

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

**PROJET**  
**DE**  
**FIN D'ÉTUDES**

GC. 0357

Titre Etablissement des courbes d'intensité  
durée de précipitation à DAKAR

Auteur D - SARR

Génie CIVIL

Date JUIN 1984

ECOLE POLYTECHNIQUE

de  
THIES

DEPARTEMENT de GENIE CIVIL

PROJET

de

FIN D'ÉTUDES

GC.0357

TITRE : Etablissement des Courbes Intensité-durée  
des précipitations  
à DAKAR

Auteur : Djibril SARR

Directeur : CHRISTIAN ROUSSEAU.

Mai 1984

## SOMMAIRE

Le but de ce travail est d'établir les courbes Intensité - Durée des précipitations à Dakar pour l'estimation des débits de drainage urbain par la méthode Rationnelle. Ces courbes sont des graphiques où pour une fréquence donnée, l'intensité de la pluie est représentée en fonction de sa durée.

Pour atteindre ce but on fait le traitement informatique et l'analyse statistique de données pluviométriques enregistrées à la Station de Dakar roff pendant une période d'observation de vingt (20) ans s'étalant de 1960 à 1980.

Vu qu'en statistique une telle période d'observation n'est pas souvent significative, nous avons pu extrapoler les résultats obtenus par l'expérience pour trouver dans le temps, les pluies de fréquence une (1) fois tous les cent (100) ans.

## TABLE DES MATIÈRES

	pages
Sommaire .....	ii
CHAPITRE 1 Introduction .....	1
CHAPITRE 2 Les données pluviométriques et leur traitement préliminaire .....	2
2.1 Mesure de la précipitation .....	2
2.2 Les données pluviométriques .....	5
2.3 Homogénéité des données .....	11
2.4 Traitement informatique des données .....	12
2.5 Raffinement des données .....	14
CHAPITRE 3 ETUDE statistique et calcul des Courbes expérimentales .....	20
3.1 Rappel théorique .....	20
3.1.1 Le classement statistique .....	20
3.1.2 Calcul de la fréquence cumulée et de la période de retour .....	21
3.2 Analyse statistique des données raf- finées .....	23
3.3 Calcul des Courbes expérimentales .....	27
3.3.1 Méthode utilisée .....	27
3.3.2 Résultats .....	28
3.3.2.1 Points expérimentaux .....	29
3.3.2.2 Courbes expérimentales .....	34

CHAPITRE 4 - Extrapolation de La Courbe Centenaire	36
4.1. Ajustement suivant La Loi Log-normale	37
4.1.1. Intensités à La durée 15 minutes	38
4.1.2. Intensités à La durée 30 minutes	39
4.1.3. Intensités à La durée 45 minutes	39
4.2. Extrapolation à partir de La fonction de distribution de La Loi suivie par Les échantillons	39
4.3. Ajustement suivant La Loi de Goodrich	41
4.3.1. Intensités à La durée 15 minutes	45
4.3.2. Intensités à La durée 30 minutes	46
4.3.3. Intensités à La durée 45 minutes	47
4.4. Comparaison des trois méthodes utilisées	50
45. Calcul des autres points de La Courbe Centenaire	52
CHAPITRE 5 Calcul des courbes théoriques	55
CHAPITRE 6 Conclusion et recommandation	59
Bibliographie	61
Annexe A	63
Annexe B	75
Annexe C	82
Annexe D	89
Annexe E	93
Annexe F	94

## 1. INTRODUCTION

Le débit de pointe est la plus importante et peut être la seule caractéristique d'une précipitation qu'on puisse utiliser dans le design de la plupart des aménagements hydrauliques en général et des égouts pluviaux en particulier. Des inondations qui ont causé des dommages élevés dans nos milieux urbains, et voire même des pertes de vie ont été relevées à travers l'histoire. Il est logique qu'on ait tenté de développer des méthodes d'estimation des débits de drainage urbain. La méthode la plus ancienne était basée sur des formules empiriques qui incluaient les caractéristiques physiographiques du bassin de drainage. Aujourd'hui l'hydrogramme unitaire, la propagation des crues et les analyses de fréquence des crues font partie de la pratique courante d'estimation des débits de pointe. Cependant la méthode dite "méthode rationnelle" jouit aujourd'hui d'une popularité incontestée des ingénieurs. Cette méthode facile à appliquer numériquement reconnaît que le débit de ruissellement est fonction à la fois de l'intensité et de la durée d'un orage; son utilisation exige alors la connaissance du comportement statistique des précipitations pour une région donnée. Ce comportement est exprimé par des courbes où l'in-

2

Intensité de pluie est mise en graphique en fonction de la durée de cette précipitation. Ce graphique est appelé courbe intensité - durée pour la région donnée. C'est dans le but de permettre aux ingénieurs sénégalais d'élargir l'utilisation de la méthode rationnelle que nous avons décidé d'apporter cette modeste contribution au calcul des ouvrages tributaires du ruissellement au Sénégal en essayant dans ce rapport d'établir les courbes intensité - durée des précipitations à Dakar.

## CHAPITRE 2

### LES DONNEES PLUVIOMETRIQUES ET LEUR TRAITEMENT PRELIMINAIRE

Pour l'hydrologue des pays tropicaux, Les précipitations occultes ou sous forme solide ne jouent pratiquement aucun rôle. Dans ce chapitre en particulier et dans ce rapport en général, précipitation sera donc synonyme de pluie ou d'averse. Le problème à traiter étant globalement l'étude des courbes intensité - durée, La nature de l'information dont on a besoin au sujet des précipitation à Dakar est leur hauteur cumulative à un temps déterminé inférieur ou égal à leur durée. Les méthodes d'obtention de cette information étant variables, on parlera de la méthode qu'on a utilisée pour l'obtenir. On parlera ensuite en détail de cette information et de son traitement automatique; une dernière partie consistera à la raffiner en vue de son utilisation pour atteindre le but poursuivi.

#### 2.1 Mesure de la précipitation

Il existe deux (2) classes d'appareils permettant la mesure de la pluie:

- Le pluviomètre qui donne la pluie globale à une station



pendant un temps plus ou moins long.

- Le pluviographe qui permet d'analyser de plus près la répartition de la pluie dans le temps. Il existe toute une gamme d'appareils de cette deuxième classe basés sur des principes différents. Actuellement, le plus couramment utilisé est le pluviographe à auges basculeurs qui offre des garanties de fonctionnement et des facilités de dépouillement incontestablement supérieures. Cet appareil est celui utilisé à la station Dacar Yoff.

Son principe de fonctionnement est le suivant:

Deux auges solidaires oscillent autour d'un axe en équilibre instable, l'un des auges reposant sur une butée, l'autre se trouve en position de remplissage sous le cône récepteur de pluie. Au cours du remplissage, la verticale passant par le centre de gravité de l'ensemble se déplace en recoupant un segment limité par l'axe et le point de butée. Au moment précis où elle sort du segment, les deux auges basculent brutalement et le second commence à se remplir. Le basculement d'un auge se produit donc pour un volume d'eau bien déterminé. Un réglage des butées permet d'ajuster ce volume à la valeur désirée. Cette valeur dépend du type d'auge utilisée. En basculant, les auges entraînent par l'intermédiaire d'un crochet une came en caoutchouc qui transmet le mouvement sur un papier graphique enroulé sur un tambour par

L'intermédiaire d'un stylet.

Des clichés de deux (2) appareils à auge basculeurs sont donnés aux figures 1.2 et 2.2. On précise que les pluviographes de la station DAKAR-YUFF sont construits par la société française 'Précis MÉCANIQUE'.

## 2.2 Les données pluviométriques

Les pluviographes donnent en fonction du temps sur un papier graphique enroulé sur un tambour, une courbe de pluies cumulée. Les appareils donnant directement la dérivée de cette courbe, appelés pluviographes à intensité, n'ont pas jusqu'à présent donné satisfaction. La dérivation se fait généralement à la main ou à l'ordinateur; cela fait l'objet du paragraphe 2.4. La courbe de pluies cumulée fournie par l'appareil est appelée pluviogramme. Les figures 3.2, 4.2, 5.2 et 6.2 donnent respectivement les pluviogrammes des averses du 25 octobre 1976, du 25 Aout 1962, des 8 et 12 Juillet 1969 sur DAKAR, à titre d'exemples. Les appareils qui ont fourni ces courbes ont une bague réceptrice de  $400 \text{ cm}^2$ , donc un trait fin correspond à un(1) millimètre de pluie, le volume de basculement d'un auge étant de  $20 \text{ cm}^3$ . Le pluviogramme est divisé dans le sens horizontal en intervalles de quinze (15) minutes. Son dépouillement consiste à présenter sous forme de tableau la courbe de pluies cumulée en tâchant de lui conserver le mieux possible ses caractéristiques.

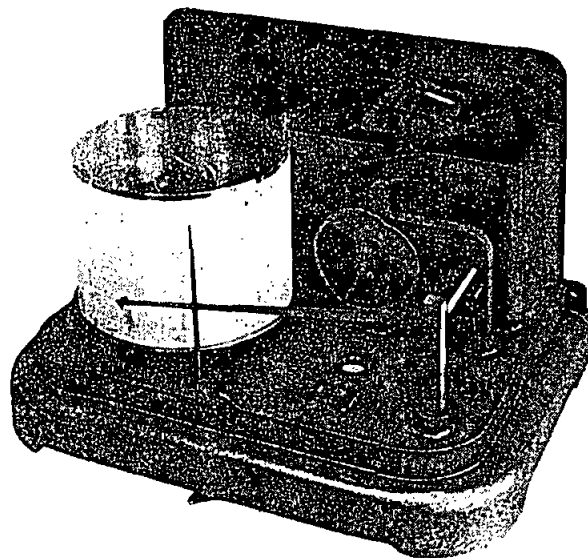
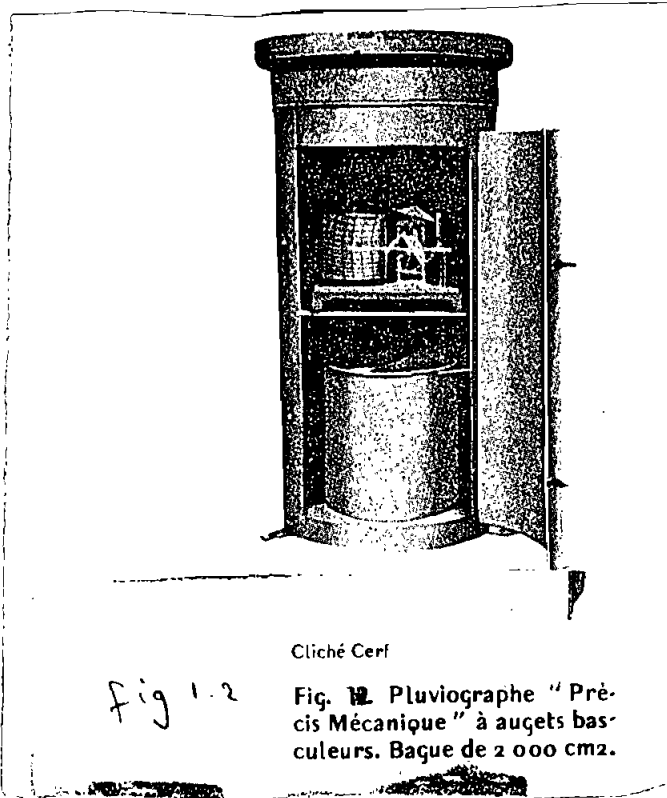


Fig. 20. Filotecnica.

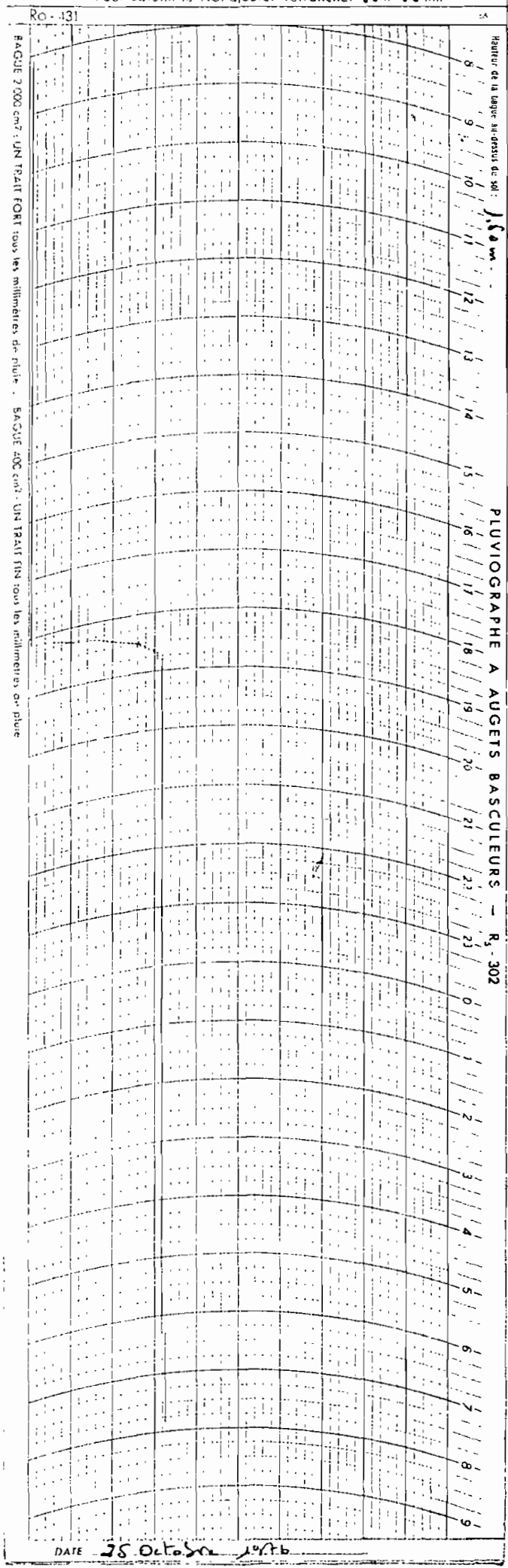
Fig. 20. Pluviographe Filotecnica : corps de l'appareil, capot enlevé. Le couvercle du carter contenant les augets basculeurs a été ôté pour montrer leur fonctionnement.

Appareil n° 208  
 Constructeur P. Mecanique  
 Station de : Dakar Y.H.  
 Senegal  
 Surface de la bague réceptrice 400 cm<sup>2</sup>  
 Altitude du pied de l'appareil 244 m

Pour obtenir le T.U. ajouter retrancher en h ou mn

fig 3.2

pluviogramme de l'averse  
 du 25 octobre 1976  
 sur DAKAR



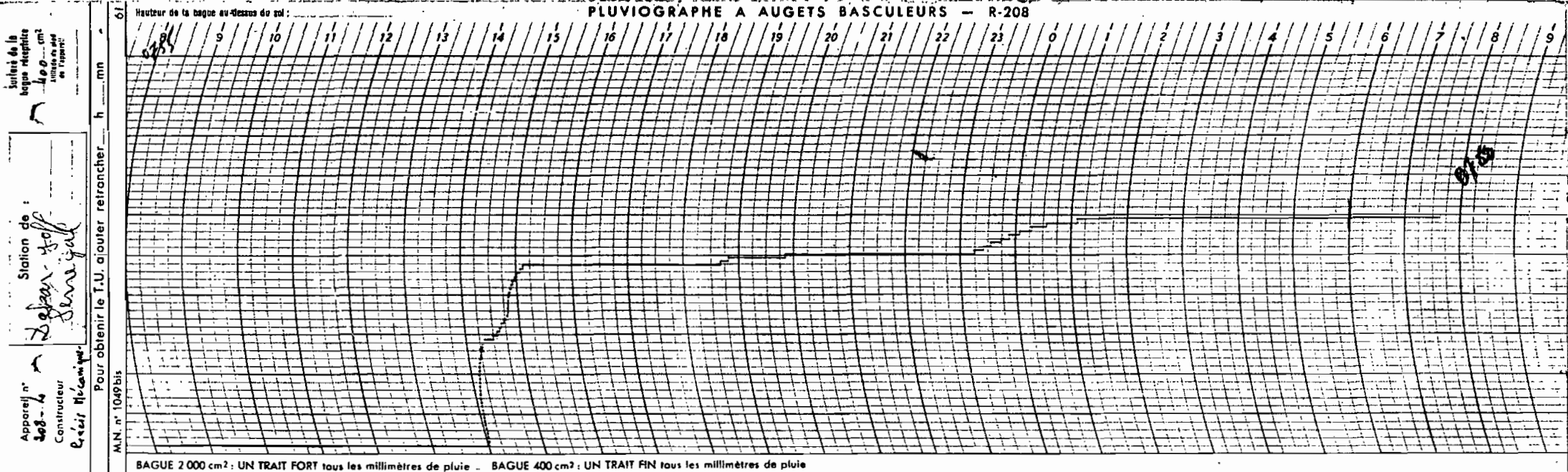


fig 2.2  
 pluviogramme  
 de l'averse du  
 25 Août 1962  
 sur DAKAR

DATE 25 Août 1962

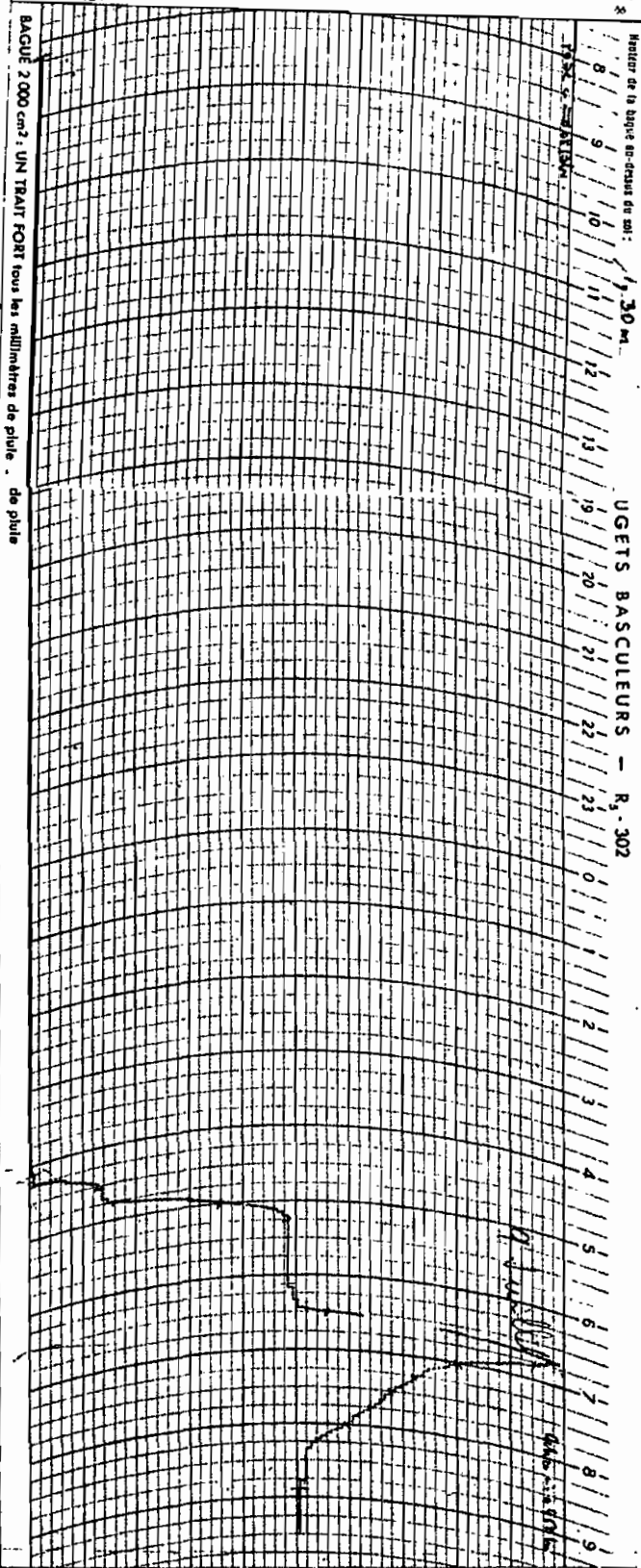
Appareil n° 26  
 Constructeur P. AUCIN MECANIQUE

Station de : DAKAR YOFF (Sénégal)

Surface de la bague réceptrice : 400 cm<sup>2</sup>  
 Altitude au-dessus du Niveau de l'océan : 21,70 m

Pour obtenir le T.U. ajouter  $\frac{1}{100}$  à h en mm

RO - 431



DATE 8 août 8 juillet 1969

fig 5.2

pluviogramme de  
 L'aurore du 8 juillet  
 1969 sur DAKAR

26  
Constructeur  
Précis-Mec.

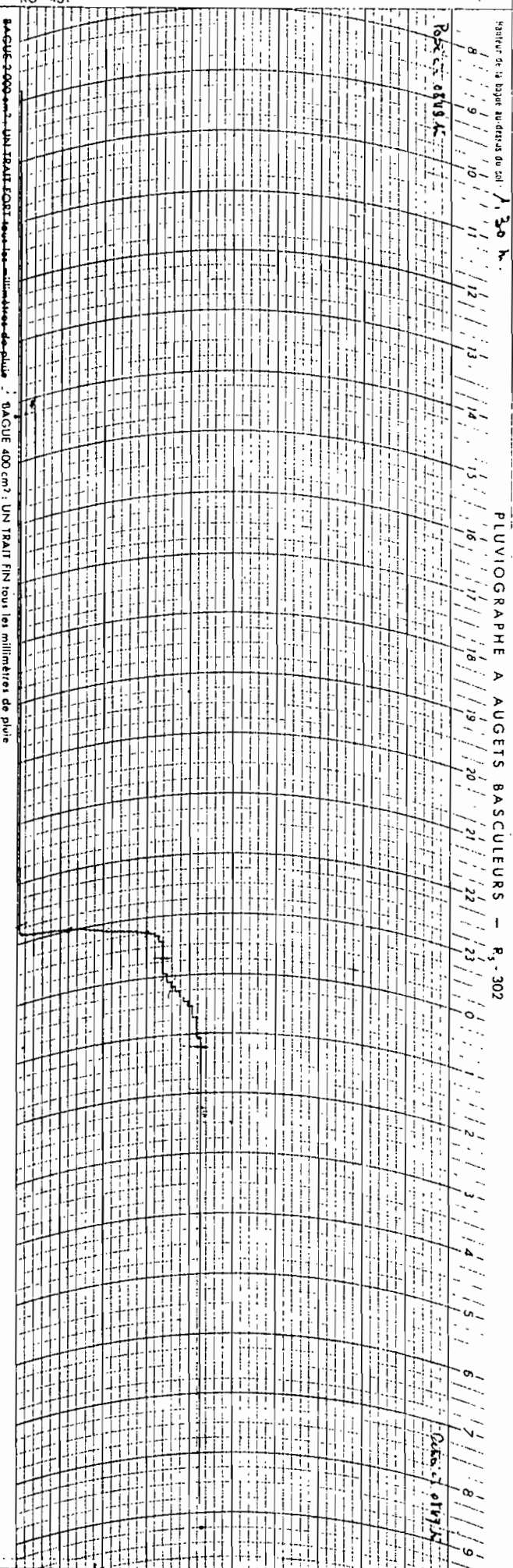
DAKAR-YOFF  
(Sénégal)

400 cm<sup>2</sup>  
Surface de capture  
de l'événement  
21.70 h.

Pour obtenir le T.U. ~~ajouter~~ soustraire 30 h 00 mn

Ro-431

BAGUE 2000 cm<sup>2</sup> : UN TRAIT FORT sous les millimètres de pluie  
BAGUE 400 cm<sup>2</sup> : UN TRAIT FIN sous les millimètres de pluie



DATE Samedi, 12 Juillet 1969.

fig 6.2  
pluviogramme de l'averse  
du 12 Juillet 1969 sur  
DAKAR

de la station de DAKAR-YOFF à la moyenne des précipitations annuelles des stations voisines. Les données pour ces dernières n'étant pas disponibles entre nos mains, la vérification de l'homogénéité ne sera pas faite dans ce rapport. On admet cependant non sans réserves que les données obtenues pour la station de DAKAR-YOFF sont homogènes et peuvent à toute fin pratique faire l'objet d'une étude statistique.

#### 2.4 Traitement informatique des données

Le traitement informatique des données <sup>consiste</sup> essentiellement au calcul des intensités. Pour une averse donnée, la courbe des intensités en fonction de la durée définit ce qu'on appelle la relation intensité - durée pour l'averse considérée. Cette courbe s'appelle hyétogramme. Les intensités seront alors exprimées en hauteur de pluie par unité de temps (généralement en mm/h). Pour les calculer, la méthode qu'on a utilisée est celle donnée par FAIR, GERER et OKUN dans leur livre "Water supply AND WASTEWATER REVENUE" (page 7-5A7-6). Cette méthode permet de calculer pour chaque averse de l'année A l'intensité à une durée  $T$  variant de 15 à 240 minutes par intervalle de 15 minutes. L'intervalle de 15 minutes est choisi seulement à cause de la facilité offerte par le dépouillement des pluviogrammes. Passons maintenant au calcul des intensités proprement dit. Pour une averse donnée (annexe A), avec la liste des



hauteurs cumulatives, on calcule par intervalle de 15 minutes la hauteur de pluie interceptée. Si  $H_T$  est la hauteur cumulative à la durée  $T$  et  $H_{T+15}$  la hauteur à la durée  $T+15$ , la hauteur de pluie interceptée pendant l'intervalle de 15 minutes est de  $H_{T+15} - H_T$ ;  $T$  pouvant prendre les valeurs de 0 à 225 minutes. On obtient une série de valeurs  $H_{T+15} - H_T$ . Le maximum de ces valeurs, soit  $H_{m15}$  est utilisé pour calculer l'intensité à la durée 15 minutes  $I_{15}$ .  $I_{15} = \frac{H_{m15} \times 60}{15}$   $H_{m15}$  en mm et  $I_{15}$  en mm/h. Cette intensité correspond à l'intensité maximum atteint par la pluie pendant un intervalle de 15 minutes tout au long de sa durée.

Pour la durée 30 minutes:

$$H_{m30} = \text{MAX}(H_T + H_{T+15}) \quad T = 15 \text{ à } 225 \text{ par pas de } 15$$

Pour la durée 45 minutes:

$$H_{m45} = \text{MAX}(H_T + H_{T+15} + H_{T+30}) \quad T = 15 \text{ à } 210$$

Pour la durée 60 minutes:

$$H_{m60} = \text{MAX}(H_T + H_{T+15} + H_{T+30} + H_{T+45}) \quad T = 15 \text{ à } 195$$

On procède ainsi pour toutes les autres durées de 60 à 240 minutes. Généralement pour les grandes durées la hauteur maximum n'est rien d'autre que la hauteur cumulative. (voir tableaux I.2, II.2, III.2 et IV.2). Vu le caractère fastidieux de ce calcul si on doit le faire à la main pour toutes les pluies de l'annexe A, un programme informatique a été élaboré.

Ce programme nécessite seulement l'entrée de la liste des hauteurs cumulatives pour un averse considéré. La liste des instructions de ce programme est donnée de la page 15 à la page 17 et un exemple de tableaux de résultats de la page 18 à la page 19. 238 tableaux de ce type sont ainsi obtenus. L'information principale recueillie au niveau de ces tableaux est l'intensité à une durée déterminée pour un averse considéré; elle se trouve sur la première et la dernière colonne.

### 2.5 Raffinement des données.

Il consiste à faire un dépouillement de tous les tableaux obtenus après le traitement informatique et regrouper dans un même tableau toutes les intensités correspondant à une même durée. On a ainsi obtenu les tableaux de l'annexe B.

Liste des instructions du programme de calcul des intensités

```

00010 BEGIN
00020 REM :CE PROGRAMME CALCULE DES INTENSITES DE PRECIPITATIONS
00030 REM :POUR DES DUREES ALLANT DE 15 A 240 MINUTES
00040 REM :AUTEUR:DJIBRIL SARR
00050 REM :DEFINITION DES VARIABLES
00055 REM :A#-DATE DE LA PRECIPITATION
00060 REM :A=MATRICE DES HAUTEURS CUMULATIVES DE PRECIPITATION
00070 REM :B=MATRICE DES HAUTEURS PAR INTERVALLE DE 15 MINUTES
00080 REM :C=MATRICE DES HAUTEURS MAXIMUMS POUR DES DUREES DE 5 A 240 MINUTES
00090 REM :D=MATRICE DES INTENSITES
00100 REM :LES MATRICES A,B,C ET D SONT A UNE LIGNE ET 16 COLONNES
00110 REM :TOUTES LES AUTRES VARIABLES UTILISEES DANS LE PROGRAMME SERVENT
00120 REM :UNIQUEMENT POUR LE CALCUL DES ELEMENTS DES MATRICES B,C ET D
00130 OPEN (6) "LP"
00140 PRINT 'CS'
00145 PRINT "DONNEZ LA DATE DE LA PRECIPITATION"
00150 INPUT A#
00155 DIM A(17),B(17),C(17),D(17)
00160 REM :INTRODUCTION DE LA MATRICE A
00170 FOR I=0 TO 17
00180 PRINT "DONNEZ UNE HAUTEUR CUMULATIVE AVANT DE CONTINUER"
00190 INPUT A(I)
00195 IF A(I)=0 THEN EXITTO 01890
00200 NEXT I
00210 REM :CALCUL DES ELEMENTS DE B
00220 FOR I=1 TO 16
00230 LET B(I)=A(I)-A(I-1)
00240 NEXT I
00250 REM :CALCUL DES ELEMENTS DE C
00260 LET E=B(1)
00270 LET E1=E
00280 FOR I=2 TO 16
00290 IF E-B(I))>0 THEN GOTO 00310
00300 LET E=B(I)
00310 LET E=E+0
00320 NEXT I
00330 LET C(1)=E
00340 LET F=E1+B(2)
00345 LET F1=F
00350 FOR I=2 TO 15
00360 IF F-(B(I)+B(I+1)))>0 THEN GOTO 00380
00370 LET F=B(I)+B(I+1)
00380 LET F=F+0
00390 NEXT I
00400 LET C(2)=F
00410 LET G=F1+B(3)
00420 LET G1=G
00430 FOR I=2 TO 14
00440 IF G-(B(I)+B(I+1)+B(I+2)))>0 THEN GOTO 00460
00450 LET G=B(I)+B(I+1)+B(I+2)
00460 LET G=G+0
00470 NEXT I
00480 LET C(3)=G
00490 LET H=G1+B(4)
00500 LET H1=H
00510 FOR I=2 TO 13
00520 IF H-(B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)))>0 THEN GOTO 00540
00530 LET H=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)
00540 LET H=H+0
00550 NEXT I
00560 LET C(4)=H
00570 LET J=H1+B(5)
00580 LET J1=J
00590 FOR I=2 TO 12
00600 IF J-(B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)))>0 THEN GOTO 00620
00610 LET J=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)
00620 LET J=J+0

```

```

00630 NEXT I
00640 LET C(5)=J
00650 LET K=J1+B(6)
00660 LET K1=K
00670 FOR I=2 TO 11
00680 LET K2=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)+B(I+5)
00690 IF K-K2>0 THEN GOTO 00710
00700 LET K=K2
00710 LET K=K+0
00720 NEXT I
00730 LET C(6)=K
00740 LET L=K1+B(7)
00750 LET L1=L
00760 FOR I=2 TO 10
00770 LET L2=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)+B(I+5)+B(I+6)
00780 IF L-L2>0 THEN GOTO 00800
00790 LET L=L2
00800 LET L=L+0
00810 NEXT I
00820 LET C(7)=L
00830 LET M=L1+B(8)
00840 LET M1=M
00850 FOR I=2 TO 9
00860 LET M2=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)+B(I+5)+B(I+6)+B(I+7)
00870 IF M-M2>0 THEN GOTO 00890
00880 LET M=M2
00890 LET M=M+0
00900 NEXT I
00910 LET C(8)=M
00920 LET N=M1+B(9)
00930 LET N1=N
00940 FOR I=2 TO 8
00950 LET N2=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)+B(I+5)+B(I+6)
00960 LET N3=N2+B(I+7)+B(I+8)
00970 IF N-N3>0 THEN GOTO 00990
00980 LET N=N3
00990 LET N=N+0
01000 NEXT I
01010 LET C(9)=N
01020 LET P=N1+B(10)
01030 LET P1=P
01040 FOR I=2 TO 7
01050 LET P2=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)+B(I+5)+B(I+6)
01060 LET P3=P2+B(I+7)+B(I+8)+B(I+9)
01070 IF P-P3>0 THEN GOTO 01090
01080 LET P=P3
01090 LET P=P+0
01100 NEXT I
01110 LET C(10)=P
01120 LET Q=P1+B(11)
01130 LET Q1=Q
01140 FOR I=2 TO 6
01150 LET Q2=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)+B(I+5)+B(I+6)
01160 LET Q3=Q2+B(I+7)+B(I+8)+B(I+9)+B(I+10)
01170 IF Q-Q3>0 THEN GOTO 01190
01180 LET Q=Q3
01190 LET Q=Q+0
01200 NEXT I
01210 LET C(11)=Q
01220 LET R=Q1+B(12)
01230 LET R1=R
01240 FOR I=2 TO 5
01250 LET R2=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)+B(I+5)+B(I+6)+B(I+7)+B(I+8)
01260 LET R3=R2+B(I+9)+B(I+10)+B(I+11)
01270 IF R-R3>0 THEN GOTO 01290
01280 LET R=R3
01290 LET R=R+0
01300 NEXT I

```

```

01310 LET C(12)=R
01320 LET S=R1+B(13)
01330 LET S1=S
01340 FOR I=2 TO 4
01350 LET S2=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)+B(I+5)+B(I+6)+B(I+7)+B(I+8)+B(I
01350:9)
01360 LET S3=S2+B(I+10)+B(I+11)+B(I+12)
01370 IF S=S3 THEN GOTO 01400
01390 LET S=S2
01400 LET S=S+U
01410 NEXT I
01420 LET C(13)=S
01430 LET T=S1+B(14)
01440 LET T1=T
01450 FOR I=2 TO 3
01460 LET T2=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)+B(I+5)+B(I+6)+B(I+7)+B(I+8)
01470 LET T3=T2+B(I+9)+B(I+10)+B(I+11)+B(I+12)+B(I+13)
01490 IF T-T3>0 THEN GOTO 01510
01500 LET T=T3
01510 LET T=T+0
01520 NEXT I
01530 LET C(14)=T
01540 LET U=T1+B(15)
01550 LET I=2
01560 LET U2=B(I)+B(I+1)+B(I+2)+B(I+3)+B(I+4)+B(I+5)+B(I+6)+B(I+7)+B(I+8)
01570 LET U3=U2+B(I+9)+B(I+10)+B(I+11)+B(I+12)+B(I+13)+B(I+14)
01590 IF U-U3>0 THEN GOTO 01610
01600 LET U=U3
01610 LET U=U+0
01620 LET C(15)=U
01630 LET C(16)=A(16)
01640 REM :CALCUL DES ELEMENTS DE D
01650 LET K=15
01655 LET D(0)=0
01660 FOR I=1 TO 16
01665 IF C(I)=C(I-1) THEN GOTO 01680
01670 LET D(I)=60*C(I)/K
01675 GOTO 01685
01680 LET D(I)=0
01685 LET K=K+15
01690 NEXT I
01700 REM :IMPRESSION DES RESULTATS
01710 PRINT (6) "RELATION, INTENSITE-DUREE"
01720 PRINT (6) A$
01740 PRINT (6) "-----"
01740:-----"
01750 PRINT (6) A(1), "TEMPS A", A(10), "HAUTEUR", A(19), "INTERVAL", A(28), "HAUTEU
01750:R", A(37), "DUREE", A(46), "HAUTEUR", A(55), "INTENSITE"
01760 PRINT (6) A(1), "PARTIR", A(10), "CUMULA-", A(19), "LE DE", A(28), "PENDANT", A
01760:(46), "MAXIMUM"
01770 PRINT (6) A(1), "OU DEBUT", A(10), "TIVE", A(19), "TEMPS", A(28), "L'INTER"
01780 PRINT (6) A(28), "VALLE"
01790 PRINT (6) A(1), "MIN", A(10), "MM", A(19), "MIN", A(28), "MM", A(37), "MIN", A(46
01790:), "MM", A(55), "MM/H"
01800 PRINT (6) "-----"
01800:-----"
01810 LET K=15
01820 FOR I=1 TO 16
01830 PRINT (6) A(1), K, A(10), A(I), A(19), 15, A(28), B(I), A(37), K, A(46), C(I), A(55
01830:), D(I)
01840 LET K=K+15
01850 NEXT I
01860 PRINT (6)
01870 PRINT (6) "-----"
01870:-----"
01880 CLOSE (6)
01885 GOTO 00130
01890 END

```

Tableau I.2

RELATION, INTENSITE-DUREE  
PLUIE DU 31 JUILLET 1978

TEMPS A PARTIR DU DEBUT	HAUTEUR CUMULATIVE	INTERVALLE DE TEMPS	HAUTEUR PENDANT L'INTERVALLE	DUREE	HAUTEUR MAXIMUM	INTENSITE
MIN	MM	MIN	MM	MIN	MM	MM/H
15	3	15	3	15	7	28
30	6.5	15	3.5	30	10	20
45	10	15	3.5	45	13	17.33
60	13.5	15	3.5	60	13.5	13.5
75	14.5	15	1	75	15	12
90	15	15	.5	90	18.5	12.33
105	18	15	3	105	22	12.57
120	25	15	7	120	25	12.5
135	28	15	3	135	28	12.44
150	28.5	15	.5	150	28.5	11.4
165	29.5	15	1	165	29.5	10.73
180	29.5	15	0	180	29.5	0
195	29.5	15	0	195	29.5	0
210	29.5	15	0	210	29.5	0
225	29.5	15	0	225	29.5	0
240	29.5	15	0	240	29.5	0

Tableau II.2

RELATION, INTENSITE-DUREE  
PLUIE DU 27 JUILLET 1980

TEMPS A PARTIR DU DEBUT	HAUTEUR CUMULATIVE	INTERVALLE DE TEMPS	HAUTEUR PENDANT L'INTERVALLE	DUREE	HAUTEUR MAXIMUM	INTENSITE
MIN	MM	MIN	MM	MIN	MM	MM/H
15	1	15	1	15	2	8
30	1.5	15	.5	30	3.5	7
45	2	15	.5	45	5	6.67
60	4	15	2	60	7	7
75	5.5	15	1.5	75	7.5	6
90	7	15	1.5	90	8	5.33
105	9	15	2	105	9	5.14
120	9.5	15	.5	120	9.5	4.75
135	10	15	.5	135	10	4.44
150	10.5	15	.5	150	10.5	4.2
165	10.5	15	0	165	10.5	0
180	10.5	15	0	180	10.5	0
195	10.5	15	0	195	10.5	0
210	10.5	15	0	210	10.5	0
225	10.5	15	0	225	10.5	0
240	10.5	15	0	240	10.5	0

Tableau III-2

PLUIE DU 16 SEPTEMBRE 1975

TEMPS A PARTIR DU DEBUT	HAUTEUR CUMULATIVE	INTERVALLE DE TEMPS	HAUTEUR PENDANT L'INTERVALLE	DUREE	HAUTEUR MAXIMUM	INTENSITE
MIN	MM	MIN	MM	MIN	MM	MM/H
15	4	15	4	15	6	24
30	10	15	6	30	10	20
45	13.5	15	3.5	45	13.5	18
60	14	15	.5	60	14	14
75	14.5	15	.5	75	14.5	11.6
90	16	15	1.5	90	16	10.67
105	18	15	2	105	18	10.29
120	18.2	15	.2	120	18.2	9.1
135	18.5	15	.3	135	18.5	8.22
150	18.5	15	0	150	18.5	0
165	18.5	15	0	165	18.5	0
180	18.5	15	0	180	18.5	0
195	18.5	15	0	195	18.5	0
210	18.5	15	0	210	18.5	0
225	18.5	15	0	225	18.5	0
240	18.5	15	0	240	18.5	0

Tableau IV.2

RELATION, INTENSITE-DUREE  
PLUIE DU 14 AOUT 1976

TEMPS A PARTIR DU DEBUT	HAUTEUR CUMULATIVE	INTERVALLE DE TEMPS	HAUTEUR PENDANT L'INTERVALLE	DUREE	HAUTEUR MAXIMUM	INTENSITE
MIN	MM	MIN	MM	MIN	MM	MM/H
15	13	15	13	15	13	52
30	22	15	9	30	22	44
45	27	15	5	45	27	36
60	28	15	1	60	28	28
75	29.5	15	1.5	75	29.5	23.6
90	33	15	3.5	90	33	22
105	34	15	1	105	34	19.43
120	38.5	15	4.5	120	38.5	19.25
135	43.5	15	5	135	43.5	19.33
150	45	15	1.5	150	45	18
165	45	15	0	165	45	0
180	45	15	0	180	45	0
195	45	15	0	195	45	0
210	45	15	0	210	45	0
225	45	15	0	225	45	0
240	45	15	0	240	45	0

## CHAPITRE 3

### ETUDE STATISTIQUE ET CALCUL DES COURBES EXPERIMENTALES.

Avant d'arriver à l'analyse statistique proprement dite, il est nécessaire de faire un rappel théorique sur le classement statistique, le calcul de la fréquence cumulée et de la période de retour. Ce rappel fera ainsi la lumière sur la méthode utilisée pour le calcul des points expérimentaux des courbes intensité-durée dont la base est la linéarité de la variation de la fréquence cumulée.

#### 3.1 Rappel théorique

##### 3.1.1 Le classement statistique.

Selon Fourastier et Sahler (cf [1]), "La statistique est une méthode scientifique qui consiste à réunir des données chiffrées sur des ensembles nombreux, puis à analyser, à commenter et à critiquer ces données". Ainsi elle n'a <sup>PAS</sup> pour objet la connaissance des éléments des ensembles dans ce qui fait leur individualité mais au contraire dans ce qu'ils ont en commun; il s'agit alors d'obtenir des résultats globaux. Dans le même ordre d'idées, une étude statistique portant sur des précipitations n'a pas besoin de faire intervenir les noms de ceux qui ont fait les relevés mais seulement les renseignements que l'on désire analyser: elle permettra de répartir ces précipitations par durée, hauteur et intensité.



Les ensembles objets de la statistique doivent être bien déterminés au sens de la théorie des ensembles : il doit être <sup>toujours</sup> possible de dire que tel élément appartient à tel ensemble. Pour que la statistique puisse s'appliquer à un ensemble, il suffit que l'on puisse du point de vue de l'étude considérée, réaliser une partition de cet ensemble, c'est à dire pouvoir classer ses éléments dans des sous-ensembles disjoints dont la réunion constitue l'ensemble lui même : on détermine ainsi des classes disjointes et exhaustives dont la connaissance achève le classement statistique.

### 3.1.2 Calcul de la fréquence cumulée et de la période de retour.

Pour le dimensionnement des structures conditionnées par un phénomène naturel, il est important que l'ingénieur connaisse la probabilité d'apparition de ce phénomène et son importance afin d'établir des critères adéquats de design. C'est ainsi que pour une série statistique, on doit pouvoir dire qu'il y a tant de valeurs supérieures ou égales (ou inférieures ou égales) à telle valeur. C'est à ce genre de préoccupations que répond le calcul de la fréquence cumulée. Dans la plupart des cas, elle est trouvée par simple comptage soit à la main soit à l'informatique. Un graphique de fréquence cumulée montre ou plus exactement fait supposer que la variation de cette dernière est linéaire. C'est là une hypothèse fondamentale

La connaissance de la fréquence d'apparition d'un phénomène observé dans le passé permet de calculer sa période de retour ou temps de récurrence  $T_R$ . En effet si le nombre d'observations est grand, cas où on tend vers la loi de distribution de la population, on peut admettre que la fréquence d'apparition d'une valeur dans le passé devient identique à la probabilité qu'à cette valeur de se produire dans le futur. Cette probabilité est donnée par la relation

$$p = \frac{1}{T_R} \quad \text{ou} \quad T_R = \frac{1}{p} \quad (3-1)$$

$p$  = probabilité d'apparition

$T_R$  = temps de récurrence en ans

Par intervalle de récurrence ou période de retour ou encore temps de récurrence, il ne faut pas comprendre qu'un phénomène de  $T_R$  ans se produira à intervalles fixes de  $T_R$  années ou que, s'étant produit une fois, il ne se produira plus pendant  $T_R$  ans. On doit plutôt comprendre qu'à chaque année il y a  $x\%$  de chance qu'un tel phénomène se produise  $x$  étant égal à  $100/p$ .

Connaissant maintenant le temps  $T_R$  d'un phénomène observé pendant  $N$  années dans le passé, on peut calculer sa fréquence cumulée (ou nombre de fois d'apparition) par la formule

$$F = \frac{N}{T_R} \quad (\text{cf [2]}) \quad (3-2)$$

$F$  = fréquence cumulée

$N$  = Nombre d'années d'observations

$T_R$  = temps de récurrence.

Cette formule est seulement utilisée pour le calcul de  $F$ ,  $N$  et  $T_R$  étant fixes.

### 3.2 Analyse statistique des données raffinées.

Les données raffinées se présentent sous la forme de 16 ensembles notés  $A_T$  dont la définition par compréhension est la suivante : (voir Annexe B)

$A_T$  = Ensemble des intensités de précipitation à la durée  $T$ .

$T$  variant de 15 à 240 minutes par pas de 15.

Pour que la statistique puisse s'appliquer à un ensemble  $A_T$ , il suffit que l'on puisse du point de vue de l'étude des courbes intensité-durée, réaliser une partition de cet ensemble, c'est à dire pouvoir classer ses éléments (qui sont des intensités de précipitations) dans des sous-ensembles disjoints dont la réunion constitue  $A_T$  lui-même.

La partition de  $A_T$  permet ainsi d'obtenir 20 sous-ensembles  $A_{TI}$  définis de la façon suivante :

$A_{TI}$  = Ensemble des intensités de précipitation supérieures ou égales à  $I$ , à la durée  $T$

$I$  variant de 5 à 100 mm/h par pas de 5.

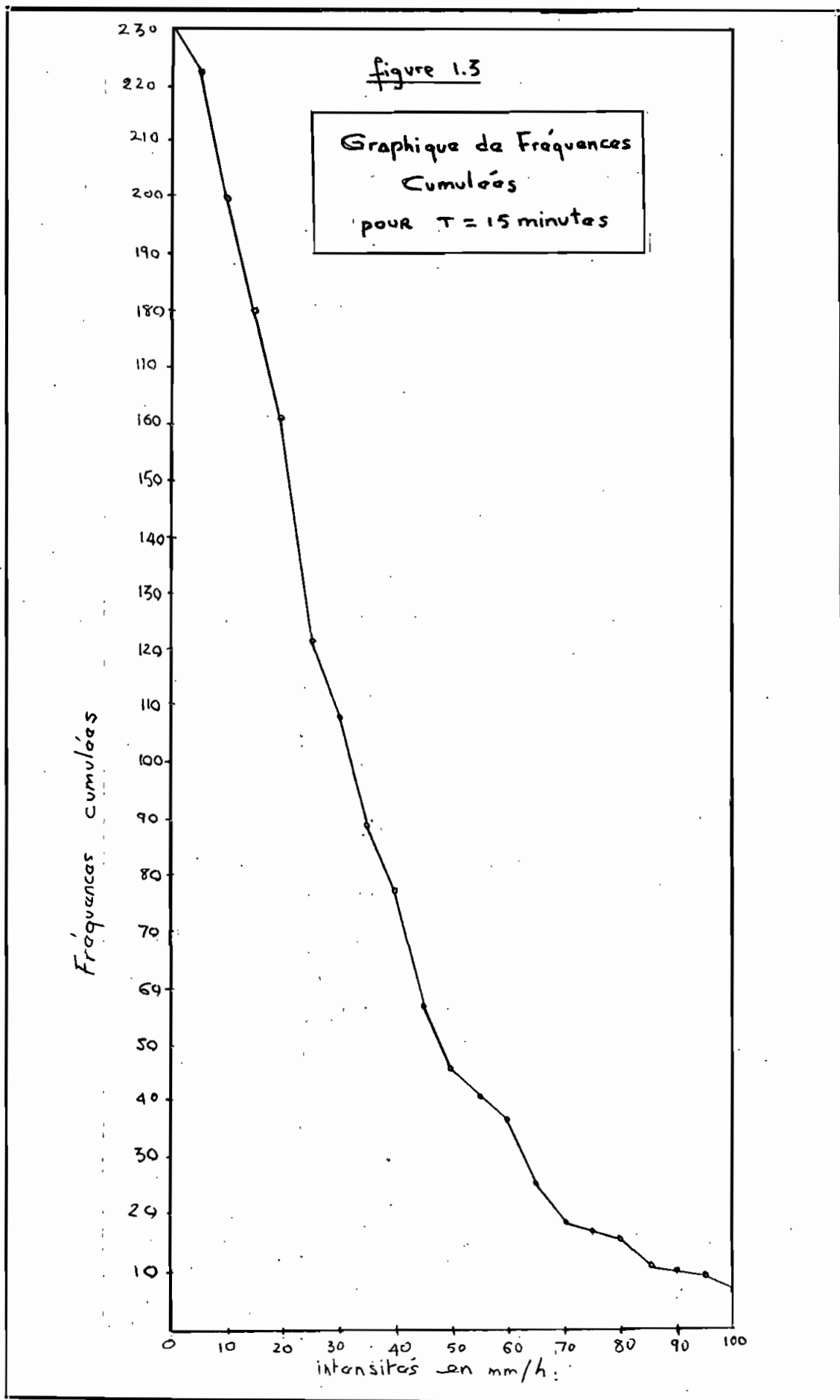
La connaissance de  $A_T$ , ensuite de  $A_{TI}$  définit parfaitement le classement statistique de notre population de départ suivant la durée et l'intensité.

Le phénomène qui a permis de déterminer ce classement (ou cette partition) est : "intensité supérieure ou égale à  $I$  à la durée  $T$ ". Ce phénomène est quantifiable car pouvant être représenté par un nombre, le nombre de précipitations dont l'intensité à la durée  $T$  est supérieure ou égale à  $I$ . Il est aisé de voir que pour chaque sous-ensemble  $A_{TI}$  il est quantifié par le cardinal de  $A_{TI}$  ( $\text{Card } A_{TI}$ ) qui n'est rien d'autre que sa fréquence cumulée ou encore son nombre total d'apparitions pendant les 20 ans d'observation. On dira que le nombre total d'apparition est  $\text{Card } A_{TI}$ . Ainsi à partir des tableaux de l'annexe on a mesuré le cardinal de chaque ensemble  $A_{TI}$  par simple comptage à la main et le résultat est donné dans le tableau 13.

On remarque dans ce tableau que seules les fréquences cumulée des extrémités de classe sont parfaitement connues. Exemple : A partir de ce tableau on peut lire que le nombre de précipitations dont l'intensité à la durée 15 minutes est supérieure ou égale à 35 mm/h est 89. Autrement dit  $\text{Card } A_{15-35} = 89$ .

Un graphique de fréquence cumulée permet de trouver les fréquences intermédiaires avec l'hypothèse que la variation de la fréquence cumulée est linéaire. Pour notre étude, il faut seulement un graphique pour chaque durée. On donne comme exemple à la figure 1.3 le graphique de fréquence cumulée pour la durée  $T = 15$  minutes.





### 3.3 Calcul des courbes expérimentales.

#### 3.3.1 Méthode utilisée.

Entre deux points connus du graphique de la figure 1.3, on peut faire une interpolation linéaire pour obtenir la valeur de l'intensité correspondant à une fréquence cumulée connue. Cependant au lieu de faire un graphique pour chaque durée, on fera l'interpolation directement à partir du tableau I.3. Des périodes de retour 1, 2, 5, 10 et 20 ans recommandées pour le calcul des points sur routes, des égouts pluviaux et des fossés de drainage seront utilisées pour calculer les points expérimentaux.

Pour la période de retour 100 ans recommandée pour le calcul des ouvrages plus importants, on procédera par extrapolation; cela fait l'objet du chapitre suivant.

En utilisant la formule  $F = \frac{N}{T_R}$ , on calcule pour chaque période de retour la fréquence cumulée. Des fréquences étant connues, on calcule pour chaque durée l'intensité correspondant à la fréquence considérée si cette dernière ne correspond pas à une extrémité de classe, cas où l'intensité est lue directement sur le tableau I.3. On fait la même chose pour chaque intensité pour trouver la durée. Vu le caractère fastidieux de cette tâche, un programme informatique est élaboré. Pour chaque période de retour, les résultats de ce programme sont donnés aux tableaux II.3 sous forme de points  $(T, I)$  permettant de tracer les courbes expérimentales.

Le programme informatique et l'original des résultats sont donnés à l'annexe C.

### 3.3.2 Résultats

Avant de donner les résultats pour chaque période de retour, on donne ici un exemple type de calcul permettant de trouver deux points de la courbe  $T_R = 1$ , type de calcul qui a été informatisé pour trouver les points de toutes les courbes.

Exemple 1 Durée  $T = 15$  minutes

$$T_R = 1 \quad \text{donc} \quad F = \frac{N}{T_R} = 20$$

$$F = 25 \quad I = 65 \text{ mm/h} \quad (\text{Tableau I.3})$$

$$F = 20 \quad I = ?$$

$$F = 19 \quad I = 70 \text{ mm/h}$$

$$\text{en interpolant on a } I = \frac{65-70}{25-19} (20-19) + 70 = 69.2 \text{ mm/h}$$

Exemple 2 Intensité  $I = 10$  mm/h.

$$F = 28 \quad T = 150 \text{ mn} \quad (\text{Tableau I.3})$$

$$F = 20 \quad T = ?$$

$$F = 19 \quad T = 165 \text{ mn}$$

$$\text{en interpolant on a } T = \frac{165-150}{19-28} (20-19) + 165 = 163.3 \text{ mn}$$

On obtient ainsi deux points pour la période de retour  $T_R = 1$ , (15, 69.2) et (163.3, 10).

Le résultat des calculs pour chaque durée et chaque intensité est donné aux tableaux II.3 pour chaque période de retour.



## 3.32.1 Points expérimentaux

Tableaux II.3 : points expérimentaux

a) période de retour 1 an

T en minutes	I en mm/h	T en minutes	I en mm/h
15	69.15	163.36	10
30	55	103.6	15
45	41.42	87.24	20
60	32.13	72.24	25
75	23.78	63.45	30
90	19.2	52.48	35
105	14.96	47.5	40
120	14.4	40	45
135	13.77	36	50
150	12.88	30	55
165	9.64	28.5	60
180	8.1	20.75	65
195	7.64		
210	7.5		
225	5.45		
240	5.84		

## b) Période de retour 2 ans

T en minutes	I en mm/h	T en minutes	I en mm/h
15	90	210	10
30	71.42	162	15
45	48.55	120	20
60	40	88.09	25
75	30	75	30
90	24.48	69	35
105	20.62	60	40
120	20	52.5	45
135	18.36	45.5	50
150	16.68	40.7	55
165	14.5	38.56	60
180	12.84	33.34	65
195	12.49	33	70
210	10	23.75	75
225	10	22.5	80
		16.87	85

c) Periode de retour 5 ans

T en minutes	I en mm/h	T en minutes	I en mm/h
30	80	210	15
45	60	144	20
60	50	102.5	25
75	38.34	93.75	30
90	31.67	82.5	35
105	24.34	72.84	40
120	23.36	65	45
135	22.49	60	50
150	19.2	55	55
165	18.1	45	60
180	17.49	43.36	65
195	17.49	42	70
210	15	33.75	75
225	13.72	30	80
240	13.36	28.09	85
		27.24	90
		25.7	95
		24	100

d) Période de retour 10 ans

T en minutes	I en mm/h	T en minutes	I en mm/h
30	97.5	225	15
45	70	150	20
60	65	112.5	25
75	50	101.25	30
90	35	90	35
105	27.5	75	45
120	24.47	67.5	55
135	24.15	67.5	60
150	20	60	65
165	19.34	45	70
180	19.15	41.25	75
195	19.15	40	80
210	17.5	37.5	85
225	15	37.5	90
240	14.47	30	95

e) Periode de retour 20 ans.

T en minutes	I en mm/h	T en minutes	I en mm/h
45	75	165	20
60	63.34	120	25
75	47.5	105	30
90	37.5	97.5	35
105	30	85	40
120	25	82.5	45
135	25	71.25	50
150	25	70	55
165	20	56.25	60
180	20	55	65
195	20	52.5	70
		45	75
		41.25	80
		40	85
		29.5	90
		28.36	95
		27.84	100

### 3.2.2 - Courbes expérimentales

Avec les points expérimentaux (Tableau II 3) on a tracé les courbes dites expérimentales de la figure 2.3.

Pour obtenir ces courbes, on devait faire recours à des méthodes de régression non linéaire car les points expérimentaux ne suivent pas tous l'allure de la courbe théorique qui se rapproche de celle d'une fonction rationnelle. Cependant vu la complexité de ces méthodes, on les a tracées en reliant entre eux les points qui traduisent <sup>le</sup> phénomène de précipitation.

La connaissance de ces courbes permet de trouver la fonction analytique  $i = f(t)$  et donc de tracer la courbe théorique. Talbot a proposé en 1904 la fonction (cf [9])

$$i = \frac{a}{t + b}$$
 où  $i$  est l'intensité moyenne maximum et  $t$  la durée. Les paramètres  $a$  et  $b$  résultent de l'ajustement mathématique des courbes expérimentales et dépendent de la station considérée et pour une même station de la période de retour choisie. Le calcul de ces paramètres est réservé au chapitre 5

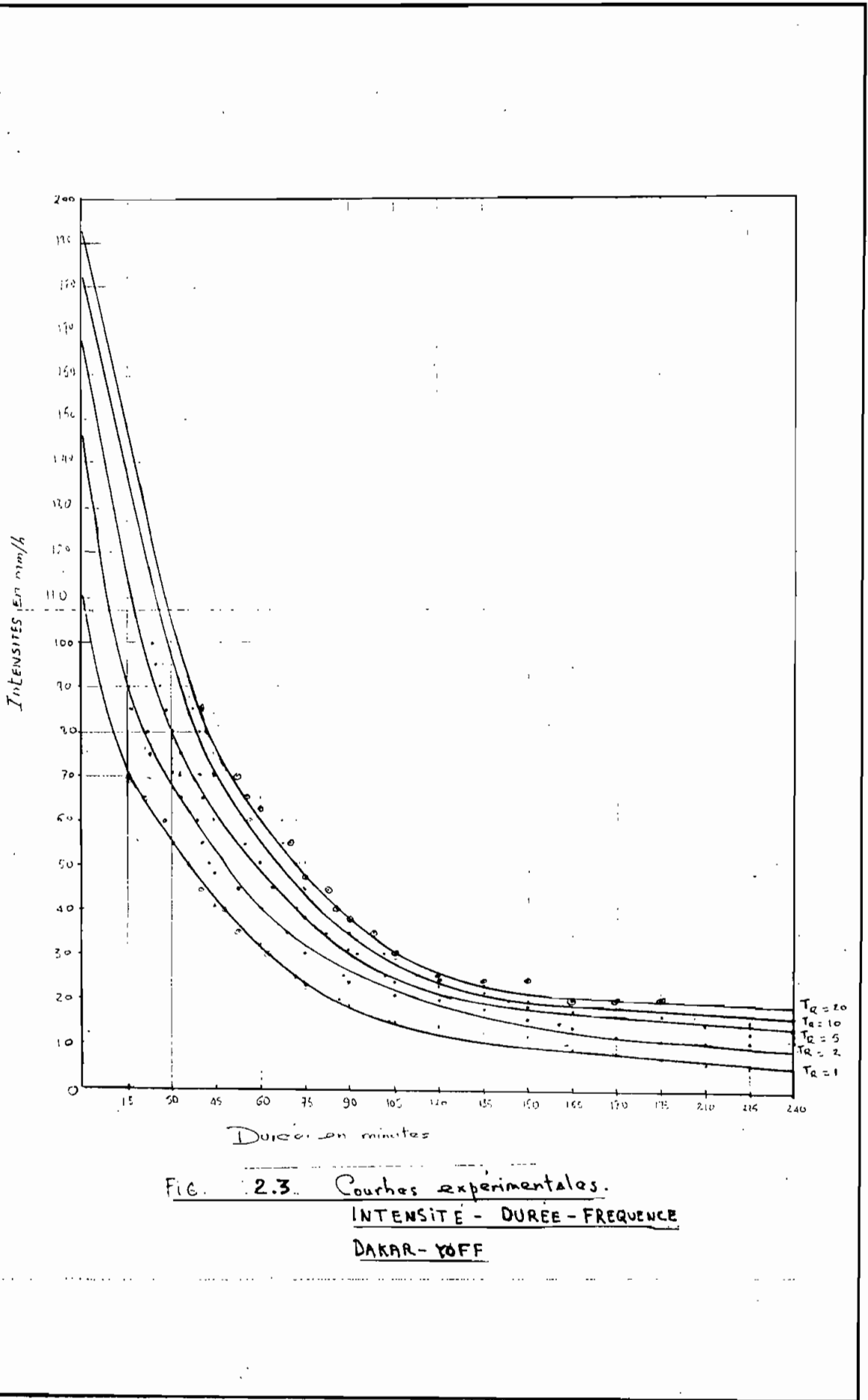


FIG. 2.3. Courbes experimentales.  
INTENSITE - DUREE - FREQUENCE  
DAKAR - YOFF

## CHAPITRE 4

### EXTRAPOLATION DE LA COURBE CENTENAIRE

Pour le dimensionnement de certaines structures telles que les ponts sur les routes importantes où l'exhaussement de l'eau créé par le pont peut entraîner des dommages importants ou la perte du pont, les périodes de retour recommandées varient de 50 à 100 ans. Pour que le fruit de notre étude puisse servir au calcul de tels ouvrages, il apparaît nécessaire d'obtenir la courbe intensité-durée pour une période de retour de 100 ans. Cette courbe est appelée courbe centenaire. Trois méthodes d'extrapolation sont utilisées ici pour calculer les intensités centenaires aux durées 15, 30 et 45 minutes. Une comparaison des résultats permettra de décider de la méthode à adopter pour calculer tous les autres points. Les durées 15, 30 et 45 sont choisies parce qu'elles correspondent généralement aux temps de concentration de la plupart des bassins de drainage et offrent des intensités plus grandes. Les trois méthodes utilisées sont :

- L'ajustement suivant la loi log-normale
- L'extrapolation à partir de la fonction de distribution de la loi suivie par les échantillons.
- L'ajustement suivant la loi de Goodrich.



#### 4.1 Ajustement suivant La Loi Log-normale par La méthode graphique.

Cet ajustement consiste à tracer sur un papier graphique log-probabilité pour chaque échantillon de durées déterminées, l'intensité  $x$  en fonction de sa fréquence expérimentale de non dépassement  $f$ .

$$f = \frac{m}{n+1}$$

$n$  = nombre de valeurs supérieures ou égales à la valeur de période de retour 1 an lue sur les courbes expérimentales. C'est aussi le nombre de données constituant l'échantillon pris de l'annexe B.

$m$  = rang qu'occupe la valeur dans l'échantillon classé par ordre croissant.

On doit obtenir une droite si l'échantillon suit parfaitement la loi Log-normale. En effet la variable réduite

$$t = \frac{\log_{10} x - \overline{\log x}}{\sigma_n} \quad (4-1) \quad \text{Avec}$$

$\sigma_n$  l'écart type de l'échantillon constitué des logarithmes des valeurs, est proportionnelle à la probabilité de non dépassement assimilée à  $f$ .

$$f = 1 - \frac{1}{T_R} = 1 - p \quad (4-2)$$

$p$  = probabilité de dépassement.

$T_R$  = période de retour.

On peut donc mettre en abscisse une échelle des périodes de retour. La meilleure droite ajustée permet de trouver l'inten-

site centenaire  $x_{100}$  directement sur le graphique.

4.11 Intensités à la durée 15 minutes.

À la durée 15 minutes, l'intensité de période de retour 1 an lue sur la figure 2.3 est  $70 \text{ mm/h}$ . À partir de l'axe B on relève toutes les intensités à la durée 15 minutes supérieures ou égales à  $70 \text{ mm/h}$ . L'échantillon classé par ordre croissant, le rang des valeurs et la fréquence expérimentale de non dépassement sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau I.4  
Echantillon à la durée 15 minutes - loi log. normale

$x$ mm/h	$m$	$f = \frac{m}{n+1}$
71.2	1	0.048
72	2	0.095
72	3	0.143
76	4	0.190
80	5	0.23
80	6	0.286
84	7	0.33
86	8	0.38
86	9	0.43
88	10	0.48
92	11	0.52
96	12	0.57
98	13	0.62
100	14	0.67
100	15	0.71
100	16	0.76
104	17	0.81
116	18	0.86
136	19	0.90
184	20	0.95

On donne à l'annexe D a) le graphique de  $x$  en fonction de  $f$ . Sur ce graphique on peut lire que  $x_{100} = 146 \text{ mm/h}$ .

#### 4.12 Intensités à La durée 30 minutes.

En répétant La procédure utilisée pour La durée 15 minutes, on obtient Le tableau suivant.

Tableau II.4  
Echantillon à La durée 30 minutes. Loi log-normale

X mm/h	m	$f = \frac{m}{n+1}$
55	1	0.05
58	2	0.10
58	3	0.16
60	4	0.21
60	5	0.26
60	6	0.32
62	7	0.37
62	8	0.42
64	9	0.47
64	10	0.53
70	11	0.58
72	12	0.63
74	13	0.68
76	14	0.74
81	15	0.79
96	16	0.84
100	17	0.89
136	18	0.95

A l'annexe D b) on trouve  $x_{100} = 125 \text{ mm/h}$ .

#### 4.13 Intensités à La durée 45 minutes.

Avec La même procédure on obtient Le tableau III.4 et on trouve  $x_{100} = 90.5$  à l'annexe D c).

#### 4.2 Extrapolation à partir de La fonction de distribution de La loi suivie par les échantillons.

A partir des courbes expérimentales (figure 2.3) on lit La valeur de l'intensité pour Les périodes de retour 1, 1.5, 2, 3.5, 5, 7.5, 10, 15 et 20. Si F est la fonction

Tableau III.4

Echantillon a la duré 45 minutes Loi Log-normal.

X mm/h	m	f = $\frac{m}{n+1}$
42.4	1	0.05
42.67	2	0.10
44	3	0.16
44.67	4	0.21
45.33	5	0.26
45.33	6	0.32
48	7	0.37
48	8	0.42
48	9	0.47
49.33	10	0.53
49.33	11	0.58
50.67	12	0.63
58.67	13	0.68
58.67	14	0.74
61.33	15	0.79
68	16	0.84
70.67	17	0.89
98.67	18	0.95

de distribution,  $F(x) = 1 - \frac{1}{T_R}$ ,  $T_R$  la période de retour et  $x$  l'intensité. On obtient ainsi 9 points qui nous permettent de représenter  $F$  en fonction de  $x$  pour chaque duré. Sur la courbe représentative de  $F$  on peut lire  $x$  pour  $F(x) = 0.99$ . Cette valeur de  $x$  est l'intensité pour  $T_R = 100$  ans et  $F(x)$  n'est rien d'autre que la probabilité de non dépassement.

Le tableau III.4 donne pour les durées 15, 30 et 45 minutes la valeur des intensités pour différentes valeurs de  $F(x)$ . Ces valeurs de  $F(x)$  sont calculées avec les périodes de retour évoquées plus haut.

Tableau 4

Intensités aux durées, 15, 30 et 45 minutes de probabilité de non dépassement  $F(x)$

Durée min → $F(x)$	15	30	45
0	70	55	44
0.33	80	62	48
0.5	90	68	55
0.71	100	74	59
0.80	116.5	80	64
0.87	128	89	68
0.90	138	98	73
0.93	144	102	75
0.95	150	108	78

Pour chaque durée on trace  $F(x)$  en fonction de l'intensité. Les courbes sont données aux figures 14. La lecture sur ces courbes pour  $F(x) = 0.99$  donne les valeurs 172, 133 et 95 mm/h respectivement pour les durées 15, 30 et 45 minutes.

#### 4.3 Ajustement suivant la loi de Goodrich.

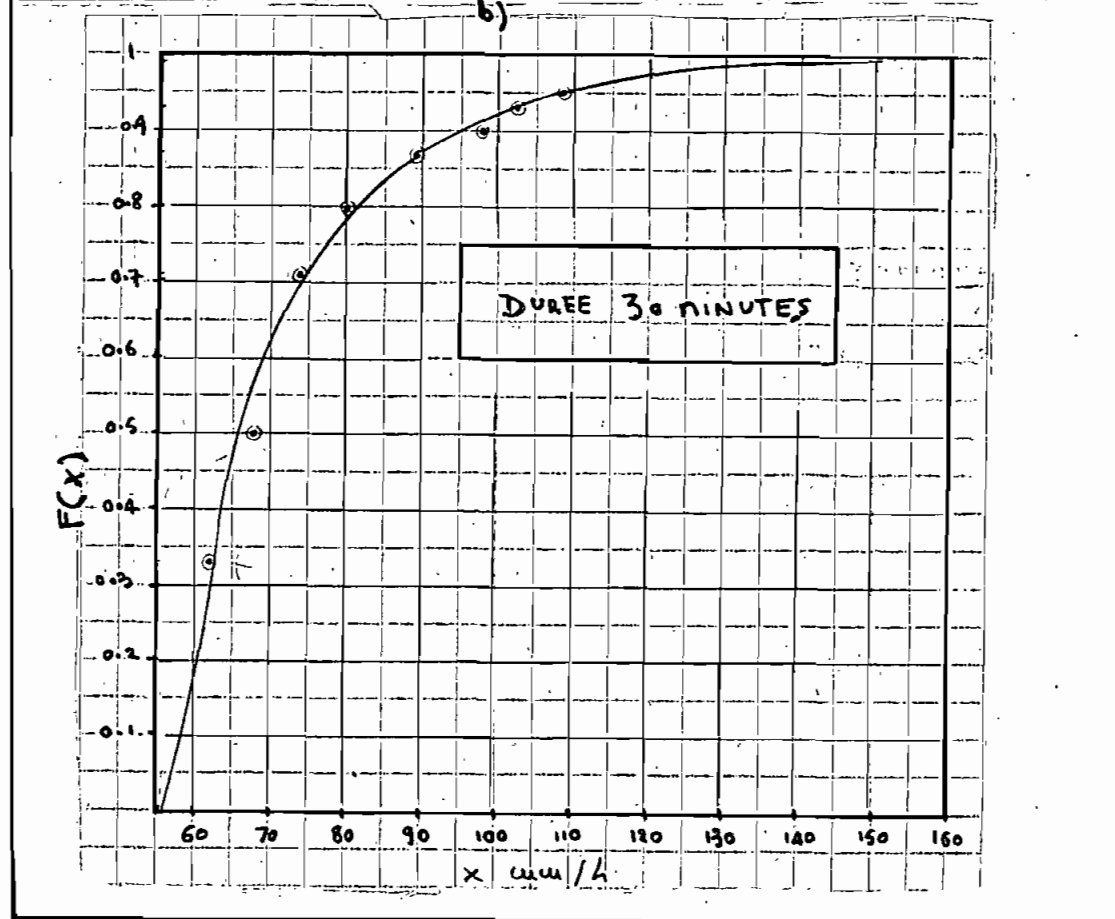
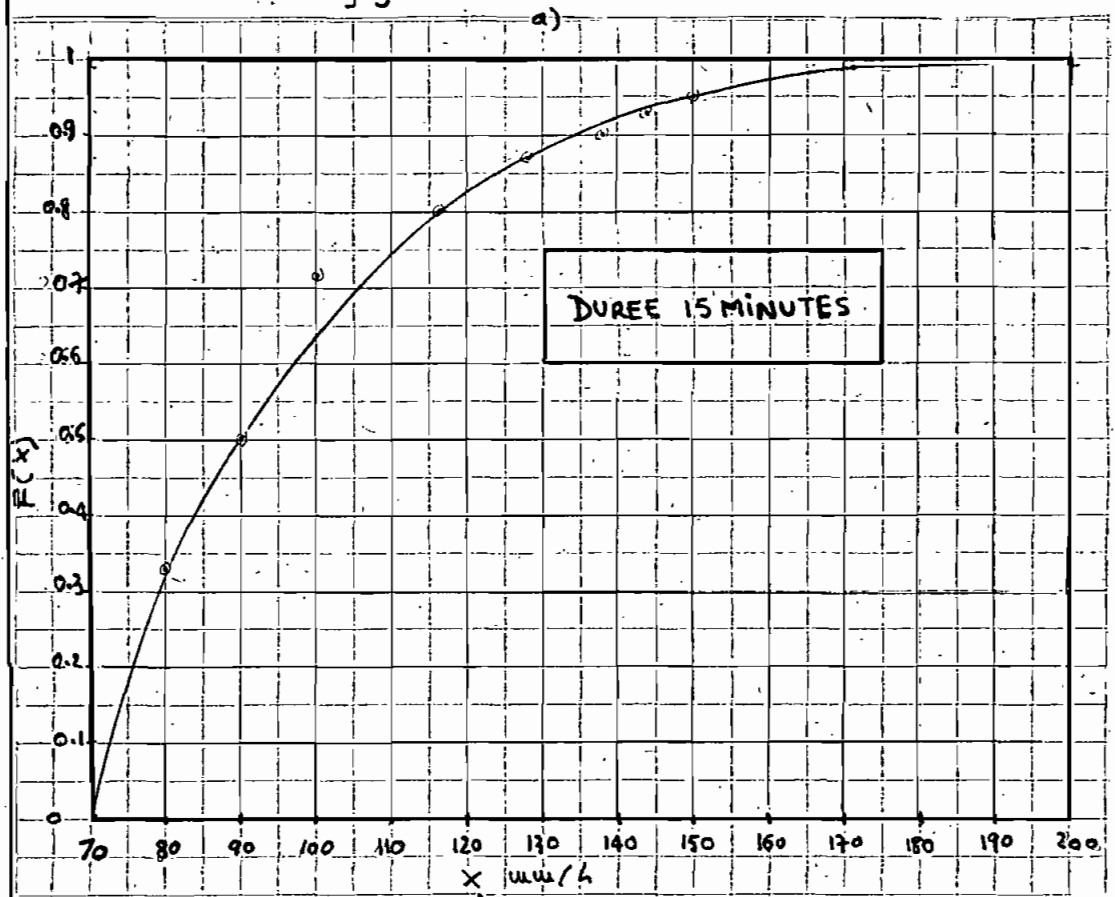
La fonction de densité de Goodrich et sa fonction de distribution contiennent 3 paramètres. Ces fonctions sont respectivement

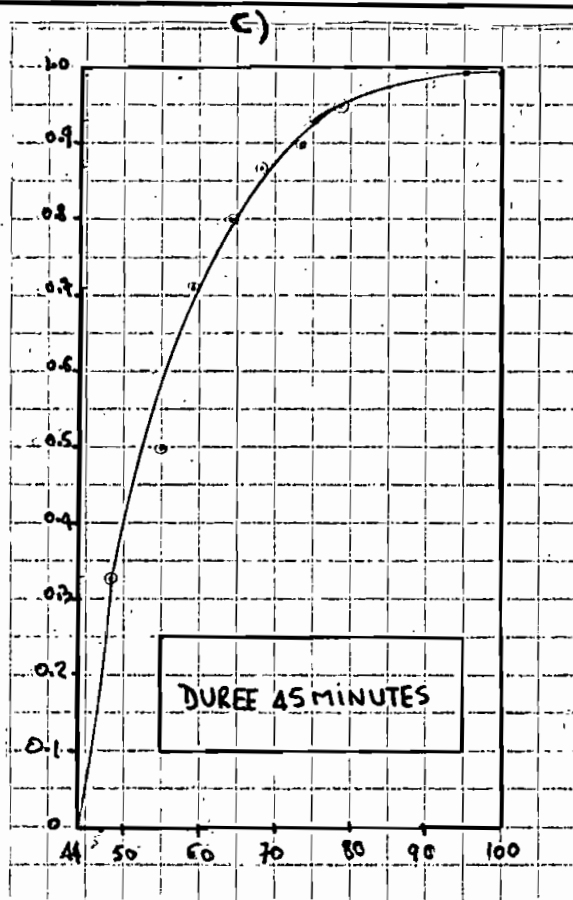
$$f(x) = \frac{1}{n} a(x-b)^{\frac{1}{n}-1} \exp[-a(x-b)^{\frac{1}{n}}] \quad (4-3)$$

et

$$F(x) = 1 - \exp[-a(x-b)^{\frac{1}{n}}] \quad b \leq x < +\infty \quad (4-4)$$

fig 1.4 Fonction de distribution





où  $a$ ,  $b$  et  $n$  sont les paramètres à calculer. Ces paramètres sont donnés par les relations :

$$a = \left[ \frac{1}{s^2} \left[ \Gamma(2n+1) - \Gamma^2(n+1) \right] \right]^{\frac{1}{2n}} \quad (4-5)$$

$$b = \bar{x} - \frac{\Gamma(n+1)}{a^n} \quad (4-6)$$

et  $n$  a la figure 2.4 en fonction de  $\Phi(n)$ .

Dans ces relations

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i \quad (4-7)$$

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum x^2 - \bar{x}^2 \quad (4-8)$$

On définit aussi les moments d'ordre 2 et 3

$$m_2 = \frac{1}{N} \sum x^2 \quad (4-9)$$

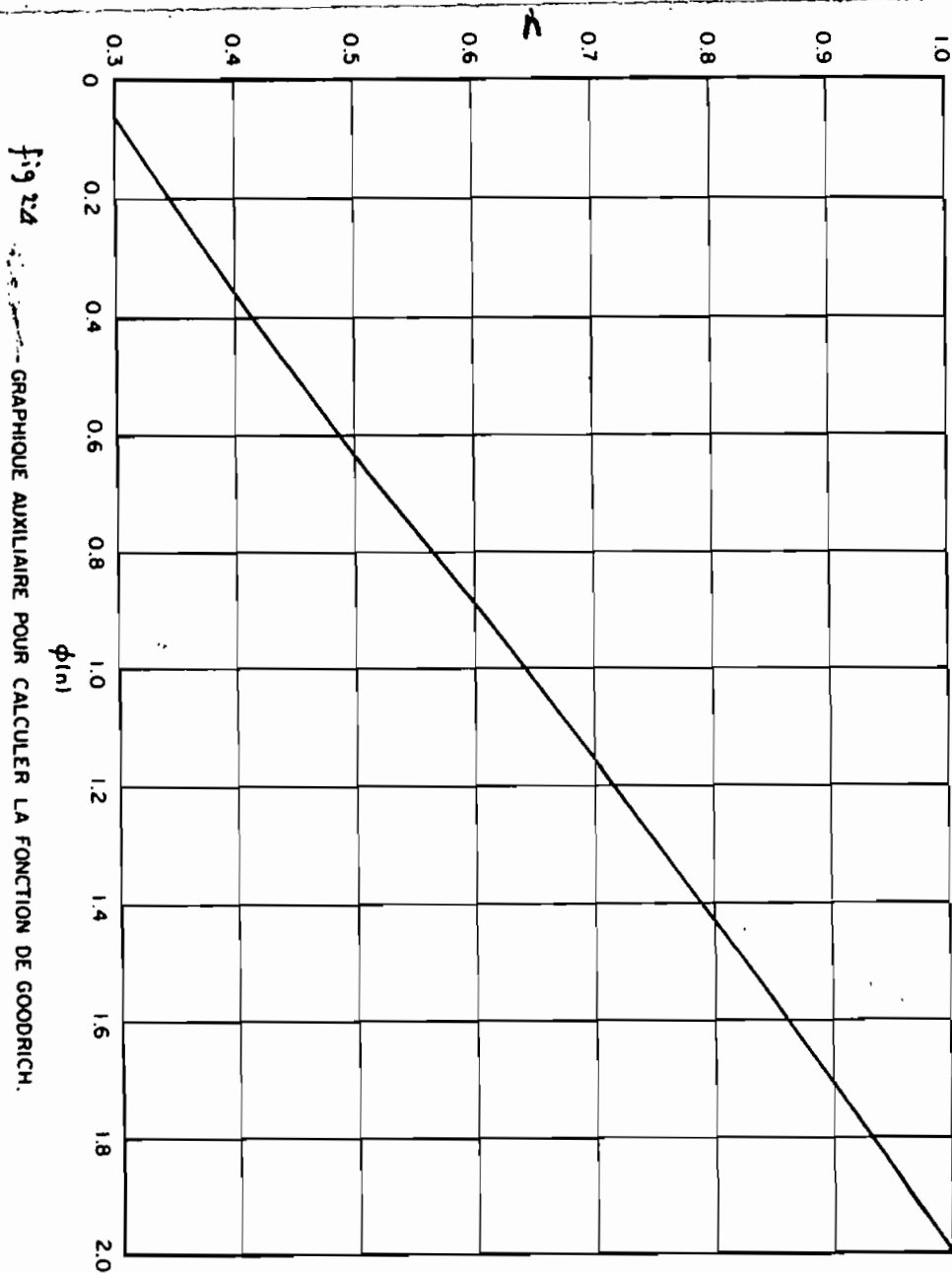
$$m_3 = \frac{1}{N} \sum x^3 \quad (4-10)$$

et le moment centré d'ordre 3

$$m'_3 = m_3 - (3\bar{x}s^2 + \bar{x}^3) \quad (4-11)$$

Pour trouver le paramètre  $n$  on utilise la figure 2.4

$$\text{avec } \phi(h) = \frac{m'_3}{s^3} \quad (4-12)$$



Pour représenter la fonction de distribution, on fixe les valeurs de  $F(x)$ . Ainsi si  $a$ ,  $b$  et  $n$  sont connues,



on peut calculer  $x$  à partir de la relation (4-4) par

$$x = b + \frac{1}{a^n} [-\ln[1 - F(x)]]^n \quad (4-13)$$

Pour chaque durée l'échantillon utilisé est composé des 20 intensités les plus grandes (Annexe B) car parce que la période d'observation est de 20 ans.  $F(x)$  qui n'est rien d'autre que la probabilité de non dépassement est assimilé à la fréquence expérimentale

$$f = \frac{m}{N+1} \quad (4-14)$$

$m$  = rang de la variable

$N$  = nombre de données de l'échantillon classé par ordre croissant ( $N = 20$ ).

Si la fonction de distribution donnée par l'équation (4-4) est égale à la fréquence expérimentale donnée par l'équation (4-14), l'échantillon suit parfaitement la loi de Goodrich.

#### 4.3.1 Intensités à la durée 15 minutes

Le tableau I.4 donne l'échantillon par ordre croissant, le rang des variables et la fréquence expérimentale. En utilisant les équations (4-5) à (4-12) on a

$$\bar{x} = 96.06$$

$$\phi(m) = 2.085$$

$$S^2 = 648.15$$

$$n = 1$$

$$m_2 = 9875.672$$

$$a = 0.039$$

$$m_3 = 1107602$$

$$b = 70.42$$

$$m'_3 = 34422.22$$

Un tableau des valeurs de  $\Gamma(n)$  est donné en annexe E

L'équation (4-13) devient alors 
$$x = 70.42 + \frac{1}{0.039} [-\ln(1 - F(x))]$$

Pour  $F(x) = 0.99$   $x = 188.5$  mm/h qui est l'intensité à la durée 15 minutes de période de retour 100 ans ajustée suivant la loi de Goodrich.

Tableau V.4  
Echantillon à la durée 15 minutes - Loi de Goodrich

x mm/h	m	$f = \frac{m}{N+1}$
71.2	1	0.048
72	2	0.095
72	3	0.143
76	4	0.190
80	5	0.23
80	6	0.286
84	7	0.33
84	8	0.38
86	9	0.43
88	10	0.48
92	11	0.52
96	12	0.57
98	13	0.62
100	14	0.67
100	15	0.71
100	16	0.76
104	17	0.81
116	18	0.86
136	19	0.90
184	20	0.95

On montre à la figure 3.4 la fonction théorique de distribution de Goodrich et la fréquence expérimentale. On voit que l'échantillon ne suit pas parfaitement la loi de Goodrich.

#### 4.2 Intensité à la durée 30 minutes.

En répétant la même chose que pour la durée 15 minutes, on obtient le tableau VI.4 et la figure 4.4. Les équations (4-5) à (4-12) donnent :

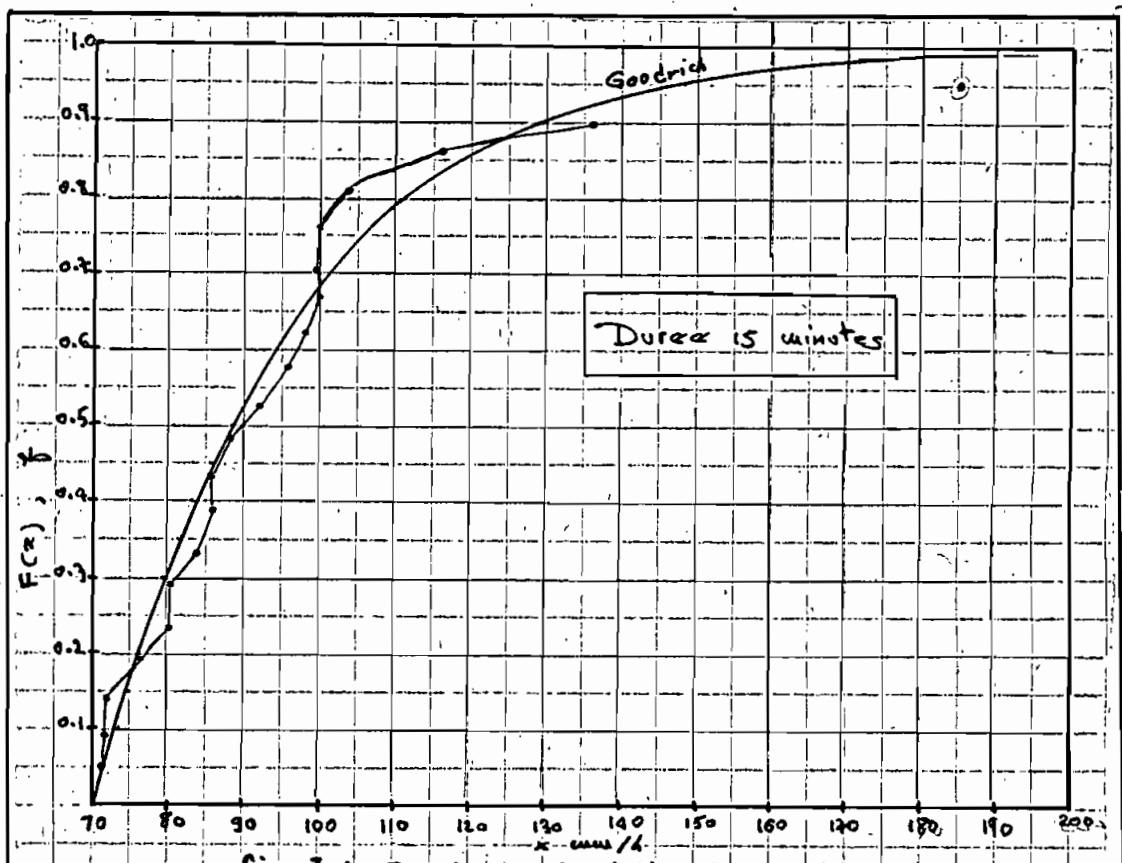


fig 3.4 Fonction de distribution de Goodrich et fréquence expérimentale

$\bar{x} = 70.7$	$\phi(h) = 1.96$
$S^2 = 384.61$	$n = 0.98$
$m_2 = 5383.1$	$a = 0.106$
$m_3 = 449784.8$	$b = 61.75$
$m'_3 = 14815.78$	

L'équation (4-13) devient  $x = 61.75 + \frac{1}{0.106^{0.98}} [-\ln(1-F(x))]^{0.98}$   
 Pour  $F(x) = 0.99$   $x = 102.04$  cm/h.

4.3.3 Intensités à la durée 45 minutes.

Avec toujours la même procédure, on obtient le tableau VII.4 et la figure 5.4. Les équations (4-5) à (4-12) donnent

$\bar{x} = 52.82$	$m_3 = 181013.304$	$A = 1$
$S^2 = 181.144$	$m'_3 = 4944.01$	$a = 0.0743$
$m_2 = 2971.096$	$\phi(h) = 2.027$	$b = 39.361$ et

L'equation (4-13) devient

$$x = 39.261 + \frac{1}{0.0743} [-\ln(1 - F(x))]$$

Pour  $F(x) = 0.99$        $x = 101.34$  mm/h.

Tableau IV.4  
Echantillon a La durée 30 minutes Loi de Goodrich

$x$ mm/h	$m$	$F = \frac{m}{N+1}$
52	1	0.048
54	2	0.095
55	3	0.143
58	4	0.190
58	5	0.238
60	6	0.286
60	7	0.333
60	8	0.38
62	9	0.43
62	10	0.48
64	11	0.52
64	12	0.57
70	13	0.62
72	14	0.67
74	15	0.71
76	16	0.76
81	17	0.81
96	18	0.86
100	19	0.90
136	20	0.95

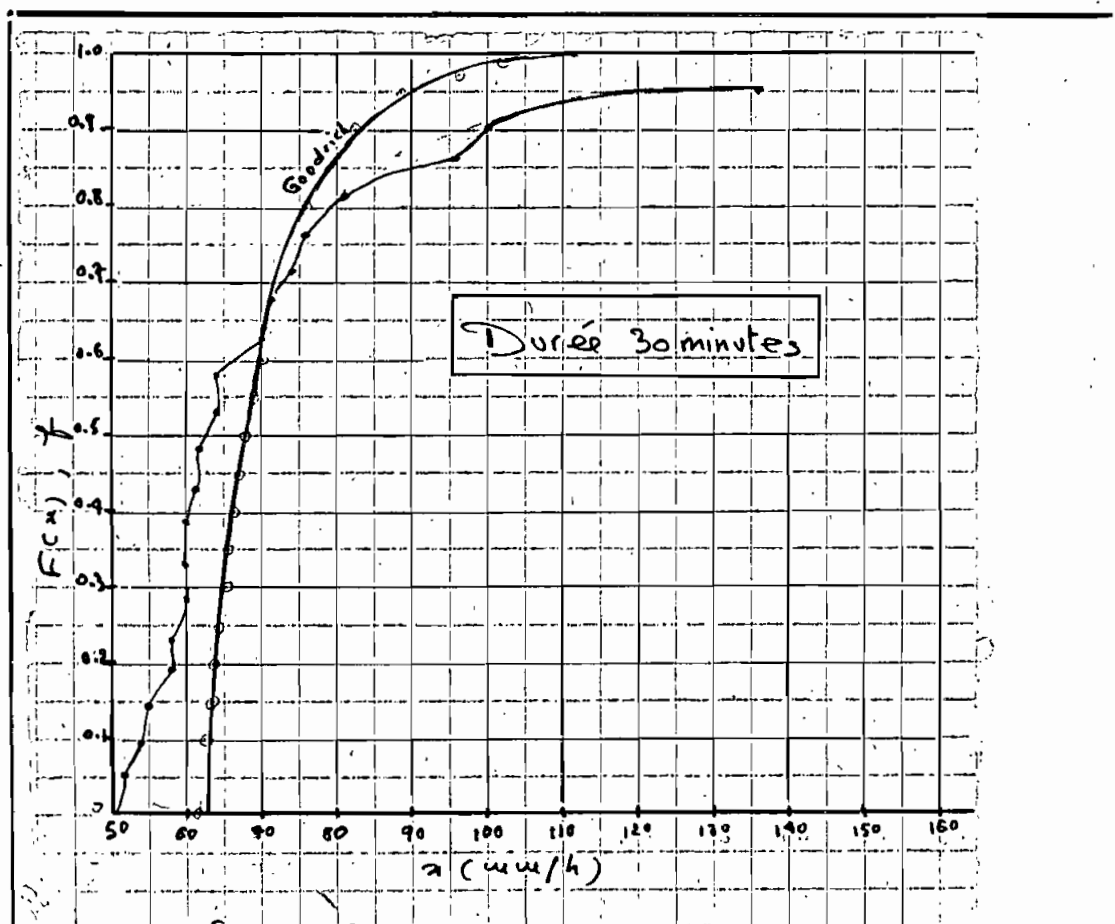
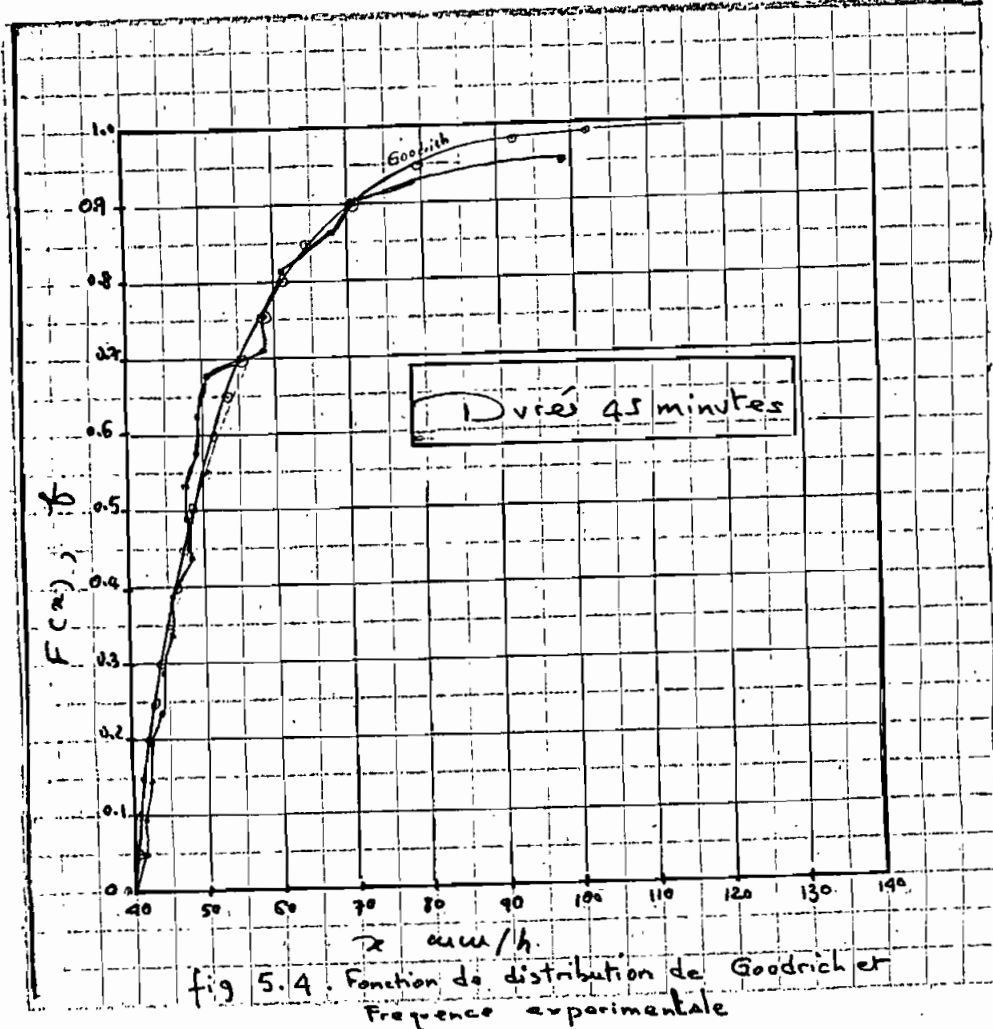


fig 4.4 Fonction de distribution de Goodrich et fréquence expérimentale

Tableau VIII.4

Echantillon à la durée 35 minutes Loi de Goodrich

$x$ mm/h	$m$	$f = \frac{m}{N+1}$
41.33	1	0.046
41.33	2	0.096
42.4	3	0.143
42.67	4	0.190
44	5	0.23
44.67	6	0.286
45.33	7	0.33
45.33	8	0.38
48	9	0.43
48	10	0.48
48	11	0.52
49.33	12	0.57
49.33	13	0.62
50.67	14	0.67
58.67	15	0.71
58.67	16	0.76
61.33	17	0.81
68	18	0.86
70.67	19	0.90
98.67	20	0.95



#### 4.4 Comparaison des résultats des trois méthodes utilisées.

Tableau VIII. 4

Valeurs de l'intensité de période de retour 100 ans

Aux durées 15, 30 et 45 minutes pour les différentes

methodes

methode $T_{mn}$	Loi Log-normale	Loi de Goodrich	Fonction de repartition
15	146	188.5	172
30	125	102.04	133
45	90.5	101.34	95

A partir de ces résultats, il nous est impossible de dire quelle est la meilleure méthode.

La validité de l'ajustement par la loi log-normale pour le domaine des valeurs moyennes apparaît sur le graphique pour la durée 15 minutes (Annexe D) : Pour la durée 30 minutes, l'échantillon ne suit pas du tout la loi log-normale. Pour tous les échantillons, les écarts sont trop importants pour les valeurs extrêmes pour que la loi log-normale soit acceptable.

L'extrapolation à partir de la fonction de distribution a comme principaux inconvénients la connaissance non parfaite que l'on a de l'allure de la courbe après le dernier point connu et la difficulté rencontrée pour lire l'intensité pour  $F(x) = 0.99$ . Son avantage est qu'elle conserve tant bien que mal l'originalité de l'échantillon.

Dans le domaine des valeurs moyennes, l'approximation de Goodrich apparaît valide sauf pour l'échantillon de 30 minutes pour lequel les écarts sont trop grands pour être acceptables. Pour les valeurs extrêmes, les échantillons de 15 et 30 minutes présentent des écarts non négligeables...

Après cette discussion sur les différentes méthodes, il nous faut en choisir une pour calculer les autres points de la courbe centenaire. Celle qui consiste à faire l'extrapolation à partir de la fonction de distribution réelle, bien qu'approximative semble être la plus sûre et la plus consistante. Elle sera utilisée pour calculer les autres points de la courbe.

#### 4.5 Calcul des autres points de la courbe Centenaire.

A l'instar de la section 42, le tableau IX.4 donne les valeurs de l'intensité pour chaque probabilité de non dépassement  $F(x)$  à toutes les durées de 60 à 240 minutes par intervalles de 15 minutes.

Les fonctions de distribution qui ont permis de faire l'extrapolation pour toutes les durées sont données à l'annexe F.

Enfin le tableau IX.4 donne les points de la courbe centenaire montrée à la figure 6.4.

Tableau IX.4  
Intensités (en mm/4) à la durée T de proba-  
bilité de non dépassement  $F(x)$

$F(x)$	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240
0	32	24	19	15	13	11	10	9	8	7.5	7	6	5
0.33	37	29	23	20	17	14.5	13	12	11	10	9	8	8
0.5	40	32.5	27	23	20	17	15	13.5	12	11.5	11	10	10
0.71	46	36	29	24	21	19	17	16	15	14	13.5	13	12
0.80	49	39	31	26	22	20	19	17.5	17	16	16	15	15
0.87	53	42	33	27	23	21	19.5	18.5	18	17	17	16.5	16
0.90	56	44	35	29	25	22	20	19	19	18	18	17.5	17
0.93	59	46.5	37	30	26	23	21	20	20	20	19	19	18
0.95	61	48	39	31	27	24	22	21	21	21	20	20	19



Tableau x-4Points de la courbe  $T_R = 100$  Ans

T en minutes	I en mm/h.
15	172
30	133
45	95
60	75
75	65
90	42
105	36
120	32
135	27
150	24
165	22
180	24
195	24
210	23
225	23
240	21

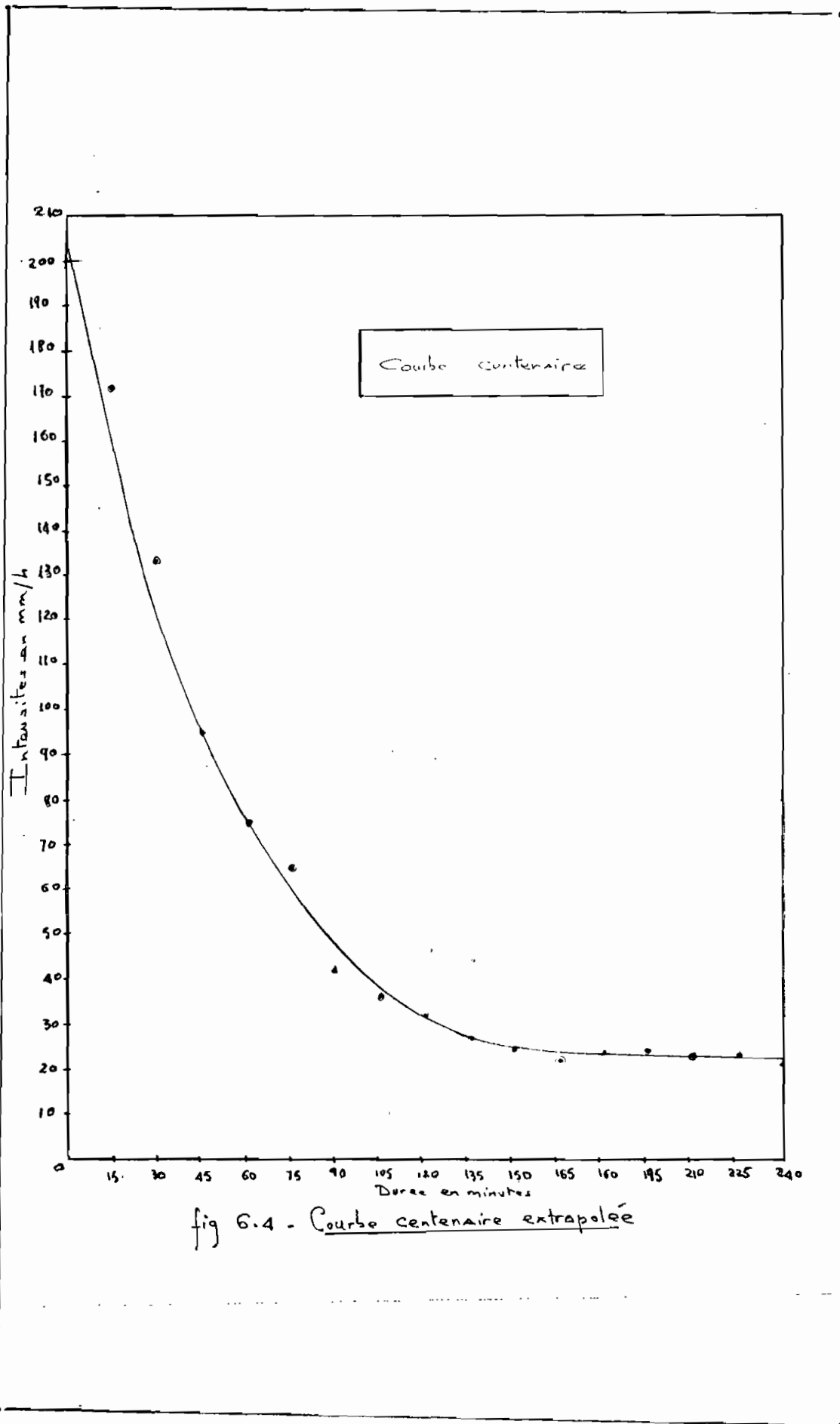


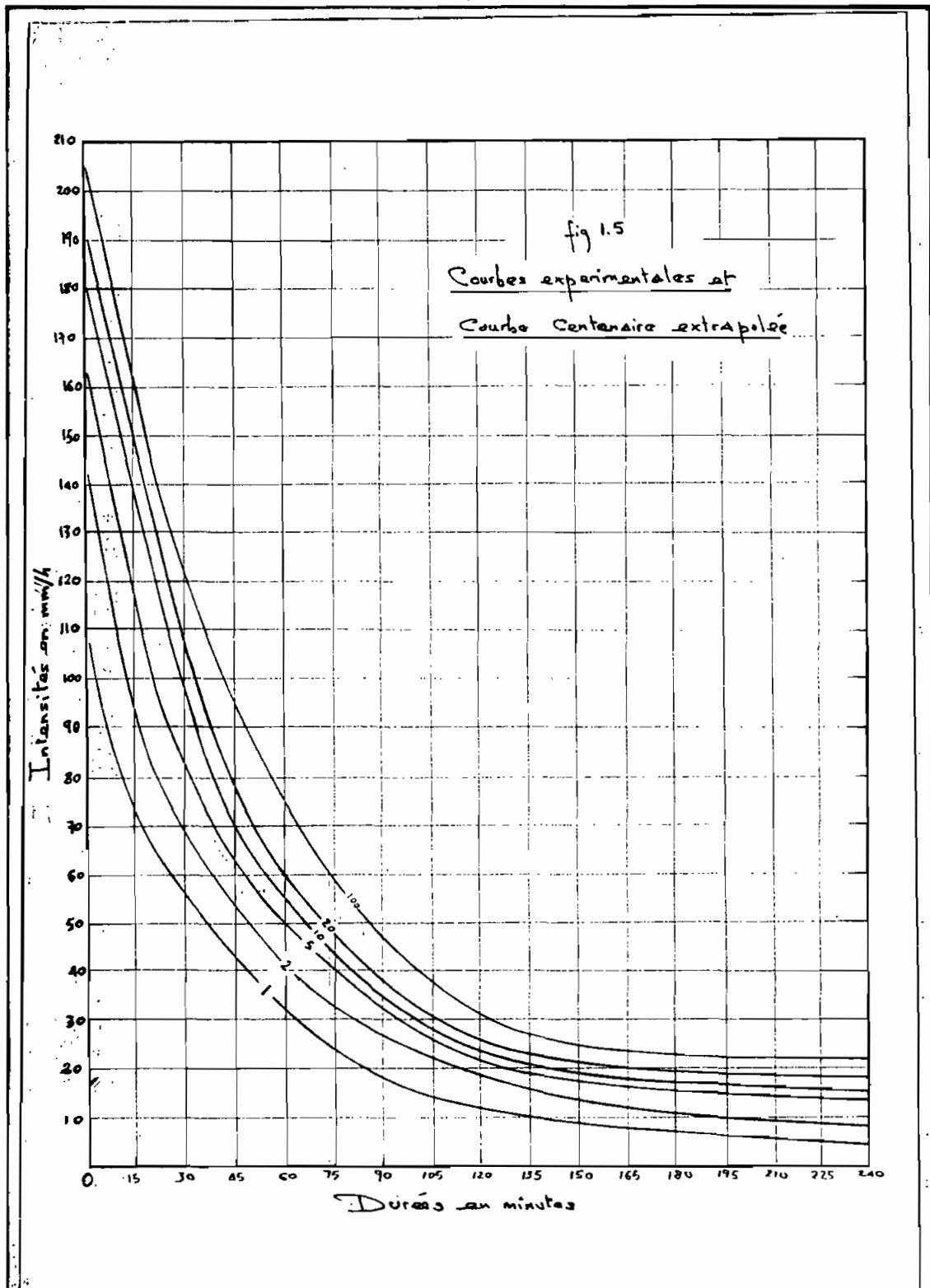
fig 6.4 - Courbe centenaire extrapolée

## CHAPITRE 5

### CALCUL DES COURBES THEORIQUES

Selon Talbot (cf [9]), l'équation des courbes théoriques est de la forme  $i = \frac{a}{t+b}$ . Dans cette équation  $i$  est l'intensité maximum en mm/h et  $t$  la durée en minutes. La valeur de  $t$  est prise égale au temps de concentration du bassin de drainage dans le calcul des débits de pointe. Comme on l'a déjà vu, les paramètres  $a$  et  $b$  résultant de l'ajustement mathématique des courbes expérimentales. Ils dépendent de la station considérée et pour une même station de la période de retour choisie. Il s'agit dans ce chapitre de calculer ces paramètres pour la station de Dakar-Yoff pour les périodes de retour 1, 2, 5, 10, 20 et 100 ans.

La méthode de calcul consiste à prendre pour chaque période de retour deux (2) points entre lesquels la courbe expérimentale suit le plus l'allure d'une courbe de Talbot. L'examen de la figure 1.5 montre que pour toutes les périodes de retour, les points d'abscisse 15 et 90 minutes répondent mieux à ce critère et peuvent donc être utilisés pour calculer les paramètres  $a$  et  $b$ . On donne un exemple de calcul relatif à la période de retour 1 an ( $T_R=1$ ). Le tableau I.5 résume les résultats pour toutes les autres périodes de retour.



Exemple de calcul :  $T_R = 1$

Pour  $t = 15$  minutes  $i = 73.9$  mm/h

$t = 90$  minutes  $i = 18$  mm/h

On peut donc écrire un système <sup>deux</sup> d'équations à deux inconn-

mes  $a$  et  $b$

$$\begin{cases} 73.9 = \frac{a}{15+b} \\ 18 = \frac{a}{90+b} \end{cases}$$

La résolution de ce système donne  $a = 1784.7$  et  $b = 9.15$ .

On prendra  $a = 1785$  et  $b = 9$ . Un calcul analogue à celui effectué dans cet exemple donne les résultats groupés dans le tableau suivant.

Tableau I-5

Paramètres  $a$  et  $b$  pour les périodes de retour

1, 2, 5, 10, 20 et 100 ans

$T_R$	$a$	$b$	Equations
1	1785	9	$i = \frac{1785}{t+9}$
2	2793	15	$i = \frac{2793}{t+15}$
5	3325	14	$i = \frac{3325}{t+14}$
10	3458	10	$i = \frac{3458}{t+10}$
20	3826	11	$i = \frac{3826}{t+11}$
100	4960	16	$i = \frac{4960}{t+16}$

La quatrième colonne de ce tableau contient les équations des courbes théoriques représentées à la figure 2.5. Ces courbes sont dites Courbes Intensité-Durée-Fréquence de précipitations à DAKAR ou tout simplement Courbes IDF de DAKAR.

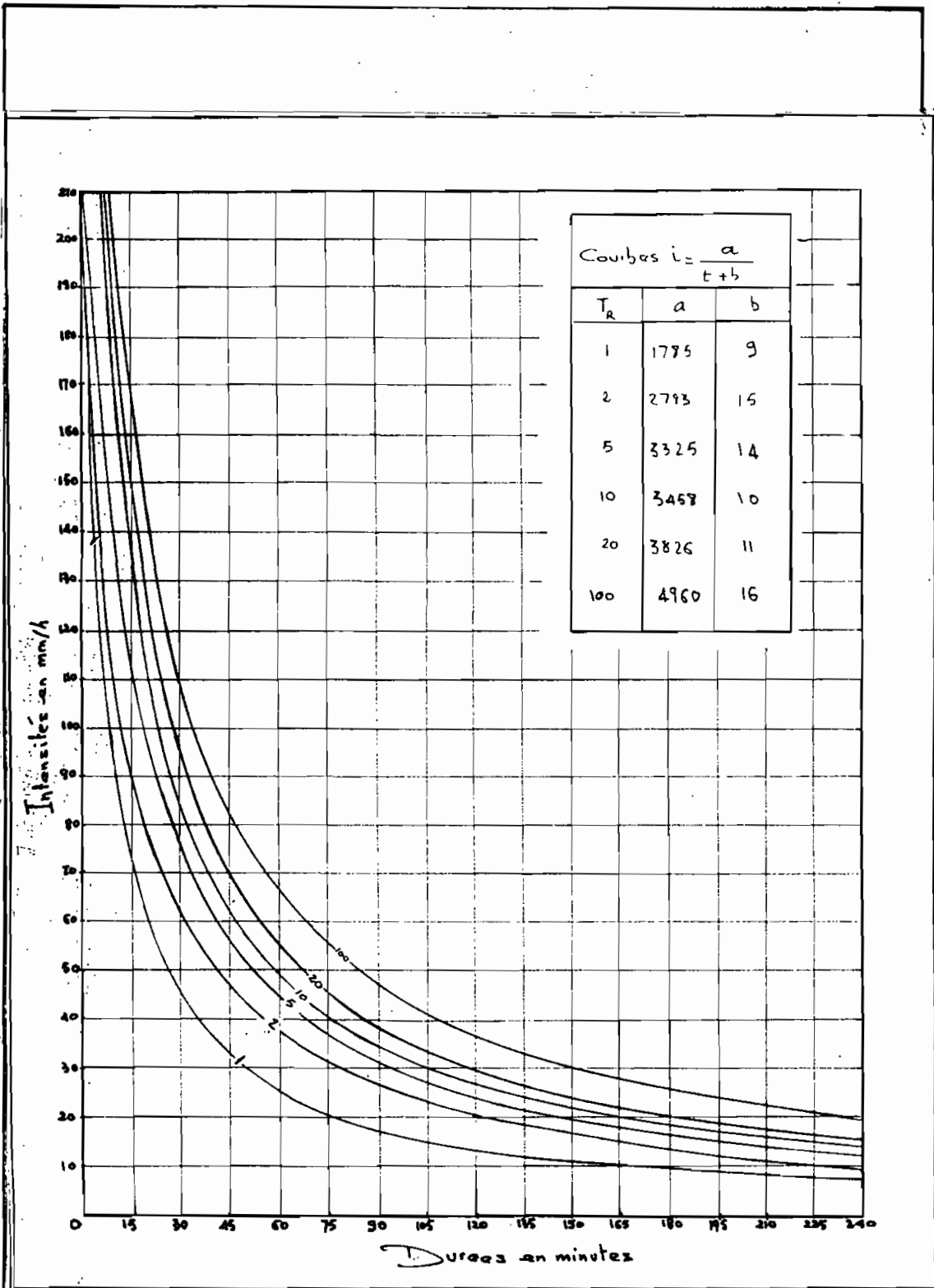
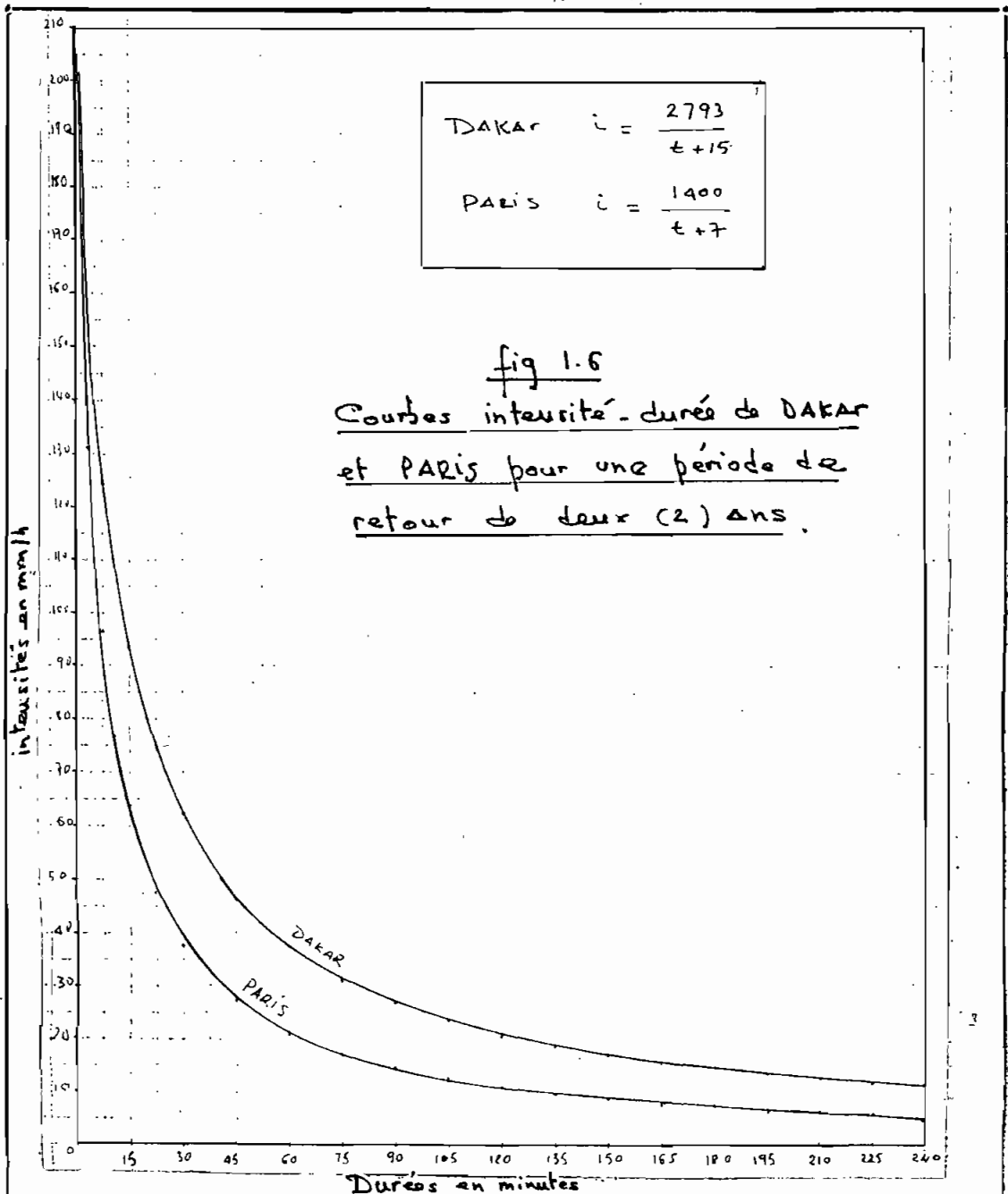


fig 2.5 Courbes intensite - duree - fréquence des precipitations  
à DAKAR

## 6 - CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Avec l'élaboration de ce rapport qui du reste n'a pas la prétention d'être exhaustif et qui a abouti à l'établissement des Courbes Intensité-Durée-Fréquence des précipitations à DAKAR, une voie pour une étude plus approfondie des précipitations aux échelles régionale et nationale vient de s'ouvrir à l'École Polytechnique de Thiès. En effet le programme informatique élaboré pour le calcul des intensités offre une flexibilité permettant son utilisation pour le traitement des données pluviométriques de toute station météorologique. Ainsi, on peut dire que les courbes IDF de DAKAR constituent le début d'un processus dont la fin sera marquée par l'existence de courbes IDF, de méthodes de gestion plus rationnelles des eaux de ruissellement dans nos milieux urbains.

Les valeurs des paramètres  $a$  et  $b$  figurant dans les équations des courbes IDF de DAKAR ne sont valables que pour la station de DAKAR-YOFF et il n'est guère légitime de les extrapoler à priori à une autre station. Peut-être faute de mieux, les courbes IDF de DAKAR peuvent être adaptées avec prudence à d'autres villes sénégalaises de régime pluviométrique semblable à celui de DAKAR. Dans le même ordre d'idées, on montre à la figure 16 les courbes intensité-durée de DAKAR et PARIS pour



une fréquence d'une fois tous les deux (2) ans. Sur cette figure, la différence entre les intensités pour une même durée est évidente. Cette différence montre que dans le design des ouvrages tributaires du ruissellement, il est absolument nécessaire d'utiliser des formules locales et hasardeux d'utiliser des formules exotiques.



## BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. FOURASTIER, B SAHLER,  
Probabilités et Statistique, p 4 à 28  
 Bordas, PARIS 1981
- [2] ANDRE PARIS, Notes du Cours Route 4.11, 1980
- [3] FAIR, GEYER, OKUN, Water and wastewater engi-  
 neering, Vol.1 Water supply and wastewater removal,  
 p 7-6 à 7-9, John Wiley and Sons Inc, 1966
- [4] M. ROCHE, Hydrologie de surface, p 55 à 58,  
 Gauthier - willars Paris  
 ORSTOM 1963
- [5] ANDRE LECLERC Ing Nsc, L'Hydrologie de L'ingénieur,  
 Notes de cours EPM, Première édition, p 53 à 55  
 Montreal 1971
- [6] DONALD N. GRAY, Editeur en chef,  
Manuel des Principes d'hydrologie, p 8.1 à 8.3  
 Montreal 1972

[7] MA. AI LAYLA, S. AHMAD, E. J. MIDDLEBROOKS  
Handbook of wastewater collection and treatment  
p 34 à 37 , Garland STPM Press 1980

[8] CHRISTIAN ROUSSEAU, Notes de Probabilités  
et Statistique , p 16 à 18 , 1984

[9] G. REMENIERAS, Hydrologie de l'ingénieur,  
2<sup>e</sup> Edition , p 144 à 150 , Edition Eyrolles,  
PARIS 1980.

---

## ANNEXE A

HAUTEURS CUMULATIVES DE PLUIES

STATION: DAKAR - YOFF

PERIODE D'OBSERVATION : 1960 - 1980 1977 *exclue*

---

### HAUTEURS CUMULATIVES DE PLUIES (mm)

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE	DATE	DATE
	11-8-61	13-8-61	17-8-61	19-8-61	23-8-61	27-8-61	4-9-61	3-9-61			
15	3.0	5.0	4.0	1.0	2.5	15.0	1.0	3.0			
30	3.0	6.2	4.2	1.5	5.0	32.0	1.5	8.0			
45	3.0	6.2	4.8	12.0	10.8	32.0	2.0	9.5			
60	3.0	6.2	5.0	12.0	22.0	32.0	6.0	9.5			
75	3.0	6.2	5.0	12.0	23.0	32.0	9.0	9.5			
90	3.0	7.0	5.0	12.0	23.0	32.0	21.0	9.5			
105	3.0	7.0	5.0	12.0	23.5	32.0	22.2	9.5			
120	3.0	7.0	5.0	12.0	24	32.0	27.2	9.5			
135	3.0	7.0	5.0	12.0	25.5	32.0	22.2	9.5			
150	3.0	7.0	5.0	12.0	25.5	32.0	22.2	9.5			
165	3.0	7.0	5.0	12.0	25.5	32.0	22.2	9.5			
180	3.0	7.0	5.0	12.0	25.5	32.0	22.2	9.5			
195	3.0	7.0	5.0	12.0	25.5	32.0	22.2	9.5			
210	3.0	7.0	5.0	12.0	25.5	32.0	22.2	9.5			
225	3.0	7.0	5.0	12.0	25.5	32.0	22.2	9.5			
240	3.0	7.0	5.0	12.0	25.5	32.0	22.2	9.5			

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE
	30-9-61	3-9-62	23-9-62	27-9-62	28-9-62	14-9-62	9-10-62	9-10-62	13-10-62	1-9-62	25-9-62
15	1.8	5.5	1.0	2.0	3.0	10.0	4.0	18.0	4.0	1.0	12.0
30	3.2	3.0	2.0	3.0	8.0	10.0	21.0	22.1	10.0	5.0	13.5
45	4.0	23.0	3.0	3.5	9.0	10.0	36	22.5	56.0	8.0	16.0
60	9.0	38.0	4.0	4.0	10	10.0	38	22.5	78.0	10.5	21.0
75	10.0	58.0	5.0	4.5	10	10.0	45	22.5	84.0	12.5	23.0
90	16.0	70.0	7.0	5.5	10	10.0	45.2	22.5	85	15.0	23.0
105	22.0	73.0	8.5	6	11	10.0	45.5	23	85	19	23.0
120	34	73.5	10.0	7	11	10.0	45.8	23	85	22.0	23.0
135	37	74.0	11.5	9.5	11	10.0	45	23	85	22.5	23.0
150	37.5	75.0	12.0	11.0	13	10.0	45	23	85	22.5	23.0
165	37.5	75.0	12.2	13	13	10.0	45	23	85	23.0	23.0
180	37.5	75.0	12.2	14.9	13	10.0	45	23	85	23.0	23.0
195	37.5	75	12.2	14.9	14.5	10.0	45	23	85	23.0	23.0
210	37.5	75	12.2	17	18.5	10.0	46	23	85	23.0	23.0
225	37.5	75	12.2	17	18.5	10.0	46	23	85	23.0	23.0
240	37.5	75	12.2	17	18.5	10.0	46	23	85	23.0	23.0

### HAUTEURS CUMULATIVES DE PLUIES (mm)

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE	
	27-60	8-7-60	9-7-60	20-7-60	3-8-60	12-8-60	19-8-60	24-8-60	25-8-60	20-9-60	30-9-60	7-10-60	8-11-60	
15	12	2.2	0.5	0.8	5	2.8	3	0.2	2.0	2.0	5.0	17.8	11.0	
30	25	2.8	0.5	0.8	11	11.0	6	1.0	2.5	6.8	13.0	18	11.0	
45	31	10	0.5	0.8	11.9	13	10	2.0	3.0	6.8	13.0	22.1	11.0	
60	34.5	10	1.0	1.0	11.9	29	16	2.5	3.5	6.8	13.0	22.1	11.0	
75	37.5	10	1.0	4.0	11.9	31	17	3	4.0	6.8	13.0	24	11.2	
90	33.5	10	10.9	6.0	11.9	32	18	3.5	4.0	6.8	13.0	24	11.2	
105	33.5	10	12.0	6.0	11.9	33	19	4.0	4.5	6.8	13.0	24	11.2	
120	34.5	10	12.1	6.5	11.9	36	20	4.5	4.5	6.8	13.0	24.5	11.2	
135	34.5	10	12.9	6.9	11.9	36	21	5.0	4.5	6.8	13.0	24.8	11.2	
150	34.5	10	12.9	6.5	11.9	41	21	5.5	5	6.8	13.0	25.2	11.2	
165	35	10	13	10.0	11.9	46	21	5.5	5	6.8	13.0	26.2	11.2	
180	35	10	15	18	11.9	47	21	6.0	5	6.8	13.0	26.8	11.2	
195	35	10	15.9	18.2	11.9	48	21	6.0	5.5	6.8	13.0	27.2	11.2	
210	35	10	15.9	19	11.9	52	21	6.0	5.5	6.8	13.0	28	11.2	
225	35	10	16.2	19	11.9	57	21	6.5	5.5	6.8	13.0	28	11.2	
240	35	10	16.2	19	11.9	59	21	7	6.0	6.8	13.0	28	11.2	

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE	
	27-60	13-7-61	17-7-61	18-7-61	19-7-61	21-7-61	22-7-61	19-8-61	24-7-61	30-7-61	1-9-61	2-8-61	4-8-61	10-8-61
15	9.0	10.0	9.0	3.0	3.0	16.0	1.0	1.0	1.0	1.5	4.0	1.0	1.0	1.0
30	18.0	18.2	11.0	11.5	10.0	17.5	4.0	1.0	2.0	5.5	4.5	1.0	3.0	1.0
45	19.1	18.2	13.0	11.5	17.0	17.5	5.5	1.0	2.0	5.8	4.5	1.5	3.8	1.8
60	19.9	18.2	16.0	11.5	17.2	17.5	8.0	1.5	3.0	5.8	4.5	1.5	3.8	1.8
75	20.0	18.2	16.2	11.5	17.4	17.5	10.0	9.0	6.0	5.5	4.5	1.5	3.8	1.8
90	24.0	18.2	16.8	11.5	18.0	17.5	10.5	11.0	8.5	5.8	4.5	1.5	4.2	3.8
105	24.0	18.2	17.2	11.5	18.2	17.5	10.5	11.0	13	5.8	4.5	1.5	4.2	6.0
120	24.0	18.2	17.2	11.5	18.8	17.5	10.5	11.0	15	5.8	4.5	1.5	4.8	6.4
135	24.0	18.2	17.5	11.5	19.0	17.5	10.5	11.0	16	9.0	4.5	1.5	5.2	6.0
150	24.0	18.2	17.8	11.5	19.0	17.5	10.5	11.0	20	12.5	4.5	1.5	5.2	6.4
165	24.0	18.2	17.8	11.5	19.0	17.5	10.5	11.0	25	13.5	4.5	1.5	15.5	6.4
180	24.0	18.2	17.8	11.5	19.0	17.5	10.5	11.0	28	14.5	4.5	1.5	16	6.4
195	24.0	18.2	17.8	11.5	19.0	17.5	10.5	11.0	30	14.5	4.5	4.0	16.5	6.4
210	24.0	18.2	17.8	11.5	19.0	17.5	10.5	11.0	30.9	14.5	4.5	4.1	17.5	6.4
225	24.0	18.2	18.2	11.5	19.0	17.5	10.5	12	30.9	15	4.5	5.2	18.5	6.4
240	24.0	18.2	18.2	11.5	19.0	17.5	10.5	12.8	30.9	15	4.5	5.2	19.5	6.4







### HAUTEURS CUMULATIVES DE PLUIES (mm)

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE	
	13-8-65	13.8.65	14-8-65	14-8-65	18-8-65	19-8-65	25-8-65	11-9-65	15-9-65	16-9-65	26-9-65	1-10-65		
15	1.0	1.5	2.0	4.0	1.5	1.0	7.0	2.0	15.0	9.2	34.0	10.0		
30	1.5	1.5	4.0	5.0	1.0	5.5	8.0	3.0	17.1	9.2	40.5	11.5		
45	2.0	2.0	4.0	10.0	1.5	5.5	8.0	4.0	17.1	10.0	40.5	11.5		
60	2.5	4.0	4.5	11.0	2.0	5.5	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	12.0		
75	3.0	6.0	4.5	11.2	2.0	5.5	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	12.0		
90	4.0	11.0	5.0	11.2	2.0	14.0	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	12.0		
105	4.5	16.0	5.5	11.2	2.0	21.5	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	12.5		
120	5.0	18.0	6.5	12	2.0	21.5	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	13.0		
135	6.0	20.0	7.5	13	2.0	22.0	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	13.0		
150	8.0	22.0	8.5	14.5	2.0	22.0	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	13.0		
165	25.0	24.0	11.0	15	2.0	23.0	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	13.0		
180	38.0	26.0	11.0	15	2.0	28.0	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	13.0		
195	40.0	27.0	11.5	15.5	2.0	27.0	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	13.5		
210	41.0	31.0	11.5	15.5	2.0	27.0	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	13.5		
225	43.0	33.0	12.0	15.5	2.0	28.0	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	13.5		
240	45.0	36.0	12.5	15.5	2.0	24.0	8.0	4.0	17.1	10.0	41.0	13.5		

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE	
	15-6-66	15-6-66	18-6-66	19-6-66	20-6-66	21-6-66	22-6-66	23-6-66	27-6-66	2-7-66	3-7-66	6-7-66	9-7-66	14-7-66
15	15.0	6.5	4.0	6.0	5.0	5.0	1.0	4.0	2.0	3.0	5.2	12.0	11.0	2.0
30	25.0	8.0	4.1	11.5	10.0	16.5	1.5	20.0	5.0	3.0	5.2	19.0	22.0	3.0
45	25.0	8.0	6.0	12.0	14.2	11.0	1.5	30.0	5.0	3.0	6.5	14.2	24.0	3.0
60	25.2	8.0	7.0	12.0	16.0	11.0	2.0	30.5	5.2	3.5	7.5	14.2	25.0	3.0
75	25.8	8.0	9.0	12.0	16.0	11.5	2.8	30.5	5.2	4.5	8.2	14.2	25.5	3.0
90	25.8	8.0	9.0	12.0	17	11.5	3.0	30.5	5.0	4.2	8.2	14.2	26	6.5
105	26.0	8.0	10.0	12.0	18	11.5	3.5	30.5	3.0	4.8	8.2	14.2	26	6.5
120	26.0	8.0	10.8	12.0	18.2	11.5	3.5	30.5	9.1	4.8	8.2	14.2	26	7.0
135	26.0	8.0	11.0	12.0	18.2	11.5	3.5	30.5	11.5	5.2	8.2	14.2	26	7.5
150	26.9	8.0	16.0	12.0	18.8	11.5	3.5	32.0	11.5	5.2	9.2	14.2	26	8.5
165	27.9	8.0	16.5	12.0	19.2	11.5	3.5	32.0	12.2	5.2	9.2	14.2	26	10.0
180	28.2	8.0	18.0	12.0	18.2	11.5	3.5	32.0	14.5	5.2	9.2	14.2	26	12.0
195	28.7	8.0	19.5	12.0	20.0	11.5	6.0	32.0	15.2	5.2	9.2	14.2	26	13
210	28.9	8.0	20.0	12.0	21.0	11.5	18.0	32.0	16.2	5.2	9.2	14.2	26	14
225	28.9	8.0	21.0	12.0	21.0	11.5	23.0	32.0	16.8	5.2	9.2	14.2	26	15
240	28.9	8.0	23.0	12.0	21.0	11.5	24.0	32.0	16.8	5.2	9.2	14.2	26	15.5



### HAUTEURS CUMULATIVES DE PLUIES (mm)

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE	
	14-9-71	15-9-71	23-9-72	24-9-72	24-9-74	26-8-70	7-8-72	27-7-74	7-9-74	5-9-76	22-8-74	11-7-75	23-7-75	24-7-75
15	17.0	8.0	3.0	13.0	6.0	3.0	4.0	1.0	8.0	7.0	21.0	11.5	6.0	3.0
30	17.1	8.0	6.0	19.5	12.5	3.0	5.0	5.0	27.0	13.5	23.0	12.0	12.0	3.0
45	17.2	9.0	7.0	19.5	13.5	10.0	6.0	6.5	38.0	17.0	23.0	12.0	13.0	3.5
60	17.2	9.0	7.0	20.0	13.5	10.0	8.0	7.0	44.0	31.0	23.0	12.0	16.0	4.0
75	17.2	9.0	7.8	20.0	13.5	10.0	12.0	7.0	46.0	36	23.0	12.0	17.0	12.0
90	17.8	9.0	8.0	20.0	14.0	10.0	20.0	7.0	47.0	37	23.0	12.0	17.0	14.5
105	18	9.0	9.9	20.0	16.0	10.0	22.0	7.0	47.0	37.5	23.0	12.0	17.0	14.5
120	18.9	9.0	10.9	20.0	17.0	10.0	24.0	7.0	47.0	37.5	23.0	12.0	17.0	14.5
135	18.9	9.0	13.0	20.0	17.0	10.0	25.5	7.0	47.0	37.5	23.0	12.0	17.0	14.5
150	18.9	9.0	14.9	20.0	17.0	10.0	27.0	7.0	47.0	38	23.0	12.0	17.0	19.5
165	18.9	9.0	14.9	20.0	17.0	10.0	28.5	7.0	47.0	38.5	23.0	12.0	17.0	14.5
180	18.9	9.0	15.0	20.0	18.5	10.0	30.0	7.0	47.0	39	23.0	12.0	17.0	14.5
195	18.9	9.0	15.0	20.0	22.0	10.0	30.5	7.0	47.0	39.5	23.0	12.0	17.0	14.5
210	18.9	9.0	15.0	20.0	23.5	10.0	31.0	7.0	47.0	40.0	23.0	12.0	17.0	14.5
225	18.9	9.0	15.0	20.0	23.5	10.0	31.5	7.0	47.0	40.5	23.0	12.0	17.0	14.5
240	18.9	9.0	15.0	20.0	23.5	10.0	32.0	7.0	47.0	41.0	23.0	12.0	17.0	14.5

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE	
	9-8-75	24-8-75	24-8-75	25-8-75	28-8-75	29-8-75	13-9-75	14-9-75	16-9-75	14-8-76	15-8-76	17-7-76	31-7-78	5-8-78
15	1.0	3.0	1.3	1.5	12.0	3.2	24.5	5.0	4.0	13.0	2.0	25.0	3.0	6.0
30	2.2	3.2	2.0	4.0	21.0	3.4	27.5	8.0	10.0	21.0	5.0	50.0	6.5	13.0
45	6.0	3.2	2.0	5.0	24.0	4.0	27.5	9.0	13.5	27.0	8.0	53.0	10.0	16.0
60	9.0	3.2	4.0	5.0	26.0	4.0	27.5	10.5	14.0	28	12.0	54.0	13.5	22.0
75	11.8	3.2	5.0	6.2	27.0	4.0	27.5	10.5	14.5	27.5	13.0	55	14.5	29.0
90	11.8	3.2	5.0	6.8	28.2	3.0	28.0	10.5	16.0	33.0	14.0	55	15.0	34.5
105	11.8	3.2	6.0	6.8	29.5	12.0	28.6	10.5	18.0	34.0	15.0	55	18.0	39.0
120	12.0	3.2	6.0	6.8	31.0	12.8	29.0	10.5	18.2	38.5	16.0	55	25.0	40.0
135	12.0	3.2	6.0	6.8	32.0	12.8	29.0	10.5	18.5	43.5	16.0	55	28.0	41.5
150	12.0	3.2	6.0	6.8	33.5	12.8	29.5	10.5	18.5	45.0	16.0	55	28.5	42.0
165	12.0	3.2	6.0	6.8	35.0	13.8	29.5	10.5	18.5	45.0	16.0	55	29.5	42.0
180	12.0	3.2	6.0	6.8	38.0	13.8	29.5	10.5	18.5	45.0	16.0	55	29.5	42.0
195	12.0	3.2	6.0	6.8	40.0	24.0	29.5	10.5	18.5	45.0	16.0	55	29.5	42.0
210	12.0	3.2	6.0	6.8	40.2	29.2	29.5	10.5	18.5	45.0	16.0	55	29.5	42.0
225	12.0	3.2	6.0	6.8	41.0	33.0	29.5	10.5	18.5	45.0	16.0	55	29.5	42.0
240	12.0	3.2	5.0	6.8	43.0	35.0	29.5	10.5	18.5	45.0	16.0	55	29.5	42.0



## HAUTEURS CUMULATIVES DE PLUIES

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE	
	9.8.78	24.8.78	10.9.78	25.8.78	29.78	2.9.77	16.9.78	15.1.79	7.6.79	2.6.79	14.6.79	10.7.79	19.7.79	10.8.79
15	3.5	6.0	6.0	1.0	7.0	5.5	5.0	10.0	5.0	4.0	10.0	6.5	15.0	1.5
30	4.2	20.0	8.0	2.0	18.0	7.5	6.0	18.0	6.8	5.2	15.0	12.0	29.0	2.5
45	4.2	25.0	9.0	3.5	28.5	10.5	6.5	19.0	7.0	6.0	17.0	20.0	36.0	3.5
60	4.2	24.5	10.0	4.0	23.0	10.8	7.0	20.0	7.0	6.0	17.0	21.0	39.8	5.0
75	4.2	24.5	10.0	4.5	24.5	10.8	7.5	21.5	7.0	6.0	17.0	21.5	40.2	7.0
90	5.8	24.5	10.7	5.0	25.2	10.8	8.0	22.0	7.0	6.0	17.0	22.8	40.2	9.0
105	6.8	24.5	11.2	6.0	25.2	10.8	8.0	23.0	7.0	6.0	17.0	23.8	40.2	10.0
120	7.0	24.5	11.8	8.0	25.2	10.8	8.0	24.0	7.0	6.0	17.0	24	40.2	11.5
135	7.0	24.5	12.0	9.0	25.2	10.8	8.0	24.0	7.0	6.0	17.0	24	40.2	12.0
150	7.0	24.5	12.0	10.0	25.2	10.8	8.0	24.0	7.0	6.0	17.0	24	40.2	12.5
165	7.0	24.5	12.0	11.0	25.2	10.8	8.0	24.0	7.0	6.0	17.0	24	40.2	13.0
180	7.0	24.5	12.0	11.5	25.2	10.8	8.0	24.0	7.0	6.0	17.0	24	40.2	14.0
195	7.0	24.5	12.0	12.0	25.2	10.8	8.0	24.0	7.0	6.0	17.0	24	40.2	14.0
210	7.0	24.5	12.0	12.0	25.2	10.8	8.0	24.0	7.0	6.0	17.0	24	40.2	14.0
225	7.0	24.5	12.0	12.0	25.2	10.8	8.0	24.0	7.0	6.0	17.0	24	40.2	14.0
240	7.0	24.5	12.0	12.0	25.2	10.8	8.0	24.0	7.0	6.0	17.0	24	40.2	14.0

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE	
	22.8.79	31.8.79	2.9.79	5.9.79	11.9.79	27.8.80	6.8.80	22.80	10.2.80	2.9.80	3.9.80	5.9.80	11.9.80	16.9.80
15	9.0	1.0	1.0	5.0	18.0	7.0	7.0	10.0	4.0	4.0	4.0	3.0	29.0	13.0
30	14.0	3.0	2.0	11.0	31.0	7.5	13.0	27.0	9.0	13.0	5.5	7.0	31	15.0
45	19.0	5.0	3.0	12.0	34.0	2.0	19.0	33.0	11.0	39.0	6.0	8.5	31.8	15.2
60	19.5	5.0	4.5	12.5	35	4.0	17.5	36.0	12.0	40.0	7.5	8.5	31.8	15.8
75	20.0	5.0	5.5	13	35.5	5.5	17.0	37.0	12.8	41.0	11.5	8.5	31.8	15.8
90	20.0	5.0	7.0	14	35.5	7.0	20.0	37.5	14	43.5	12.0	8.5	31.8	15.8
105	20.0	5.0	8.5	15	35.5	9.0	21.5	37.5	15.5	45.0	12.0	8.5	31.8	15.8
120	20.0	5.0	10.0	15.5	35.5	9.5	23.0	37.5	16.5	46.0	12.5	8.5	31.8	15.8
135	20.0	5.0	10.0	16.0	35.5	10.0	23.0	37.5	17.0	46.2	12.5	8.5	31.8	15.8
150	20.0	5.0	10.0	16.5	35.5	10.5	23.0	37.5	18.0	47.8	12.5	8.5	31.8	15.8
165	20.0	5.0	10.0	17.0	35.5	10.5	23.0	37.5	18.2	48.0	12.5	8.5	31.8	15.8
180	20.0	5.0	10.0	17.0	35.5	10.5	23.0	37.5	18.2	48.8	12.5	8.5	31.8	15.8
195	20.0	5.0	10.0	17.0	35.5	10.5	23.0	37.5	18.2	49.0	12.5	8.5	31.8	15.8
210	20.0	5.0	10.0	17.0	35.5	10.5	23.0	37.5	18.2	49.8	12.5	8.5	31.8	15.8
225	20.0	5.0	10.0	17.0	35.5	10.5	23.0	37.5	18.2	50.2	12.5	8.5	31.8	15.8
240	20.0	5.0	10.0	17.0	35.5	10.5	23.0	37.5	18.2	51.0	12.5	8.5	31.8	15.8





### HAUTEURS CUMULATIVES DE PLUIES

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE	
	3-7-67	4-2-67	7-7-67	17-7-67	20-7-67	5-8-67	18-8-67	21-8-67	3-9-67	1-9-67	3-9-67	9-9-67	14-9-67	15-9-67
15	5.0	1.0	2.0	6.0	6.0	2.0	11.0	15.0	2.0	7.0	1.0	5.0	1.5	
30	14.8	1.5	8.0	11.0	20.0	7.5	24.0	29.0	11.0	2.0	13.5	2.0	11.0	2.0
45	17.2	2.0	14.0	15.0	20.5	10.0	37	31.0	12.8	11.0	13.5	3.0	15.0	3.0
60	19.0	11.0	10.0	16.0	25.5	13	37.8	31.2	17.2	12.0	13.5	4.0	15.2	4.5
75	21.0	12.7	14.0	16.8	26	14.5	37.9	31.8	13.2	12.5	13.5	4.5	15.7	5.2
90	21.0	13.1	14.0	16.8	26	17.5	37.7	33.0	13.8	13	13.5	5.5	17.0	6.5
105	21.0	14.0	14.0	16.8	26	20.0	37.8	33.5	14.2	13.8	13.5	7.5	17.5	6.5
120	21.0	15.2	14.0	16.8	26	21.0	37.8	34.0	15	13.8	13.5	8.5	18.0	6.5
135	21.0	15.5	14.0	16.8	26	22.0	37.8	35.0	15.5	13.8	13.5	9.5	18.2	6.5
150	21.0	16.0	14.0	16.8	26	22.5	37.8	36.0	15.5	13.8	13.5	19.0	18.2	6.5
165	21.0	16.0	14.0	16.8	26	24.0	37.8	36.0	16.0	15.8	13.5	28.0	18.2	6.5
180	21.0	16.0	14.0	16.8	26	26.0	37.8	36.0	16.0	13.8	13.5	32.0	18.2	6.5
195	21.0	16.0	14.0	16.8	26	28.0	37.8	36.0	16.0	13.8	13.5	33.0	18.2	6.5
210	21.0	16.0	14.0	16.8	26	29	37.8	36.0	16.0	13.8	13.5	34.0	18.2	6.5
225	21.0	16.0	14.0	16.8	26	29.9	37.8	36.0	16.0	13.8	13.5	34.5	18.2	6.5
240	21.0	16.0	14.0	16.8	26	30	37.8	36.0	16.0	13.8	13.5	35.0	18.2	6.5

Durée min	DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE		DATE	
	24-9-67	25-9-67	26-9-67	1-10-67	3-10-67	16-7-68	20-7-68	11-9-68	10-9-68	15-9-68				
15	11.0	2.0	2.0	7.0	1.5	2.1	5.0	1.0	1.0	2.0				
30	12.0	3.0	4.5	9.5	2.0	4.0	15.0	2.0	2.0	2.5				
45	13.0	4.0	5.5	9.5	2.5	8.0	16.9	4.0	11.0	3.5				
60	13.5	5.0	5.5	9.5	3.0	9.4	17.2	5.0	15.0	4.0				
75	14.0	5.5	6.5	9.5	4.0	9.4	17.8	5.5	10.0	4.5				
90	14.5	6.0	7.5	9.5	4.5	10.0	18.2	6.5	15.0	4.5				
105	15.5	6.5	8.5	9.5	4.9	10.0	19.2	7.0	16.0	5.0				
120	16.0	7.0	8.5	9.5	4.9	10.0	20	7.0	16.5	5.0				
135	16.5	8.5	8.5	9.5	4.9	10.0	20.8	7.0	17.0	5.5				
150	17.5	9.5	8.5	9.5	4.9	10.0	20.8	7.0	17.0	6.0				
165	17.0	10.5	8.5	9.5	4.9	10.0	20.7	7.0	17.0	6.5				
180	18.0	11.0	8.5	9.5	4.9	10.0	20.8	7.0	17.0	7.0				
195	18.0	11.0	8.5	9.5	4.9	10.0	20.8	7.0	17.0	7.0				
210	18.0	11.0	8.5	9.5	4.9	10.0	20.7	7.0	17.0	7.0				
225	18.0	11.0	8.5	9.5	4.9	10.0	20.8	7.0	17.0	7.0				
240	18.0	11.0	8.5	9.5	4.9	10.0	20.8	7.0	17.0	7.0				



## ANNEXE B

INTENSITÉS DE PRÉCIPITATION A

LA DURÉE T (minutes)

T = 15, 30 . . . . , 240 par intervalles  
de 15 minutes

---









i) Durée 135 minutes

7.64	16.93	7.56	10.22	6.04	7.56	9.33	7.56	6.89	18.44	20.8	11.02	10.89	9.78
10.22	7.11	18.67	7.91	8.04	15.56	11.91	8.44	5.56	6.89	5.78	12	11.11	13.11
5.56	11.33	6.8	18	8.09	14.22	11.33	5.78	7.33	11.97	16.44	9.78	9.24	13.11
8.8	32.89	5.78	7.56	8.22	5.11	8.36	23.11	19.33	5.56	5.11	9.56	5.33	10
7.11	8.89	21.69	12.44	20.44	20.44	11.02	18.44	10.67	21.78	15.56	5.33		

j) Durée 150 minutes

7.2	22.4	18.8	5.0	19.12	19.6	5.2	6.16	19.2	10	9.6	7.2	5.0	15.92
10.8	17.24	6.6	6.2	16.4	10.08	11.4	17.12	5.8	16.8	6.4	7.2	18	9.4
8	13.4	14.4	5.2	11.6	12	10	10.8	7.0	9.52	15.2	10.76	15	5.96
6.4	30	6.6	8.4	5.2	8.8	12.8	5.2	10.8	8.4	11.2			

k) Durée 165 minutes

12.73	7.71	14	6.62	17.45	12.73	16.73	18.18	11.27	9.53	9.09	10.73	10.51	9.77
6.18	5.71	5.82	6.62	8.36	11.27	17.45	7.27	6.55	17.64	7.64	21.82	10.91	18.18
15.27	15.2	5.45	5.89	10.15	6.18	5	10.36						

l) DUREE 180 MINUTES.

16.27	10.67	5.33	16.33	9.4	5.23	12.67	6	15.67	10	7.33	8.93	6.17	7.17
13	16.17	5.0	20	5.83	8.67	6.5	10.67	21.33	14.17	17	7	15	7.33
8.83	9.67												

m) DUREE 195 MINUTES

15.11	8.15	8.37	8.62	9.28	7.38	5.08	10.15	6.77	20.31	7.08	16	10.46	14.27
13.23	5.54	7.79	7.38	6	6.77	6.15	12.15	6.92	12.31	15.08	15.08	18.77	15.38

n) DUREE 214 MINUTES

14.23	8.29	15.46	15.71	8.0	11.49	5.71	9.03	6.0	8.86	9.71	6.26	6.71	14
14.29	11.43	9.86	5.29	12.43	6.51	6.43	5.71	6.86	19.43	5.29	15	8.86	5
8.29	5.43												

o) DUREE 225 MINUTES

15.2	5.47	6.13	8.4	6.53	10.8	11.73	10.93	6.13	8.8	5.6	13.39	6.12	8
14.8	13.6	7.97	9.2	18.67	14.13	13.87							

p) DUREE 240 MINUTES

12.75	6.0	14.0	13.0	10.75	9	8.75	11.15	8	6	10.25	5.87	5.25	6.5
18.37	14.75	13.45	14	7.5	7.62	8.75	5.75						

## ANNEXE C

PROGRAMME DE CALCUL DES POINTS  
EXPERIMENTAUX ET LES RESULTATS

---

Programme de calcul des  
points expérimentaux

```
00010 BEGIN
00020 OPEN (6) "LP"
00030 PRINT 'CS'
00040 PRINT (6) a(2), "T EN MIN", a(14), "I EN MM/H"
00050 PRINT (6) "-----"
00060 FOR I=15 TO 240 STEP 15
00070 PRINT "DONNEZ Y1 POUR", I
00080 INPUT Y1
00085 IF Y1 >= 100 THEN GOTO 00190
00090 PRINT "DONNEZ Y2 POUR", I
00100 INPUT Y2
00110 PRINT "DONNEZ X1 POUR", I
00120 INPUT X1
00130 PRINT "DONNEZ X2 POUR", I
00140 INPUT X2
00150 PRINT "DONNEZ X POUR", I
00160 INPUT X
00165 IF X1=X2 THEN GOTO 00172
00170 LET Y=(Y2-Y1)/(X2-X1)*(X-X1)+Y1
00171 GOTO 00180
00172 LET Y=Y1
00180 PRINT (6) a(4), I, a(16), Y
00185 PRINT (6)
00190 NEXT I
00200 END
```

# Résultats

## a) Période de retour 1 An

T EN MIN	I EN MM/H	T EN MIN	I EN MM/H
163.36	10	15	69.15
103.6	15	30	55
87.24	20	45	41.42
72.22	25	60	32.13
63.45	30	75	23.78
52.48	35	90	19.2
47.5	40	105	14.96
40	45	120	14.4
36	50	135	13.77
30	55	150	12.88
28.5	60	165	9.64
20.75	65	180	8.1
		195	7.64
		210	7.5
		225	5.45
		240	5.84

b) Période de retour 2 Ans

T EN MIN	I EN MM/H
210	10
162	15
120	20
88.09	25
75	30
69	35
60	40
52.5	45
43.5	50
40.7	55
38.56	60
33.34	65
33	70
23.75	75
22.5	80
16.87	85
15	90

T EN MIN	I EN MM/H
15	90
30	71.42
45	48.55
60	40
75	30
90	24.48
105	20.62
120	20
135	18.36
150	16.68
165	14.5
180	12.84
195	12.49
210	10
225	10



c) Période de retour 5 ans

T EN MIN	I EN MM/H	T EN MIN	I EN MM/H
210	15		
144	20	30	80
102.5	25	45	60
93.75	30	60	50
82.5	35	75	38.34
72.84	40	90	31.67
65	45	105	24.34
60	50	120	23.36
55	55	135	22.49
45	60	150	19.2
43.36	65	165	18.1
42	70	180	17.49
33.75	75	195	17.49
30	80	210	15
28.09	85	225	13.72
27.84	90	240	13.36
25.7	95		
24	100		

d) Période de retour 10 ANS

T EN MIN	I EN MM/H	T EN MIN	I EN MM/H
30	97.5	225	15
45	70	150	20
60	65	112.5	25
75	50	101.25	30
90	35	90	35
105	27.5	75	45
120	24.48	67.5	55
135	24.15	67.5	60
150	20	60	65
165	19.34	45	70
180	19.15	41.25	75
195	19.15	40	80
210	17.5	37.5	85
225	15	37.5	90
240	14.48	30	95

b) periode de retour 20 ans

T EN MIN	I EN MM/H	T EN MIN	I EN MM/H
165	20	45	75
120	25	60	63.34
105	30	75	47.5
97.5	35	90	37.5
85	40	105	30
82.5	45	120	25
71.25	50	135	25
70	55	150	25
56.25	60	165	20
55	65	180	20
52.5	70	195	20
45	75		
41.25	80		
40	85		
28.5	90		
28.36	95		
27.84	100		

## ANNEXE D

Ajustement suivant la loi log-normale.  
Graphique de l'intensité en fonction de  
la fréquence expérimentale de non pas-  
sage  $f$  pour les durées, 15, 30 et  
45 minutes.

---

Période de retour

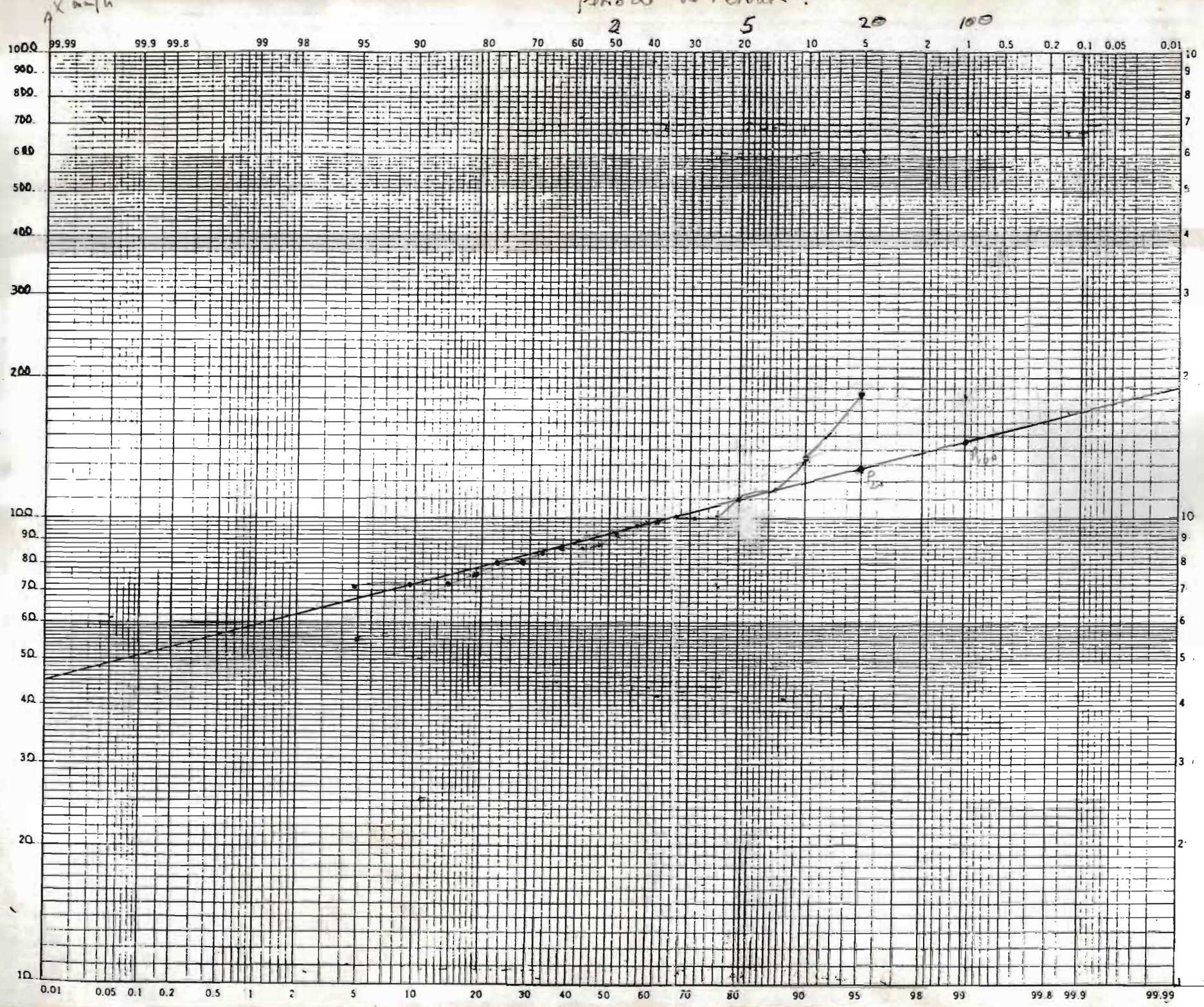
2

5

20

100

a) Durée 15 minutes



A f ex %

90



91

$\Delta X$  mm/h

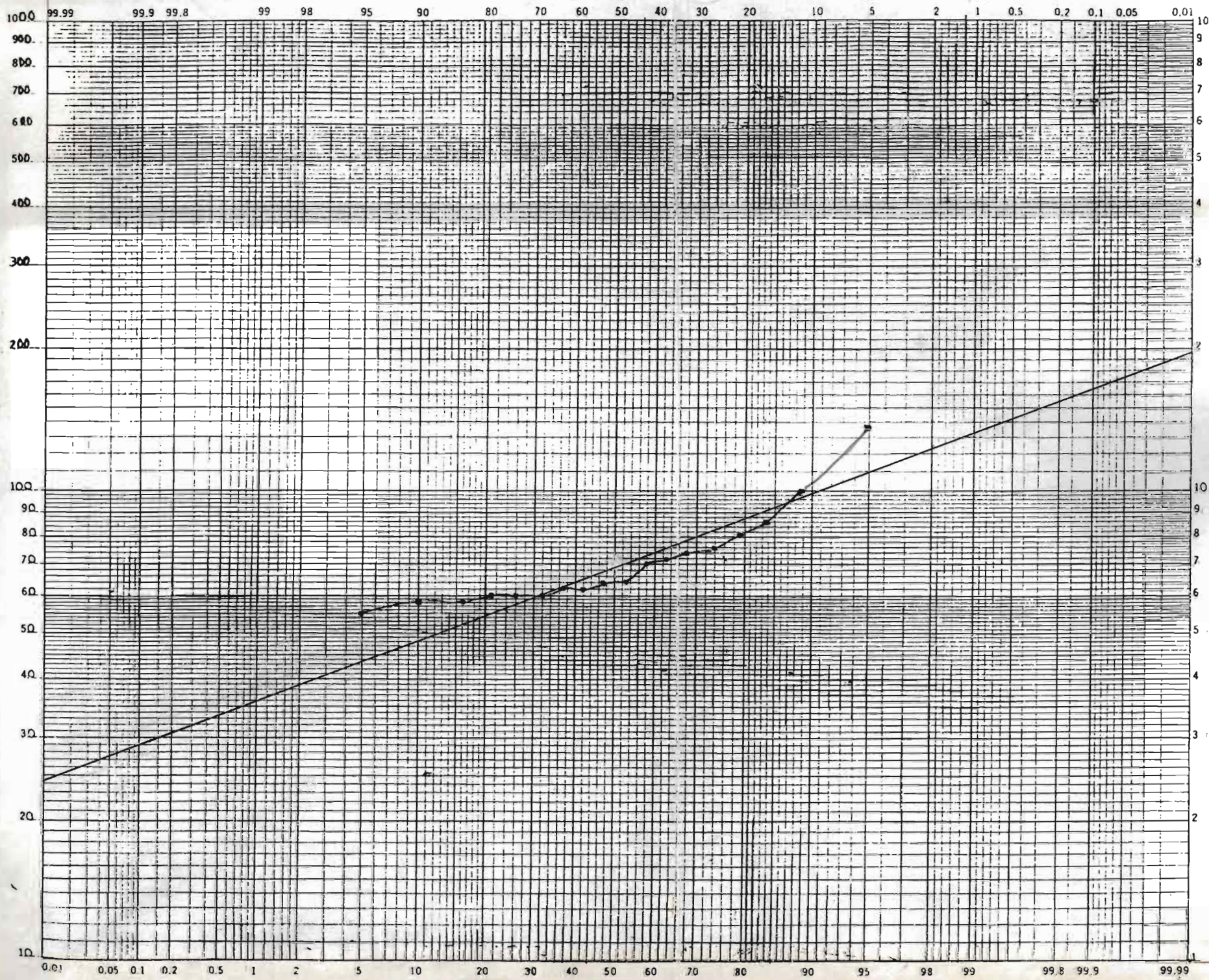
periode de retour

2

5

20

100



b) Duree 30 minutes

Duree 30 min

f = 1/10



91

$\Delta X$  mm/h

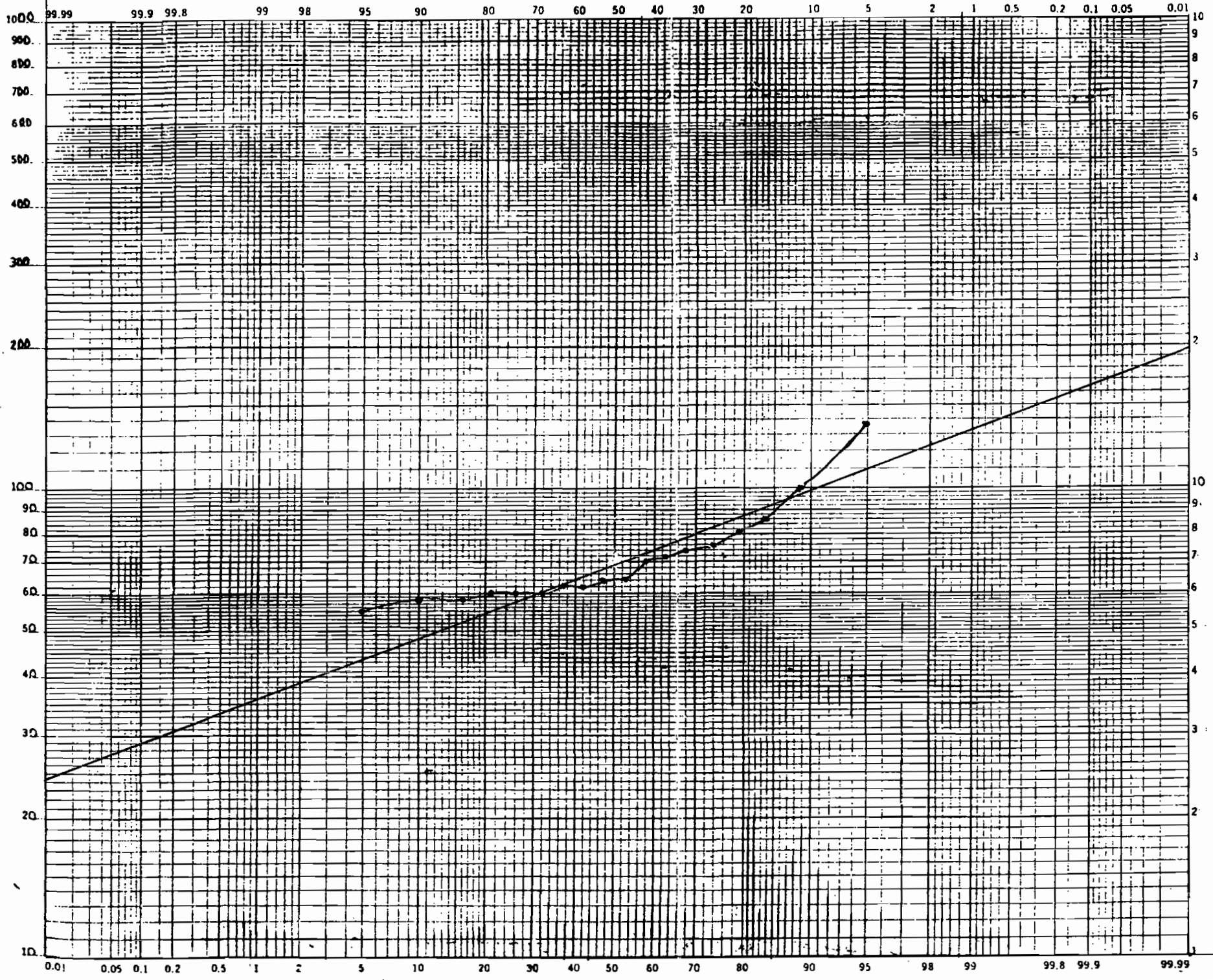
periode de retour

2

5

20

100



b) Durée 30 minutes

Durée 30 Min

$f = \frac{v}{10}$

X. SPECIAL FUNCTIONS

TABLE DE "STANDARD MATHEMATICAL TABLE" 26 EDITION  
 CAS PRESS 1981 The Gamma Function

Definition:  $\Gamma(n) = \int_0^{\infty} t^{n-1} e^{-t} dt \quad n > 0$

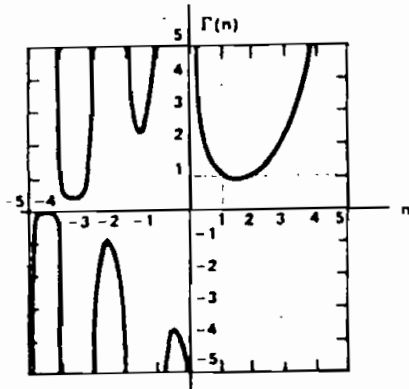
Recursion Formula:  $\Gamma(n+1) = n\Gamma(n)$

$\Gamma(n+1) = n!$  if  $n = 0, 1, 2, \dots$  where  $0! = 1$

For  $n < 0$  the gamma function can be defined by using

$\Gamma(n) = \frac{\Gamma(n+1)}{n}$

Graph:



Special Values:

$\Gamma(1/2) = \sqrt{\pi}$

$\Gamma(m + 1/2) = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2m-1)}{2^m} \sqrt{\pi} \quad m = 1, 2, 3, \dots$

$\Gamma(-m + 1/2) = \frac{(-1)^m 2^m \sqrt{\pi}}{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2m-1)} \quad m = 1, 2, 3, \dots$

Definition:  $\Gamma(x+1) = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdots k}{(x+1)(x+2)\cdots(x+k)} k^x$

$\frac{1}{\Gamma(x)} = x e^{\gamma x} \prod_{m=1}^{\infty} \left\{ \left(1 + \frac{x}{m}\right) e^{-x/m} \right\}$

This is an infinite product representation for the gamma function where  $\gamma$  is Euler's constant.

SPECIAL FUNCTIONS

properties.

$\Gamma'(1) = \int_0^{\infty} e^{-x} \ln x dx = -\gamma$

$\frac{\Gamma'(x)}{\Gamma(x)} = -\gamma + \left(\frac{1}{1-x}\right) + \left(\frac{1}{2-x}\right) + \dots + \left(\frac{1}{n-x}\right) + \dots$

$\Gamma(x+1) = \sqrt{2\pi} x^x e^{-x} \left\{ 1 + \frac{1}{12x} + \frac{1}{288x^2} + \frac{139}{51,840x^3} + \dots \right\}$

This is called Stirling's asymptotic series

If we let  $x = n$  a positive integer, then a useful approximation for  $n!$  where  $n$  is large [e.g.  $n > 10$ ] is given by Stirling's formula

$n! \approx \sqrt{2\pi n} n^n e^{-n}$

GAMMA FUNCTION\*

Values of  $\Gamma(n) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{n-1} dx; \Gamma(n+1) = n\Gamma(n)$

n	$\Gamma(n)$	n	$\Gamma(n)$	n	$\Gamma(n)$	n	$\Gamma(n)$
1.00	1.00000	1.25	.90640	1.50	.88623	1.75	.91906
1.01	.99433	1.26	.90440	1.51	.88659	1.76	.92137
1.02	.98884	1.27	.90250	1.52	.88704	1.77	.92376
1.03	.98355	1.28	.90072	1.53	.88757	1.78	.92623
1.04	.97844	1.29	.89904	1.54	.88818	1.79	.92877
1.05	.97350	1.30	.89747	1.55	.88887	1.80	.93138
1.06	.96874	1.31	.89600	1.56	.88964	1.81	.93408
1.07	.96415	1.32	.89464	1.57	.89049	1.82	.93685
1.08	.95973	1.33	.89338	1.58	.89142	1.83	.93969
1.09	.95546	1.34	.89222	1.59	.89243	1.84	.94261
1.10	.95135	1.35	.89115	1.60	.89352	1.85	.94561
1.11	.94740	1.36	.89018	1.61	.89468	1.86	.94869
1.12	.94359	1.37	.88931	1.62	.89592	1.87	.95184
1.13	.93993	1.38	.88854	1.63	.89724	1.88	.95507
1.14	.93642	1.39	.88785	1.64	.89864	1.89	.95838
1.15	.93304	1.40	.88726	1.65	.90012	1.90	.96177
1.16	.92980	1.41	.88676	1.66	.90167	1.91	.96523
1.17	.92670	1.42	.88636	1.67	.90330	1.92	.96877
1.18	.92373	1.43	.88604	1.68	.90500	1.93	.97240
1.19	.92089	1.44	.88581	1.69	.90678	1.94	.97610
1.20	.91817	1.45	.88566	1.70	.90864	1.95	.97988
1.21	.91558	1.46	.88560	1.71	.91057	1.96	.98374
1.22	.91311	1.47	.88563	1.72	.91258	1.97	.98768
1.23	.91075	1.48	.88575	1.73	.91466	1.98	.99171
1.24	.90852	1.49	.88595	1.74	.91683	1.99	.99581
						2.00	1.00000

\* For large positive values of  $x$ ,  $\Gamma(x)$  approximates Stirling's asymptotic series

$x! e^{-x} \sqrt{2\pi} \left[ 1 + \frac{1}{12x} + \frac{1}{288x^2} + \frac{139}{51,840x^3} + \dots \right]$

ANNEXE E  
 Valeurs de la fonction Gamma A.



## ANNEXE F.

FONCTIONS de Distribution pour  
l'Extrapolation de La courbe coute-  
naire .

Echantillons de 60 à 240 minutes

---

