787	0.891	1.891	18.000
9.000	7.249	0.860	1.860	19.000
10.000	6.881	0.838	1.838	20.000
11.000	6.258	0.796	1.796	21.000
12.000	5.947	0.774	1.774	22.000
13.000	5.522	0.742	1.742	23.000
14.000	5.295	0.724	1.724	24.000
15.000	5.069	0.705	1.705	25.000
16.000	4.786	0.680	1.680	26.000
17.000	4.559	0.659	1.659	27.000
18.000	4.276	0.631	1.631	28.000
19.000	4.021	0.604	1.604	29.000
20.000	3.738	0.573	1.573	30.000
21.000	3.681	0.566	1.566	31.000
22.000	3.426	0.535	1.535	32.000
23.000	3.256	0.513	1.513	33.000
24.000	3.143	0.497	1.497	34.000
1.000	2.973	0.473	1.473	35.000
2.000	2.917	0.465	1.465	36.000
3.000	2.803	0.448	1.448	37.000
4.000	2.633	0.420	1.420	38.000
5.000	2.577	0.411	1.411	39.000
6.000	2.464	0.392	1.392	40.000
7.000	2.464	0.392	1.392	41.000
8.000	2.407	0.381	1.381	42.000
9.000	2.322	0.366	1.366	43.000
10.000	2.322	0.366	1.366	44.000
11.000	2.265	0.355	1.355	45.000
12.000	2.152	0.333	1.333	46.000
13.000	2.152	0.333	1.333	47.000
14.000	2.095	0.321	1.321	48.000
15.000	1.954	0.291	1.291	49.000
16.000	1.954	0.291	1.291	50.000

17.000	1.754	0.291	1.291	51.000
18.000	1.812	0.258	1.258	52.000
19.000	1.812	0.258	1.258	53.000
20.000	1.699	0.230	1.230	54.000
21.000	1.699	0.230	1.230	55.000
22.000	1.586	0.200	1.200	56.000
23.000	1.586	0.200	1.200	57.000
24.000	1.577	0.198	1.198	58.000
1.000	1.472	0.168	1.168	59.000
2.000	1.388	0.142	1.142	60.000
3.000	1.388	0.142	1.142	61.000
4.000	1.388	0.142	1.142	62.000
5.000	1.388	0.142	1.142	63.000
6.000	1.359	0.133	1.133	64.000
7.000	1.359	0.133	1.133	65.000
8.000	1.359	0.133	1.133	66.000
9.000	1.246	0.096	1.096	67.000
10.000	1.246	0.096	1.096	68.000
11.000	1.246	0.096	1.096	69.000
12.000	1.246	0.096	1.096	70.000
13.000	1.246	0.096	1.096	71.000
14.000	1.246	0.096	1.096	72.000
15.000	1.246	0.096	1.096	73.000
16.000	1.246	0.096	1.096	74.000
17.000	1.133	0.054	1.054	75.000
18.000	1.133	0.054	1.054	76.000
19.000	1.133	0.054	1.054	77.000
20.000	1.133	0.054	1.054	78.000
21.000	1.133	0.054	1.054	79.000
22.000	1.048	0.020	1.054	80.000
23.000	1.048	0.020	1.054	81.000

nombre qui seront représentés sur l'axe des x (les heures) en déplaçant le pointeur entre les deux limites de l'intervalle, puis appuyez **Entrée**

-Fressez **A** et définir l'étendue qui contient les valeurs qui seront représentées sur l'axe des y (les débits) en déplaçant également le pointeur entre les bornes de l'intervalle

-Pressez **Q T F** et tapez: Hydrogramme en coordonnées semi-log puis appuyez **Entrée**: le premier titre du graphique est donné

-Pressez **T S** et tapez: hydrogramme global puis appuyez **Entrée**: c'est le second titre du graphique

-Fressez **T X**, tapez: temps en heures et appuyez **Entrée**: c'est le titre de l'axe des x

-Fressez **T Y**; tapez: log(débit)+1 et appuyez **Entrée**: c'est le titre de l'axe des y

-Pressez **F A L**: le graphique sera imprimé avec seulement des lignes entre les points (pour ne pas le surcharger)

-Pressez **Q S S** et tapez: 10: la graduation de l'axe des x sera telle qu'une heure sur 10 sera indiquée

-Fressez **Q S** et tapez: gr2: on sauve le fichier d'impression sous le nom de gr2

-Tapez **Q / / Q Y**: ceci met fin à la création du fichier d'impression avec Lotus 1-2-3.

Il reste maintenant à imprimer ce graphique.

-Tapez **P**: on indique qu'on veut imprimer le graphique (avec Printgraph)

Il faut alors sortir la disquette Lotus 1-2-3 qui était dans l'unité de lecture A et la remplacer par la disquette Printgraph et appuyez **Entrée**

-Tapez **O S F O** : on a choisi d'imprimer le graphique sur toute la page.

Si on ne veut pas que l'impression se fasse sur toute la page, on passe directement à l'étape suivante (l'impression se fait, par défaut, sur la moitié de la page):

-Tapez **S** : cette commande nous permet de sélectionner le graphe que l'on veut imprimer.

Pour cela, on place le pointeur sur le graphe que l'on désire (exemple: gr2) et on appuie sur la barre d'espace.

Le caractère # devant un nom de fichier signifie qu'il a été sélectionné, puis appuyez **Entrée**

-Tapez **A G** : l'impression du graphique sélectionné s'opère (voir figure 8).

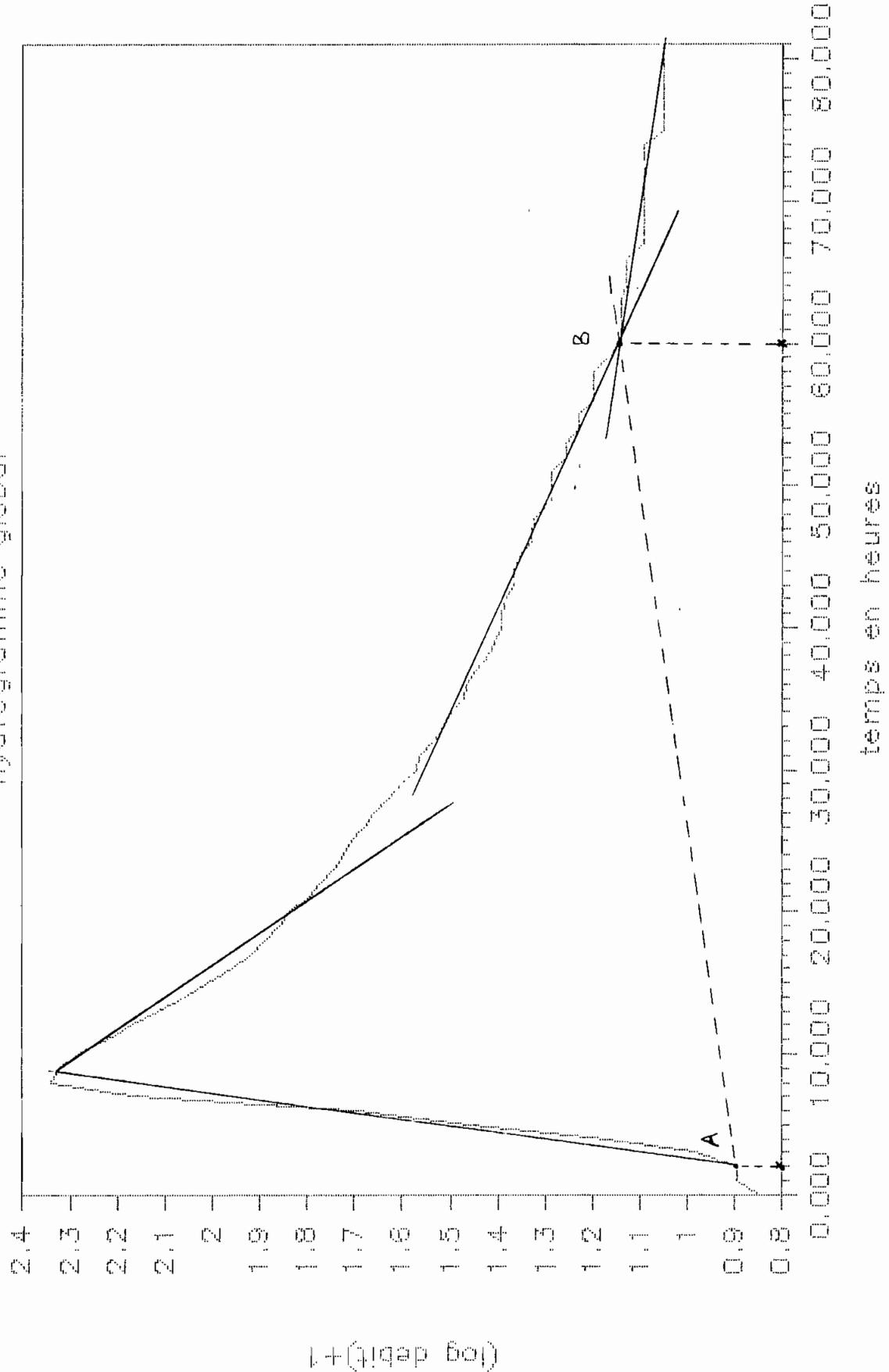
On peut alors procéder à la détermination des points A et B, comme indiquée précédemment. Ces deux points sont rentrés dans le programme et l'on obtient à la fin le fichier resltats (c'est le nom du fichier) comme résultats numériques.

On peut alors passer à la seconde phase qui est la confection des autres fichiers pour les hydrogrammes de ruissellement global, unitaire de durée TR et unitaire de durée deux (02) heures.

Pour pouvoir tracer ces courbes à l'aide de Lotus, il

HYDROGRAMME EN COORDONNEES SEMI-LOG

hydrogramme global



faut auparavant rendre compatible le fichier resltats avec les fichiers WKS.

Pour cela, on change le nom du fichier resltats à la commande Rename (du DOS).

On opérera comme suit:

- Chargé le DOS (le signe A> doit être affiché)
- Introduire la disquette qui contient le fichier resltats dont on veut changer le nom, dans l'unité A
- Tapez rename a:resltats resltats.prn
resltats.prn est le nouveau nom du fichier résultats.
- Utilisez ensuite la sous-commande Import de la commande File de Lotus pour appeler ce fichier.

On procédera comme suit:

- Introduire la disquette Lotus 1-2-3 dans l'unité A
- Tapez Lotus
- Tapez /:
- Tapez    : on indique qu'on veut chercher un fichier, lequel ne contiendra que des nombres. Les caractères seront donc ignorés et les nombres seront placés de la même façon que dans le fichier d'origine.

On peut alors suivre la même procédure que celle ayant servi à l'impression du graphique en coordonnées semi-log.

Les différents graphiques seront sauvés (sous des noms différents) et pourront être imprimés ultérieurement en utilisant la disquette Printgraph.

On a ainsi obtenu les graphiques en annexe.

Il faut noter que les touches spécifiées dans cette

procédure se réfèrent au nouveau clavier.

Le signe  signifie :tenir les deux touches
enfoncées en même temps.

CHAPITRE V

Discussion et recommandations

Conclusion

La modélisation du ruissellement, par la méthode de l'hydrogramme unitaire, nous a permis de saisir, de façon plus précise, ce phénomène.

Elle reconstitue, en effet, l'hydrogramme de ruissellement à l'exutoire d'un bassin versant par la seule connaissance du hyétogramme de l'averse considérée, lequel hyétogramme peut être déterminé par plusieurs méthodes (statistiques en particulier).

L'hydrogramme unitaire est un modèle déterministe qui repose sur trois hypothèses fondamentales:

1°/ L'univocité entre les précipitations et le débit pour des averses ayant les mêmes caractéristiques d'intensité et de durée

2°/ La linéarité entre les averses unitaires de différentes intensités et les débits correspondants

3°/ L'uniformité des averses sur toute la superficie du bassin

Ces trois hypothèses sont très restrictives et peuvent rarement être vérifiées en réalité.

Les deux premières sont inapplicables, en particulier pour des petits bassins où certains paramètres comme les conditions antécédentes d'humidité du sol, l'état de la couverture végétale, l'utilisation du terri-

toire (cultures), etc... contribuent à développer des relations conditionnelles non linéaires entre les précipitations et le débit.

A cause du nombre considérable de facteurs externes qui affectent le système de façon significative, ces relations ne peuvent être souvent analysées que par des méthodes stochastiques où la linéarité réfère uniquement à des conditions à moyen ou à long terme.

Quant à la troisième; elle peut être acceptable pour de petits bassins; il est évident que lorsque les dimensions de ceux-ci augmentent, l'uniformité géographique des averses est très peu probable.

L'utilisation de la méthode de l'hydrogramme unitaire nécessite une bonne connaissance du bassin et ce dernier doit être doté d'un bon réseau de pluviographes.

Malgré toutes ces réserves, la méthode de l'hydrogramme unitaire est très utile à l'ingénieur dans ses études hydrologiques.

En effet, la plupart des ouvrages d'art, des débouchés de ponts, les dimensions des évacuateurs de crues des barrages, la hauteur des digues de protection contre les inondations sont essentiellement déterminés par le maximum probable de la crue auquel ces ouvrages devront faire face.

L'intérêt économique de la prédétermination du volume d'eau à évacuer, par la méthode de l'hydrogramme unitaire, se trouve donc confirmé.

Cependant, pour de petits bassins (drainage urbain et

agricole), on pourra se contenter de la méthode rationnelle qui donne des résultats suffisants.

L'utilisation de la méthode de l'hydrogramme unitaire à l'étude des bassins de notre pays nécessiterait certains investissements: installation d'un bon réseau de pluviographes (et non de pluviomètres uniquement, comme c'est le cas), la création de stations de jaugeage aux exutoires des bassins.

Dans l'état actuel, ceci n'est pas fait; ce qui nous limite quant à la création de banques de données pluviométriques et hydrométriques.

Nous avons utilisé pour nos sorties graphiques le logiciel Lotus 1-2-3. Celui-ci n'est pas très performant et ne peut être inséré directement dans le programme pour effectuer le traçage des hydrogrammes. La possession d'une table traçante par notre CENTRE DE CALCUL nous serait très utile car elle nous éviterait d'avoir à confectionner d'autres fichiers WKS (c'est à dire avec Lotus); ce qui rendrait le logiciel "pluie-ruissellement" encore plus performant car plus autonome et nécessitant peu d'opérations manuelles.

APPENDICE I

Le programme pluie-ruissellement

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
DEPARTEMENT DU GENIE CIVIL
PROJET DE FIN D'ETUDES 1986-1987
PROGRAMME PLUIE-RUISELLEMENT

AUTEUR: Demba Sow Mle:539
DIRECTEUR DE PROJET:Daniel Tessier
DESCRIPTION DU PROJET:

Ce programme trace ,à partir de données hydrométriques ,
deux hydrogrammes:l'un avec les débits horaires et l'autre
le logarithme décimal de ces débits.Utilisant ces hydrogrammes,
l'utilisateur du programme détermine deux points A et B,qui sont
respectivement,le début et la fin du ruissellement direct,par
la méthode des tangentes sur le graphique logarithmique.
La droite reliant ces deux points nous donne l'apport de base
ou ruissellement direct.
Une fois obtenus,ces deux points sont fournis au programme.Ce
dernier calcule alors l'hydrogramme de ruissellement direct,le
volume ruisselé pour trouver l'épaisseur de la lame d'eau ruisse
lée et ensuite l'hydrogramme unitaire de la durée de la pluie
nette de l'hyétogramme fourni.Enfin,faisant appel à la notion
d'hydrogramme en S,le programme dérive l'hydrogramme unitaire
d'une durée de la pluie nette de deux heures.De plus,toutes les
caractéristiques des hydrogrammes résultants sont aussi calculés.

SIGNIFICATION DES VARIABLES

ALPHA: Facteur de forme (QMAX/QMOY)
BLADE: lame d'eau ruisselée (po)
CA : Caractéristiques de l'hydrogramme global
CAR : Caractéristiques de l'hydrogramme unitaire
D'une durée TR
CARA : Caractéristiques de l'hydrogramme unitaire
D'une durée de deux heures
CENTRE: Temps auquel se situe le centre de gravité de
l'hyétogramme
CUMUL: Variable temporaire de cumul

DBASE: Apport ou débit de base (m.3/s.)
 DELTAA: Intervalle de temps entre le point A et l'heure
 suivante
 DELTAB: Intervalle de temps entre le point B et l'heure
 précédente
 DELTAT: Intervalle de temps entre les points A et B(hr.)
 FRAC : Partie restante en heures de WO
 HA : Heure du point A
 HB : Heure du point B
 HDEBU: Heure du début de l'enregistrement pluviométrique
 HDEBUT: Heure du début de l'enregistrement hydrométrique
 HEURE: Heure de l'intensité de pluie mesurée
 HRBASE: Vecteur heure pour insérer les heures des
 points A et B
 HRE : Heure du débit mesuré
 HREBAS: Heure du débit de base et aussi du débit ruisselé
 HS : Hydrogramme en S (m.3/s.)
 HU2 : Hydrogramme de durée deux heures (m.3/s.)
 HYETOG: Hyétoqramme net ou efficace
 IAND : Année du début de l'enregistrement pluviométrique
 IANDHY : Année du début de l'enregistrement hydrométrique
 IANNEE : Année de la donnée hydrométrique
 IDEPAR : Indice de l'extrémité de l'hydrogramme où commence
 la recherche de Q50 ou Q75
 NOM: Nombre de données pluviométriques
 NB : Temps de base de l'hyétoqramme
 IHRMAX: Heure où se produit l'intensité maximale de la
 précipitation (mm.)
 IN : Indice permettant une remontée en temps de
 l'hydrogramme
 IREFA : Indice de référence pour localiser le point A
 IREFB : Indice de référence pour localiser le point B
 ITMAX : Indice localisant l'heure où survient QMAX

C IWO : Partie en jours de WO
C
C JA : Jour du point A
C
C JB : Jour du point B
C
C JOUD: Jour du début de l'enregistrement pluviométrique
C
C JOUDHY: Jour du début de l'enregistrement hydrométrique
C
C JOUR : Jour de la donnée hydrométrique
C
C LDBASE: Logarithme du débit de base
C
C LOGQA: Logarithme décimal du débit du point A
C
C LOGQB: Logarithme décimal du débit du point B
C
C LOGQAB: Logarithme décimal du débit au point A ou B
C
C LOGQSM: Logarithme du débit
C
C MA : Mois du point A
C
C MB : Mois du point B
C
C MOID : Mois du début de l'enregistrement pluviométrique
C
C MOIDHY: Mois du début de l'enregistrement hydrométrique
C
C
C HYDNOM: Nom de la station hydrométrique
C
C PLUNOM: Nom de la station pluviométrique
C
C NOSTA1: Numéro de la station hydrométrique
C
C
C NMO : Nombre de jours passés dans l'année au début
C
C de chaque mois
C
C PAS : Pas de l'enregistrement hydrométrique (hr.)
C
C PENTE: Pente de la droite reliant les points A et B
C
C Q50 : 50% du débit de pointe QMAX
C
C Q75 : 75% du débit de pointe QMAX
C
C QCUMUL: Vecteur cumulateur de pointe QMAX
C
C QI,QT : Débits (m³/s.)
C
C QMAX: Débit maximal (m³/s.)
C
C QRUISS: Débit ruisselé (m³/s.)
C
C QSM : Débit total en unité métrique (m³/s.)
C
C QSMAX: Débit maximum observé (m³/s.)
C
C QUNITE: Hydrogramme unitaire de durée de la pluie nette
C

RHEURE: Intervalle de temps durant lequel l'intensité
de la pluie a été enregistrée

RINTEN: Intensité de pluie en millimètres par heure(mm./hr.)

RSMTOT: Hauteur de pluie totale (mm)

SQRUIS :Somme des débits ruisselés pour le calcul du volume

SUPBV: Superficie du bassin versant (km.2)

T1 : Temps écoulé entre QMAX et Q75 en décrue

T2 : Temps écoulé entre QMAX et Q50 en décrue

T3 : Temps écoulé entre Q50 en décrue et la fin
du ruissellement

T50: Heure à laquelle 50% de QMAX est atteint en montée

T75:Heure à laquelle 75% de QMAX est atteint en montée

TA50:Heure à laquelle Q50 est atteint en décrue

TA75: Heure à laquelle Q75 est atteint en décrue

TM : Temps de montée(du début de ruissellement au TMAX)

TP :Temps de reponse du bassin versant

TR : Durée nette de la pluie fournie (hr.)

TR2 : Durée de l'hydrogramme dérivé demandé(2 heures)

VOLRUI: Volume de ruissellement direct (m.3/s.)

VOLUME: Lamé d'eau ruisselée (mm)

W50 : Largeur de l'hydrogramme aux deux Q50

W75 : Largeur de l'hydrogramme aux deux Q75

WO : Temps de base de l'hydrogramme

DECLARATION DES DIMENSIONS DES VECTEURS ET DE CERTAINES

VARIABLES

DIMENSION QI (24), QSM (100), HEURE (80)
DIMENSION RINTEN (80), HRE (100), HRBASE (100), QRUISS (80), DBASE (80)
DIMENSION HREBAS (80), QCUMUL (80), HS (80), HU2 (80), HYETOG (80)
DIMENSION QUNITE (80), RSM (100), CA (11), CAR (11), CARA (11)
REAL LOGQA, LOGQB, LDBASE (80), VAR
COMMON/BLOCK1/Q50, Q75, T50, T75, TA50, TA75, T1, T2, T3, TM, TP
COMMON/BLOCK2/W75, W50, WO, IWO, FRAC, ALPHA
COMMON/BLOCK3/NMO, MOIDHY, JOUDHY, LOGQSM, IPAS, NHDEB
COMMON/BLOCK4/ NB, IFAC
COMMON/BLOCK5/NOM, NOSTPL, NOSTA1, IANDHY, HDEBUT
COMMON/BLOCK6/ IAND, NOID, JOUD, HDEBU
COMMON/BLOCK7/RSMTOT, VOLUME, SUPBV, QMAX, WOP, API, QSMAX, C, TMP

```
INTEGER NMD(12)
REAL LOGQSM(100),LOGQAB
CHARACTER*15 PLUNOM
CHARACTER*18 HYDNOM
CHARACTER*8 FICHEDONNEES
CHARACTER*10 FICHERESLTATS
DATA LDBASE/80*0./
```

```
C
C
C   VECTEUR NMD REPRESENTANT LE NOMBRE DE JOURS ECOULES DANS
C   L'ANNEE AU DEBUT DE CHACUN DES MOIS
C
```

```
NMD(1)=0
NMD(2)=31
NMD(3)=59
NMD(4)=90
NMD(5)=120
NMD(6)=151
NMD(7)=181
NMD(8)=212
NMD(9)=243
NMD(10)=273
NMD(11)=304
NMD(12)=334
```

```
C
C
C   LECTURE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES
C
```

```
WRITE(*,1000)
1000  FORMAT(' QUEL EST LE FICHIER DE DONNEES ?')
      READ(*,500) FICHEDONNEES
      WRITE(*,1100)
1100  FORMAT(' QUEL EST LE FICHIER DE RESULTATS ?')
      READ(*,600) FICHERESLTATS
600   FORMAT(1X,A10)
500   FORMAT(1X,AB)
      OPEN(5,FILE=FICHEDONNEES)
      OPEN(6,FILE=FICHERESLTATS,STATUS='NEW')
      REWIND 5
      REWIND 6
      READ(5,100) NOSTPL ,PLUNOM
      READ(5,101) IAND,MOID,JOUD
      WRITE(*,101) IAND,MOID,JOUD
      READ(5,109) HDEBU
      READ(5,116) NOM
      READ(5,111) API
      READ(5,112) AAPI
      WRITE(*,109) HDEBU
      READ(5,103) (HEURE(I),RSM(I),I=1,NOM)
      RHEURE=NOM*1.0
      DO 200 I=1,NOM
          RINTEN(I)=RSM(I)/25.4
200   CONTINUE
```

```
C
C
C   LECTURE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES
C
```

```
READ(5,104) NOSTA1,HYDNOM
READ(5,105) SUPBV
READ(5,101) IANDHY,MOIDHY,JOUDHY
READ(5,102) HDEBUT,NB
READ(5,106) PAS
HRE(1)=HDEBUT
READ(5,107) (QSM(I),I=1,NB)
WRITE(*,800) (QSM(I),I=1,NB)
800   FORMAT(10(1X,F7.3))
```

```

DO 223 I=1,NB
IF (QSM(I).EQ.0) GOTO 226
LOGQSM(I)=ALOG10(QSM(I))
226 KK=I+1
IF (HRE(I).NE.24.00) GOTO 220
HRE(KK)=1.0
GOTO 225
220 HRE(KK)=HRE(I)+PAS
225 CONTINUE
C
C IMPRESSION DES DONNEES FLUVIOMETRIQUES
C
WRITE(6,460) FLUNOM,NOSTPL
WRITE(6,461) IAND,MOID,JOUD,HDEBU,NOM
WRITE(6,462)
RSMTOT=0.
DO 231 I=1,NOM
WRITE(6,463) HEURE(I),RSM(I)
RSMTOT=RSMTOT+RSM(I)
WRITE(*,103) HEURE(I),RSM(I)
231 CONTINUE
WRITE(6,465) API
WRITE(6,464)
C
C IMPRESSION DES DONNEES HYDROMETRIQUES
C
WRITE(6,470) HYDNOM,NOSTA1
WRITE(6,461) IANDHY,MOIDHY,JOUDHY,HDEBUT,NB
WRITE(6,471) PAS
IFAS=PAS
NHDEB=HDEBUT
WRITE(6,472)
IFAC=0
DO 232 I=1,NB
WRITE(6,473) HRE(I),QSM(I),LOGQSM(I)
WRITE(*,473) HRE(I),QSM(I),ALOG10(QSM(I))
IF (LOGQSM(I).LT.0) IFAC=1
232 CONTINUE
WRITE(6,474)
HRE(1)=HDEBUT
NOB=NB-1
NN=1
DO 309 I=1,NOB
NN=NN+1
HRE(NN)=HRE(I)+PAS
309 CONTINUE
NN=1
DO 308 I=1,NOM
NN=NN+1
HEURE(NN)=HEURE(I)+1.0
308 CONTINUE
RSMAX=RSM(1)
CHEK=0.0
DO 3 II=1,NOM
IF (RSM(II).LE.RSMAX) GOTO 3
RSMAX=RSM(II)
IHRMAX=II
CHEK=1.0
3 CONTINUE
IF (CHEK.NE.1.0) IHRMAX=1
QSMAX=QSM(1)
DO 2 II=1,NB
IF (QSM(II).LE.QSMAX) GOTO 2
QSMAX=QSM(II)
2 CONTINUE
TMP=IHRMAX-0.5

```

SI LE LOG DU DEBIT EST INFERIEUR A ZERO, IL Y A UNE MAJORATION
DU DEBIT POUR L'ANALYSE DU DEBIT DE BASE.

IF (IFAC.EQ.0) GOTO 99
DO 98 I=1,NB
QSM(I)=QSM(I)*10.
LOGQSM(I)=ALOG10(QSM(I))
QSM(I)=QSM(I)/10.

CONTINUE
DO 88 I=1,NB
LOGQSM(I)=LOGQSM(I)-1.0

CONTINUE
CONTINUE

LECTURE DE L'INDICATEUR SIGNALANT SI LES POINTS A ET B SONT
FOURNIS.

A ET B FOURNIS INDIC=1

NON FOURNIS INDIC=0

WRITE(*,1200)
1200 FORMAT(' LIRE VALEUR INDICATEUR ')
READ(*,108) INDIC
IF(INDIC.NE.1) GOTO 366
CALL INTPOL(HA,JA,MA,LOGQA,IREFA,DELTA)
CALL INTPOL(HB,JB,MB,LOGQB,IREFB,DELTAB)
DELTAT=((NMO(MB)+JB)*24+HB)-((NMO(MA)+JA)*24+HA)
PENDE=(LOGQB-LOGQA)/DELTAT
SORUIS=0.0
DO 205 LL=1,NB
HRBASE(LL)=HRE(LL)

CONTINUE

ADVENANT LE CAS OU L'UN OU L'AUTRE(OU LES DEUX POINTS) A ET B
NE SONT PAS PLACES A L'HEURE PRES, IL Y A INSERTION DE LEURS
TEMPS DANS LE VECTEUR TEMPS

LLL=IREFA+2
KKK=IREFB+1
DO 206 M=LLL,KKK
HRBASE(M)=HRE(M-1)
CONTINUE
206 HRBASE(IREFA+1)=HRE(IREFA)+DELTA
HRBASE(IREFB+2)=HRE(IREFB)+DELTAB
L=1
IM=1
IJ=IREFA+1
IK=IREFB+2
DO 207 I=IJ,IK
HREBAS(IM)=HRBASE(I)
IM=IM+1

CONTINUE

CALCUL DE L'APPORT DE BASE ET DU DEBIT DE RUISSELLEMENT

ORUISS(L)=0.0
LDBASE(L)=LOGQA
DBASE(L)=10**LOGQA
CUMUL=0.
QCUMUL(L)=CUMUL
KKKK=IREFA+1
DO 208 I=KKKK,IREFB
L=L+1

```

LDBASE(L)=TENIE*(VPRE(I)-PRE(VREF)/DELTAH/FLUISH)
DBASE(L)=10**LDBASE(L)
QRUISS(L)=QSM(I)-DBASE(L)
SORUIS=SORUIS+QRUISS(L)
QCUMUL(L)=CUMUL+(QRUISS(L)+QRUISS(L-1))/2.
CUMUL=QCUMUL(L)
208 CONTINUE
IF (DELTAB.EQ.0.) GOTO 318
L=L+1
QRUISS(L)=0.0
QCUMUL(L)=CUMUL+(QRUISS(L)+QRUISS(L-1))/2.
LDBASE(L)=LOGQB
DBASE(L)=10**LOGQB
318 CONTINUE
C
C CALCUL DU VOLUME D'EAU ET DE LA LAME D'EAU RUISSELEE
C
VOLRUI=(PAS*(2*SORUIS-QRUISS(1)-QRUISS(L))+QRUISS(1)*
+(PAS-DELTAA)+QRUISS(L)*DELTAB)/2*3600
BLADE=VOLRUI*39.37007874/(SUPBV*1000**2)
VOLUME=BLADE*25.4
C
C IMPRESSION DE L'HYDROGRAMME DE RUISSELLEMENT EN COORDONNEES
C VRAIES
C
WRITE(6,470) HYDNOM,NDBTA1
WRITE(6,401)
WRITE(6,402)
WRITE(6,403)
DO 213 I=1,L
WRITE(6,404) HREBAS(I),QRUISS(I),QCUMUL(I),DBASE(I)
213 CONTINUE
WRITE(6,405) VOLUME
WRITE(6,406) SUPBV
C
C LES DEUX SOUS-ROUTINES APPELEES PHI ET PHY CALCULENT LE
C COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT PHI ET DONNENT LA DUREE NETTE TR.
C LA DIFFERENCE EST QUE:
C PHI CONSIDERE LES HEURES INTERMEDIATRES NON-CONTRIBUANTES
C PHY TIENT COMPTE SEULEMENT DES HEURES CONTRIBUANTES
C AINSI IL FAUT CHOISIR PHI OU PHY SELON LE CAS DESIRE
C
C
CALL PHY(RHEURE,RJNTEN,HEURE,BLADE,HYETOG,TR,NOM,PAS,FI)
FI=FI*25.4
WRITE(*,900) FI
900 FORMAT(1X,F7.3)
C
C CALCUL DES CARACTERISTIQUES DE L'HYDROGRAMME EN COORDONNEES
C VRAIES
C
NO=0
NOIX=0
CALL CUMAX(QRUISS,L,QMAX,ITMAX,QCUMUL)
CALL CG(HYETOG,NOM,HDEBU,CENTRE)
CALL CARAC(QRUISS,HREBAS,QMAX,ITMAX,QCUMUL,L,CENTRE)
WRITE(6,414)
WRITE(6,415) QMAX,Q75,Q50,T1,T2,T3
WRITE(6,416) TM,TP,W75,W50,W0,IWO,FRAC,ALPHA
C=(VOLUME/RSMTOT)*100
CA(2)=VOLUME
CA(3)=TM
CA(4)=W0
CA(5)=W75
CA(6)=W50
CA(7)=QMAX

```



```

HU2(I)=HS(I)*ITR/TR2
GOTO 317
316 CONTINUE
HU2(I)=HS(I)*ITR/TR2
317 CONTINUE
IF(HU2(I).LT.0.) IFLUC=1
212 CONTINUE
CALL CUMAX(HU2,L,QMAX,ITMAX,QCUMUL)
CALL CG(HYETOG,NOM,HDEBU,CENTRE)
CALL CARAC(HU2,HREBAS,QMAX,ITMAX,QCUMUL,L,CENTRE)
C
C IMPRESSION DE L'HYDROGRAMME UNITAIRE DE DEUX(2) HEURES
C
IF(TR.EQ.TR2) GOTO 326
WRITE(6,420)
WRITE(6,411) TR2
WRITE(6,412)
DO 216 I=1,L
WRITE(6,413) HU2(I),QCUMUL(I),HREBAS(I)
216 CONTINUE
WRITE(6,414)
WRITE(6,415) QMAX,Q75,Q50,T1,T2,T3
WRITE(6,416) TM,TP,W75,W50,W0,IW0,FRAC,ALPHA
GOTO 305
326 CONTINUE
WRITE(6,428)
305 IF(IFLUC.EQ.1) WRITE(6,427)
WRITE(6,429)
WRITE(6,430)
IF(IFLUC.EQ.1) GOTO 223
NOIX=1
ITR2=TR2
C=(25.4/RSMTOT)*100
CARA(1)=ITR2
CARA(2)=25.4
CARA(3)=TM
CARA(4)=W0
CARA(5)=W75
CARA(6)=W50
CARA(7)=QMAX
CARA(8)=Q75
CARA(9)=Q50
223 CONTINUE
CA(1)=TR
WRITE(6,110) NOSTPL,NOM,TMP,TP,CA(1),RSMAX,RSMTOT,VOLUME,FI,
+API,AAPI
WRITE(6,114) NOSTA1,(CA(I),I=1,11)
IF(NO.EQ.1) WRITE(6,115) NOSTA1,(CAR(I),I=1,9)
IF(NOIX.EQ.1) WRITE(6,115) NOSTA1,(CARA(I),I=1,9)
366 CONTINUE
C
C LES FORMATS DE LECTURE
C
100 FORMAT(1X,I7,A15)
101 FORMAT(3(1X,I2))
102 FORMAT(1X,F5.2,1X,I3)
103 FORMAT(1X,F5.2,1X,F5.1)
104 FORMAT(1X,I7,A18)
105 FORMAT(1X,F6.1)
106 FORMAT(1X,F4.2)
107 FORMAT(1X,10F7.3)
108 FORMAT(1X,I1)
109 FORMAT(1X,F5.2)
110 FORMAT(' ',1X,I7,1X,I3,1X,F4.1,8(1X,F5.1))
114 FORMAT(' ',1X,I6,2(1X,F4.1),4(1X,F5.1),3(1X,F7.3),1X,F5.1,1X
+F7.3)

```

```

115 FORMAT(' ',1X,10,2(1X,F4.1),4(1X,F2.1),3(1X,F7.3))
116 FORMAT(1X,I3)
111 FORMAT(1X,F5.1)
112 FORMAT(1X,F5.1)
C
C      LES FORMATS D'IMPRESSION
C
460 FORMAT('1',///,8X,'STATION PLUVIOMETRIQUE',A15,///,8X,
+ 'NUMERO ',I7)
461 FORMAT(' ',///,8X,'DATE DEBUT ENREGISTREMENT ',I2,1X,I2,1X,
+I2,4X,'HEURE DEBUT ',F5.2,/,4X,'NOMBRE D ENREGISTREMENTS: ',I3)
462 FORMAT(' ',///,25X,'DONNEES PLUVIOMETRIQUES ',///,8X,'HEURE',
+5X,'INTENSITE (mm./hr.)',/)
463 FORMAT('0',8X,F6.2,12X,F8.1)
464 FORMAT(' ',/,13X,'****FIN DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES****')
465 FORMAT(' ',/,10X,'PRECIPITATION ANTECEDENTE(API) : ',
+ F5.1,'mm')
470 FORMAT('1',////,8X,'STATION HYDROMETRIQUE ',A18,///,8X,
+ 'NUMERO ',I6)
471 FORMAT(' ',///,8X,'PAS',F5.2,2X,'HEURE')
472 FORMAT(' ',///,25X,'DONNEES HYDROMETRIQUES ',///,8X,'HEURE',
+8X,'DEBIT (m.3/s.)',5X,'LOGARITHME DU DEBIT ',/)
473 FORMAT('0',9X,F6.2,12X,F8.3,14X,F7.3)
474 FORMAT(' ',/,13X,'****FIN DES DONNEES HYDROMETRIQUES****')
401 FORMAT(' ',///,25X,'HYDROGRAMME EN COORDONNEES VRAIES ')
402 FORMAT(' ',24X,33(' '),///,26X,
+ 'CALCUL DES DEBITS PAR INTERVALLE ')
403 FORMAT(' ',///,8X,'INTERVALLE',6X,'DEBIT RUISSELE',5X,
+ 'DEBIT RUISSELE CUMULE',6X,'DEBIT DE ',/,22X,'(DEBUT INTERVALLE)',
+,4X,'(CENTRE INTERVALLE)',9X,'BASE',/)
404 FORMAT('0',7X,F8.2,11X,F8.3,14X,F9.3,10X,F7.3)
405 FORMAT(' ',////,15X,'LA LAME D'EAU RUISSELEE SUR LE BASSIN=',
+ F6.3,1X,'mm')
406 FORMAT(' ',////,15X,'LA SUPERFICIE DU BASSIN VERSANT EST DE',
+ F6.1,1X,'km.2')
410 FORMAT('1',////,8X,' HYDROGRAMME DE RUISSELLEMENT UNITAIRE
+ (LAME D'EAU DE 1 P0 OU 25.4 mm.)')
411 FORMAT(' ',///,8X,'DUREE ',F4.1,' HEURES ',8X,' DEBIT EN
+ METRES CUBES/SECONDE')
412 FORMAT(' ',///,13X,' DEBIT ',9X,' DEBIT CUMULE ',9X,
+ ' TEMPS (HEURES)',/)
413 FORMAT('0',9X,F8.3,10X,F9.3,14X,F7.2)
414 FORMAT(' ',////,7X,'QMAX ',10X,' Q75 ',9X,' Q50 ',9X,' T1 ',
+,9X,' T2 ',9X,' T3 ')
415 FORMAT(' ',/,7X,F7.3,9X,F7.3,7X,F7.3,7X,F5.2,8X,F5.2,
+ 6X,F5.2)
416 FORMAT(' ',////,10X,'TM   =',F6.2,/,10X,'TP   =',F6.2,/,
+ 10X,'W75   =',F6.2,/,10X,'W50   =',F6.2,/,10X,'WD   =',
+ F6.2,'HEURES OU ',I2,' JOURS ',F5.2,'HEURES .',/,10X,
+ 'ALPHA =',F7.3)
420 FORMAT('1',////,8X,'HYDROGRAMME DE RUISSELLEMENT UNITAIRE
+ DERIVE(LAME D'EAU DE 1 P0.)')
428 FORMAT(' ',///,8X,'****L HYDROGRAMME DE DUREE NETTE DE DEUX
+ HEURES N EST PAS NECESSAIRE ****',/,8X,'****CAR LA DUREE DE LA
+ PLUIE NETTE FOURNIE EST AUSSI EGALE A DEUX HEURES****')
427 FORMAT(' ',///,8X,'****IL Y A FLUCTUATION DANS L HYDROGRAMME
+ UNITAIRE DERIVE.****')
429 FORMAT(' ',///,15X,'****FIN DE SIMULATION****')
430 FORMAT('1')
CLOSE(5)
CLOSE(6)
STOP
END

```

```

C
C      CETTE SOUS-ROUTINE LIT LA POSITION DU POINT A(OU B),C'EST A
C      DIRE, LE MOIS, LE JOUR ET L'HEURE, LE LOCALISE SUR L'HYDROGRAMME

```

EN CHOISISSANT UN POINT DE REFERENCE ET RENVOIE LE LOGARITHME DU
DEBIT EN CE POINT(A OU B).L'INTREPOLATION N'EST PLUS NECESSAIRE
ETANT DONNE QU'ON A INTERET A PLACER A ET B A L'HEURE PRES POUR
LA CONSTRUCTION DE L'HYDROGRAMME EN S.

DEFINITION DES VARIABLES LOCALES:

HAB :HEURE DU POINT A OU B

JAB :JOUR DU POINT A OU B

MAB :MOIS DU POINT A OU B

NHREAB:NOMBRE D'HEURES ECOULEES DU DEBUT DE L'ANNEE AU POINT
DE REFERENCE DE A OU B.

NBRED :NOMBRE D'HEURES ECOULEES DU DEBUT DE L'ANNEE A L'HEURE
DU DEBUT DE L'ENREGISTREMENT HYDROMETRIQUE .

IDIFF :INDICE DU POINT DE REFERENCE DE A(OU B)

SUBROUTINE INTPOL(HAB,JAB,MAB,LOGQAB,IDIFF,DELTA)

COMMON/BLOCK3/NMO,MOIDHY,JOUDHY,LOGQSM,IPAS,NHDEB

INTEGER NMO(12)

REAL LOGQSM(100),LOGQAB

WRITE(*,1300)

1300 FORMAT(' LIRE LA POSITION DES POINTS A ET B ')

READ(*,120) MAB,JAB,HAB

120 FORMAT(2I2,F5.2)

IHAB=HAB

DELTA=HAB-IHAB

NHREAB=(NMO(MAB)+JAB)*24+IHAB

NBRED=(NMO(MOIDHY)+JOUDHY)*24+NHDEB

IDIFF=NHREAB-NBRED

IDIFF=(IDIFF/IPAS)+1

WRITE(*,117) IDIFF

117 FORMAT(1X,I3)

LOGQAB=LOGQSM(IDIFF)

RETURN

END

CETTE SOUS-ROUTINE CHERCHE L'HEURE A LAQUELLE SURVIENT LE
DEBIT QXX(50% OU 75%) DE QMAX EN MONTEE DE L'HYDROGRAMME
(SI ON COMMENCE A L'EXTREMITE AMONT DE CE DERNIER) OU EN
DECRUE(SI ON COMMENCE A L'EXTREMITE AVAL DE L'HYROGRAMME).

DEFINITIONS DES VARIABLES LOCALES:

HYD :HYDROGRAMME SUR LEQUEL ON CHERCHE LES DEBIT ET
TEMPS QXX

IAMONT :INDICE AMONT DE L'INTERVALLE CERNANT TXX

IAVAL :INDICE AVAL DE L'INTERVALLE CERNANT TXX

SUBROUTINE TEMPS(HYD,HREBAS,QXX,TXX,IDEFAR,IN)

REAL HYD(80),HREBAS(80)

I=IDEFAR

500 IF(HYD(I).LT.QXX) GOTO 511

IAVAL=I

IAMONT=I-IN

GOTO 512

511 CONTINUE

I=I+IN

GOTO 500

512 CONTINUE

TXX=(QXX-HYD(IAMONT))*(HREBAS(IAVAL)-HREBAS(IAMONT))/(HYD
+(IAVAL)-HYD(IAMONT))+HREBAS(IAMONT)

RETURN

END

CONTRIBUANTES SEULEMENT.

SUBROUTINE PHY (RHEURE, RINTEN, HEURE, BLADE, HYETOG, TR, NOM, PAS, FI)
DIMENSION RINTEN(80), HYETOG(80), HEURE(80), RAIN(80)
DO 511 I=1, NOM
 RAIN(I)=RINTEN(I)

CONTINUE

CLASSIFICATION DES INTENSITES PAR ORDRE DECROISSANT

ISIGNE=0

IF (ISIGNE.NE.0) GO TO 299

 ISIGNE=1

DO 512 I=2, NOM

IF (RAIN(I).LE.RAIN(I-1)) GOTO 300

TEMPO=RAIN(I-1)

RAIN(I-1)=RAIN(I)

RAIN(I)=TEMPO

ISIGNE=0

CONTINUE

CONTINUE

GO TO 301

CONTINUE

CALCUL DE PHI ET DE LA DUREE NETTE TR

CUMUL=0.

I=1

IF (I.GE.NOM) GOTO 403

K=1

IF (RAIN(I+1).NE.RAIN(I)) GOTO 401

J=1

IF (J.GE.NOM) GOTO 403

IF (RAIN(J+1).NE.RAIN(J)) GOTO 401

K=K+1

J=J+1

GOTO 408

CONTINUE

CUMUL=CUMUL+K*RAIN(I)

FI=(CUMUL*1.0-BLADE)/((I+K-1)*1.0)

IF (FI.LT.RAIN(I+K)) GOTO 406

TR=(I+K-1)

GO TO 407

CONTINUE

I=I+K

GO TO 405

CONTINUE

TR=RHEURE

CONTINUE

CALCUL DE L'HYETOGRAMME NET

DO 602 I=1, NOM

 HYETOG(I)=RINTEN(I)-FI

 IF (HYETOG(I).LT.0.) HYETOG(I)=0.

CONTINUE

RETURN

END

CETTE SOUS-ROUTINE CALCULE LE CENTRE DE GRAVITE DE
L'HYETOGRAMME FOURNI PAR RAPPORT A L'HEURE ZERO DE LA
PREMIERE JOURNEE DE PLUIE.

```

SUBROUTINE CG (HYET, NOM, HDEBU, CENTRE)
DIMENSION HYET(80)
AIRE=0.
DO 600 I=1, NOM
AIRE=AIRE+HYET(I)*1.
600 CONTINUE
CUMUL=0.
DO 601 I=1, NOM
CUMUL=CUMUL+HYET(I)*((I-1)+HDEBU-0.5)
601 CONTINUE
CENTRE=CUMUL/AIRE
RETURN
END
*****
```

APPENDICE II

Les sorties graphiques

HYDROGRAMME DE RUISSELLEMENT

hydrogramme global

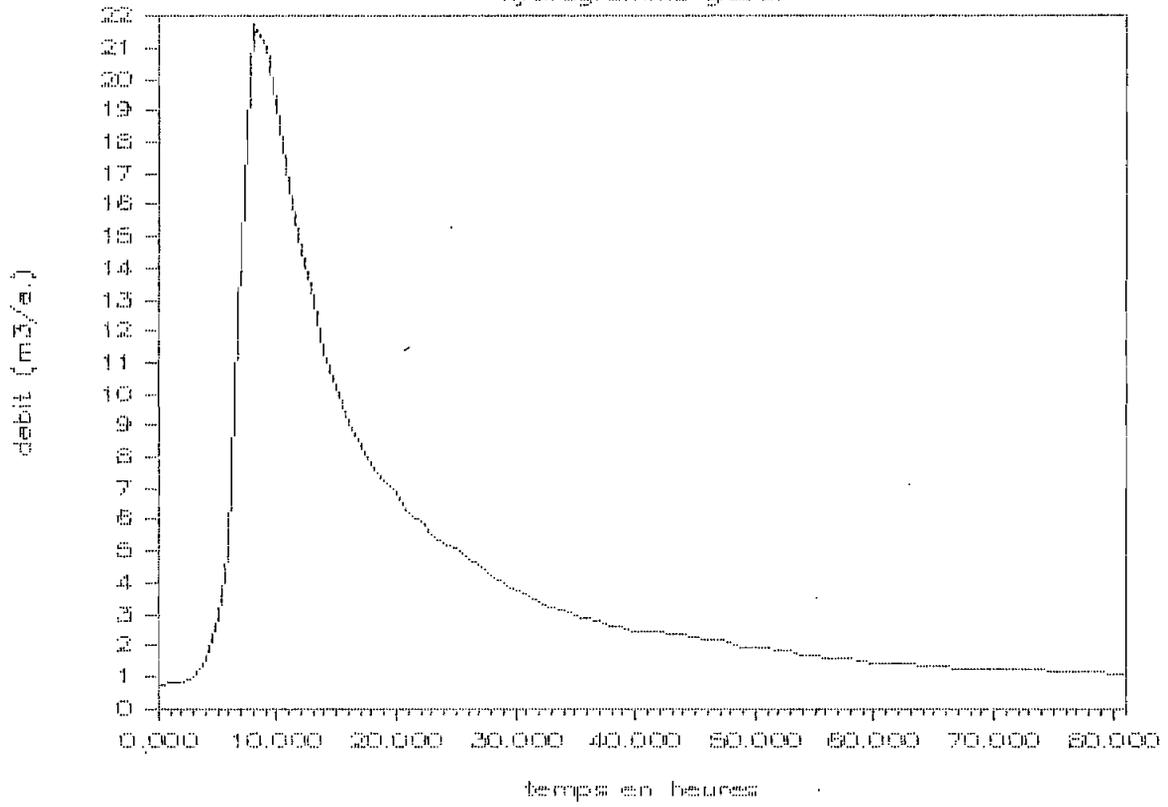


fig 9 :

HYDROGRAMME EN COORDONNEES VRAIES

hydrogramme de ruissellement direct

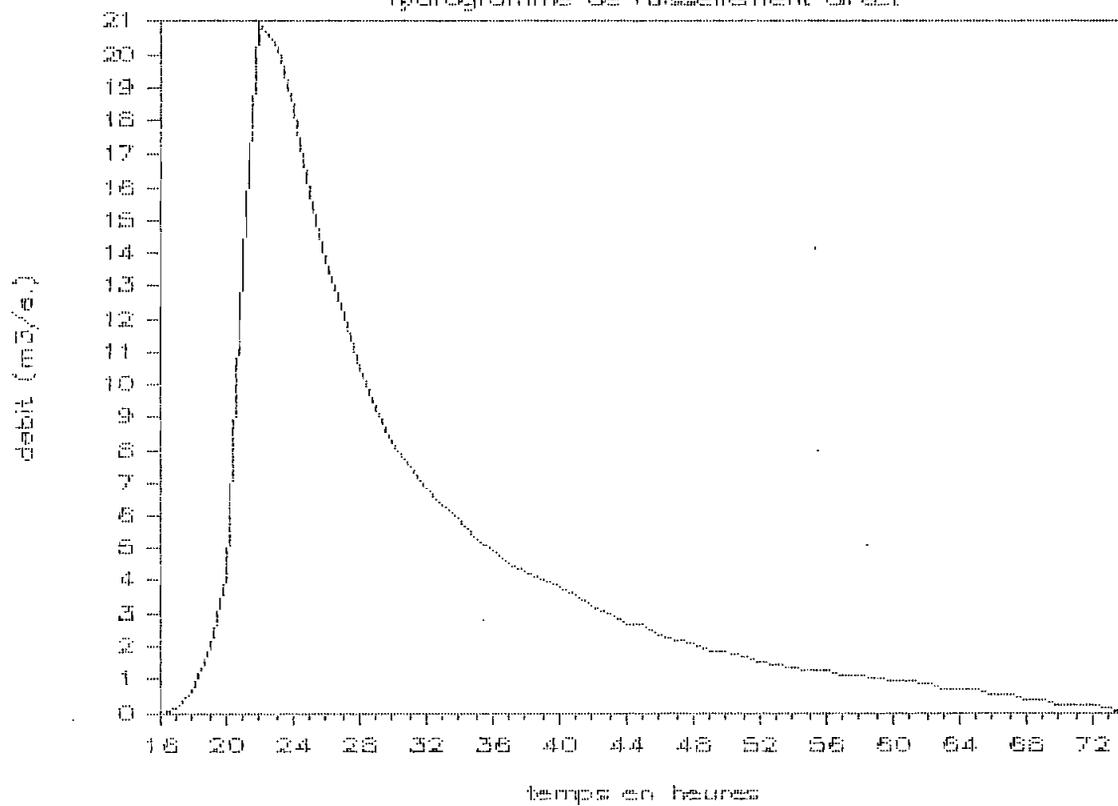


fig 10 :

HYDROGRAMME DE RUISSELLEMENT UNITAIRE de durée de la pluie nette (TR)

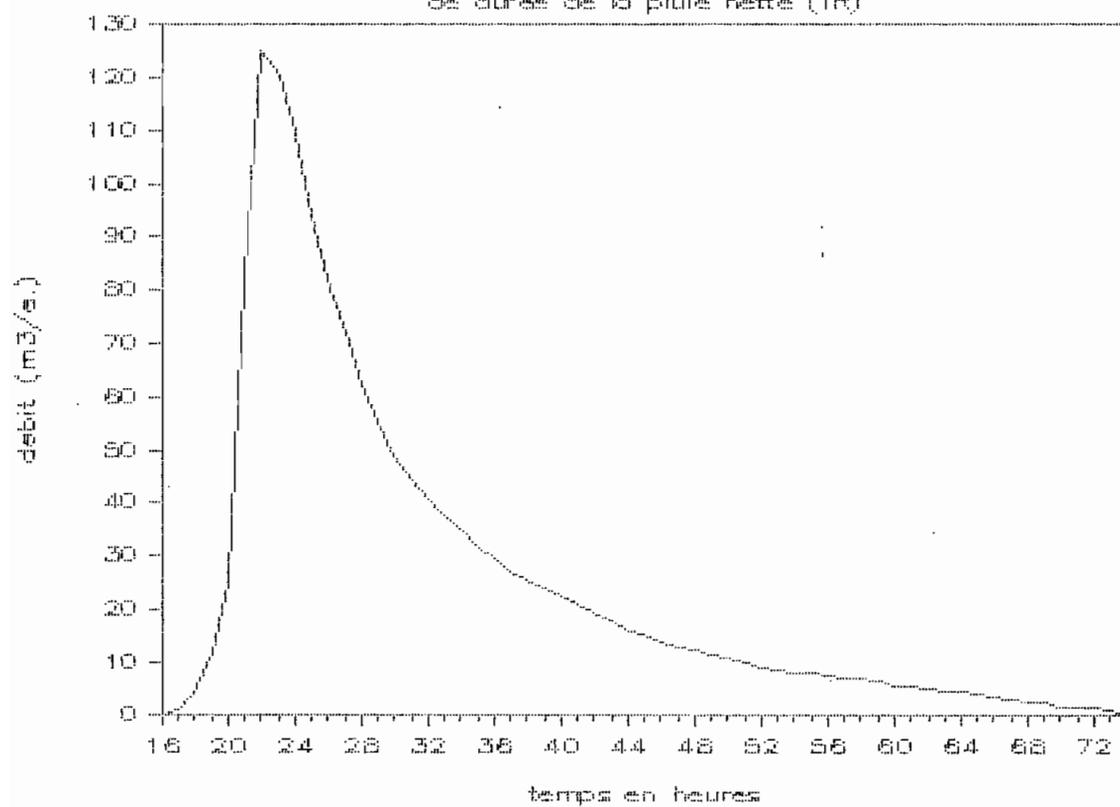


fig 11 :

HYDROGRAMME DE RUISSELLEMENT UNITAIRE de durée deux (02) heures

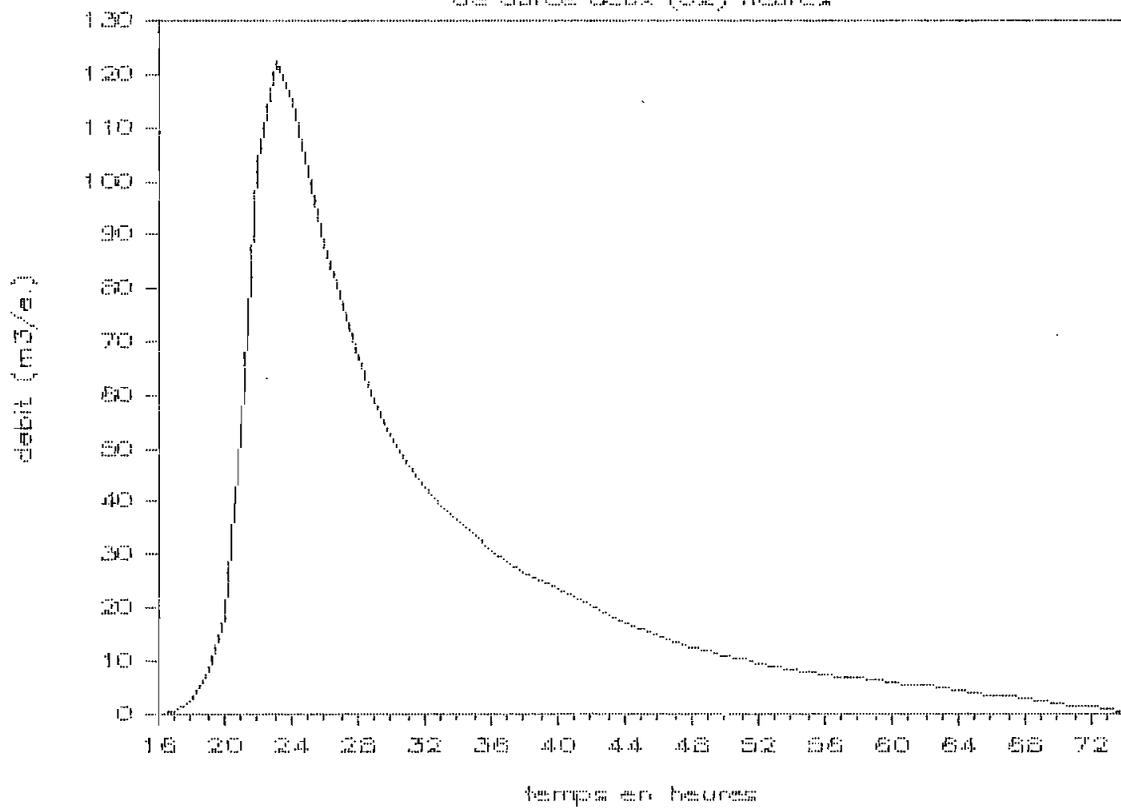


fig 12 :

BIBLIOGRAPHIE

1-ANDRE LECLERC:L'hydrologie de l'ingénieur, 149 p, Ecole Polytechnique de Montréal , 1971

2-G-REMENIERAS:L'hydrologie de l'ingénieur, 456p, Eyrolles/Paris , 1980

3-GLOODR,R:Relations pluie-débits-hydrogramme unitaire, Journées d'études en hydrologie de surface, Compte rendu 1ère partie , p 105-112, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse), 1983

4-D.TESSIER:Théorie de l'hydrogramme unitaire, Notes de cours Hyd 3-22 p7-10 @ 7-32, Ecole Polytechnique de Thiès, 1987

5-DAMAS, José:Hydrologie générale: principes et applications, 487 p, Editions Morin-Chicoutimi, 1985

6-ROCHE, M:Hydrologie de surface, 430 p, Gauthiers Villars-Paris (ORSTOM), 1963

7-IBM:Guide de l'utilisateur IBM.DOS Version 3.10

8-G-E SAINT-AMANT&GAUTHIER Daniel:Lotus 1-2-3: La feuille électronique Tome 1, 275

p, Editions: Saint-Vermette (Québec) & Les Editions D'organisation (Paris), 1985

9-G-E SAINT-AMANT&GAUTHIER Daniel:Lotus 1-2-3: Les graphiques, la gestion des données et les macrocommandes Tome 2, 257 p, Editions Saint-Vermette (Québec) & Les Editions D'organisation (Paris), 1985

10-IBM, Fortran Compiler version 2.00

11-A. STROHMEIR: Fortran 77 : Approche systématique
illustrée d'exemples, 145 p, Eyrolles , 1984